



**CATALOGUE DES COURS
DE 3^{eme} ANNÉE**

Année académique 2023-2024

Édition du 21 septembre 2023

TABLE DES MATIERES

DOMINANTE CONSTRUCTION, VILLE et TRANSPORTS (CVT)	16
3CV1010 – Découverte des secteurs d'activités Aéronautique, Espace et Transports.....	17
3CV1020 – Découverte des secteurs de la construction et de la ville	18
3CV1030 – Mécanique des Fluides Appliquée	20
3CV1050 – Mécanique des structures.....	23
3CV1060 – Ingénierie des matériaux	26
3CV1070 – Dynamique des fluides numérique	28
3CV1080 – Méthodes numérique en mécanique des solides	30
3CV1110 – Gestion du cycle de vie produit.....	32
3CV1120 – Jumeau numérique et Ingénierie intégrée	34
3CV1130 – Transition énergétique : Enjeux environnementaux du secteur des transports	36
3CV2010 – Système Terre	38
3CV2020 – Procédés généraux de construction des Ouvrages d'Art.....	40
3CV2030 – Béton armé.....	42
3CV2040 – Technique et Architecture	44
3CV2050 – Fiabilité et Gestion des Risques	47
3CV2070 – Smart Construction	49
3CV2080 – Système de ville.....	51
3CV2100 – Immobilier, aménagement, développement urbain.....	53
3CV2230 – De l'arbre au bois, un matériau renouvelable et performant.....	55
3CV2250 – Gestion des Risques et Ingénierie Forensique	57
3CV2261 – Excellence opérationnelle - Gestion des projets de construction	59
3CV2270 – PGC des Bâtiments	61
3CV2280 – Construction métallique.....	63
3CV2300 – Mobilité et Infrastructures de Transports.....	65

3CV2310 – Procédés généraux de construction des Barrages, Travaux maritimes et souterrains ..	67
3CV2320 – Géotechnique.....	68
3CV2350 – Acoustique	69
3CV2360 – Projet de Procédés Généraux de Construction.....	70
3CV2500 – Projet SIC.....	72
3CV3010 – Systèmes d'énergie embarqués	74
3CV3020 – Aérodynamique.....	76
3CV3030 – Dynamique des structures	78
3CV3040 – Mécanique du Vol	79
3CV3050 – Turbulence et couche limite	80
3CV3060 – Automatique Appliqué au Contrôle d'un Avion.....	82
3CV3070 – Dynamique des structures avancée	84
3CV3080 – EI - Prédimensionnement d'équipements et de systèmes intégrés	85
3CV3210 – Système électrique de conversion	87
3CV3215 – Solutions technologiques pour la Transition Energétique et le Développement Durable	89
3CV3220 – Commande des systèmes pour la motorisation & applications	91
3CV3230 – Combustion	93
3CV3240 – Turboréacteurs.....	95
3CV3250 – Introduction à la mécanique spatiale	97
3CV3260 – Dynamique et contrôle des satellites	99
3CV3270 – Fatigue des matériaux et des structures.....	100
3CV3280 – Ecoulements compressibles.....	102
3CV3300 – Méthodes numériques avancées pour le mécanique des fluides.....	104
3CV3310 – Conception et Fabrication Aéronautique.....	105
3CV3340 – Interactions Fluides-Structures.....	107
3CV3350 – Dimensionnement Lanceur Spatial	108
3CV3370 – Projet Système	109
3CV3380 – Dimensionnement Avion de Combat.....	111
3CV3500 – Projet Rozanoff, un projet le long de l'année avec un client industriel.....	113
DOMINANTE ENERGIE (ENE)	115
3EN1010 – Enjeux énergétiques et environnementaux.....	116
3EN1020 – Décarbonation de la production d'énergie.....	117
3EN1030 – Sciences des transferts.....	119
3EN1040 – Conversion électrique en régime dynamique.....	121

3EN1050 – Matériaux pour l'énergie	123
3EN1540 – Conversion électrique en régime dynamique.....	124
3EN1570 – Bâtiments, villes et territoires.....	126
3EN2010 – Conférences ENE RE.....	128
3EN2020 – Géosciences	129
3EN2030 – Nouvelles technologies	130
3EN2040 – Génie des procédés et ressources	132
3EN2050 – EI - Mission de terrain géologique	133
3EN2060 – EI - Optimisation énergétique des procédés.....	134
3EN2220 – Méthodes numériques et projet numérique.....	136
3EN2230 – Mécanique des fluides numériques.....	138
3EN2240 – Simulation des procédés.....	139
3EN2250 – Activités expérimentales.....	141
3EN2260 – Méthodologie en géosciences	142
3EN2310 – Captage de CO2.....	144
3EN2320 – Milieux poreux	146
3EN2330 – Filière H2 et pile à combustible	147
3EN2340 – Analyse de cycle de vie	149
3EN2360 – Smart grid.....	151
3EN2370 – Turbomachines	153
3EN2380 – Stockage d'énergie.....	155
3EN2390 – Ingénierie thermohydraulique nucléaire	157
3EN2500 – Projet ENE RE	158
3EN3010 – Réseaux électriques	159
3EN3020 – Réseaux de fluides énergétiques	161
3EN3030 – Economie des réseaux	163
3EN3040 – Méthodes numériques.....	165
3EN3050 – Conférences et visites ENE PEG	167
3EN3110 – Super grids et réseau à faible inertie	168
3EN3120 – Stockage d'énergie.....	170
3EN3130 – Commande des convertisseurs.....	171
3EN3140 – Réseaux embarqués.....	173
3EN3500 – Projet ENE PEG.....	175
3EN4010 – Sciences numériques	177
3EN4011 – Sciences numériques - Spécialité Electrique.....	178

3EN4020 – Méthodologies et optimisation en transfert énergétique.....	180
3EN4021 – Méthodologies et optimisation en transfert énergétique - spécialité thermique	181
3EN4022 – Méthodologies et optimisation en transfert énergétique - Spécialité électrique.....	182
3EN4040 – Combustion.....	183
3EN4050 – Plasma.....	185
3EN4060 – Systèmes de conversion électronique	186
3EN4070 – Systèmes à vitesse variables (Modélisation/Régulation/commande moteur électrique)	188
3EN4080 – Activités expérimentales.....	190
3EN4090 – Conférences ENE.....	192
3EN4210 – Turbulence	193
3EN4220 – Rayonnement.....	195
3EN4230 – Ecoulements diphasiques	196
3EN4240 – Composants pour convertisseurs de puissance.....	198
3EN4250 – Perturbations et fiabilité des systèmes électriques.....	199
3EN4260 – Systèmes à vitesse variables avancés	201
3EN4270 – Energétique du bâtiment et bâtiment à énergie positive	203
3EN4280 – Energétique industrielle.....	205
3EN4290 – Scénarios européens de décarbonation de l'énergie	207
3EN4500 – Projet ENE EE	208
3EN5010 – Défis techniques, économiques et sociétaux du secteur de l'énergie.....	209
3EN5020 – Réseaux électriques et intégration d'énergies renouvelables.....	210
3EN5030 – Sécurité énergétique.....	213
3EN5045 – Marchés de l'Energie.....	215
3EN5050 – Analyses des données pour les prévisions énergétiques.....	216
3EN5060 – Systèmes dynamiques et commande optimale.....	218
3EN5210 – Décision dans un monde incertain.....	220
3EN5220 – Accompagnement du changement pour la transition énergétique	222
3EN5230 – Analyse de Cycle de vie et empreinte carbone.....	224
3EN5240 – Modélisation des systèmes énergétiques et études stratégiques	225
3EN5500 – Projet ENE-SES	226
DOMINANTE GRANDS SYSTEMES EN INTERACTION (GSI).....	227
3GS1010 – Ingénierie des systèmes complexes.....	228
3GS1030 – Introduction au management des opérations et à la supply chain	230
3GS1050 – Modélisation technico économique	232

3GS1060 – Projet de fin de séquence	234
3GS2010 – Commande des systèmes non linéaires.....	235
3GS2020 – Modélisation et commande de systèmes hybrides	238
3GS2030 – Analyse globale des systèmes dynamiques non-linéaires	240
3GS2040 – Architectures de commandes de systèmes complexes	242
3GS2050 – Modélisation, identification et analyse des systèmes.....	245
3GS2210 – Modélisation et analyse des systèmes incertains	248
3GS2220 – Commande des systèmes incertains.....	250
3GS2230 – Sûreté de fonctionnement et maintenance prédictive.....	252
3GS2240 – Diagnostic et reconfiguration.....	254
3GS2250 – Robotique et innovation	256
3GS2500 – Projet Control Engineering.....	258
3GS3010 – Management de la R&D et de l'innovation.....	260
3GS3020 – Ingénierie de la Conception	264
3GS3030 – Challenge Conception durable.....	266
3GS3040 – Master Classes Design Science.....	268
3GS3050 – Ingénierie de l'innovation	270
3GS3060 – Analyse de conception tirée par les données	272
3GS3080 – Séminaire Design & System Sciences.....	274
3GS3110 – Conception de systèmes résilients.....	275
3GS3120 – Systèmes de systèmes.....	277
3GS3130 – Human-Systems Integration	279
3GS3140 – Gestion de projet complexe.....	282
3GS3150 – Transformation Numérique pour les Organisations	284
3GS3155 – Makerspace Challenge "Product-Service design and IoT prototyping"	286
3GS3160 – Master Classes System Science.....	288
3GS3170 – Ecologie Industrielle	289
3GS3185 – Les principes de défaillances - Pourquoi les systèmes complexes défont et comment contrôler le risque	291
3GS3500 – Projet GSI DS	294
3GS4011 – Opérations et Supply Chain.....	296
3GS4020 – Management des systèmes industriels.....	298
3GS4025 – Application de Power BI.....	300
3GS4040 – Excellence opérationnelle et Lean Management.....	302
3GS4050 – Achats, fournisseurs et sous-traitance.....	304
3GS4060 – Modèles Stochastiques pour la Supply Chain et les Opérations.....	306

3GS4070 – Systèmes d'Information pour la Production, Supply Chain et Achats	308
3GS4075 – Optimisation Appliquée aux systèmes industriels et logistiques.....	310
3GS4080 – Methodes et outils d'optimisation pour la Supply Chain et les Opérations	312
3GS4090 – Pratique de l'optimisation de décisions complexes.....	314
3GS4091 – Analyse des données de la Supply Chain du commerce de détail	316
3GS4210 – Pilotage de flux et gestion de stock	318
3GS4220 – Distribution, e-commerce & logistique.....	320
3GS4235 – Modélisation Cost to Serve pour une Supply Chain.....	322
3GS4240 – Simulation de systèmes de production.....	324
3GS4250 – Hackathon Lean et excellence opérationelle	326
3GS4260 – Hackathon Supply Chain & Operations.....	328
3GS4270 – Sciences des données pour la chaîne d'approvisionnement et les opérations	330
3GS4280 – Industrie 4.0 & Supply Chain Digital.....	332
3GS4290 – Apprentissage automatique avec applications aux sciences du contrôle, de la supply chain et de la conception	334
3GS4300 – Performance des équipements.....	336
3GS4310 – Prévision.....	338
3GS4320 – Master Class Green Supply Chain & RSE.....	340
3GS4500 – Projet de mention SCOM	342
DOMINANTE INFORMATIQUE et NUMERIQUE (INFONUM)	344
3IF1005 – Participation à l'encadrement de projet.....	345
3IF1010 – Algorithmique avancée.....	346
3IF1015 – Eco conception numérique.....	349
3IF1020 – Programmation avancée et outils de développement	350
3IF1030 – Droit, éthique et vie privée.....	352
3IF1050 – Modélisation logique et systèmes formels.....	354
3IF1060 – Langages et automates.....	356
3IF1070 – Systèmes d'exploitation.....	358
3IF1080 – Modélisation des risques et des attaques	360
3IF1110 – Introduction à la sécurité.....	362
3IF1120 – Détection d'intrusion	363
3IF1130 – Protection des contenus et vie privée	365
3IF1140 – Cryptographie 1	367
3IF1141 – Systèmes concurrents et répartis.....	369
3IF1160 – Sécurité réseau et matérielle	371

3IF1171 – Systèmes d'exploitation.....	373
3IF2020 – Principe de fonctionnement des ordinateurs.....	375
3IF2030 – Traitement des langages.....	377
3IF2040 – Ingénierie des modèles.....	379
3IF2050 – Analyse Statique	381
3IF2060 – Systèmes hybrides	383
3IF2070 – Test	385
3IF2080 – Algorithmes pour systèmes distribués	387
3IF2090 – Programmation quantique pour DL.....	389
3IF2211 – Logique et systèmes déductifs	391
3IF2220 – Sémantique et preuve des programmes	393
3IF2225 – Génie Logiciel.....	395
3IF2235 – Programmation avancée	398
3IF2240 – Méthodes et outils de conception.....	400
3IF2250 – EventB.....	402
3IF2260 – SCADE et le synchrone pour les systèmes critiques	404
3IF2270 – Systèmes temps-réel	406
3IF2500 – Projet	408
3IF3020 – Apprentissage profond - Apprentissage de représentations	410
3IF3030 – Connaissances et raisonnement.....	413
3IF3040 – Systèmes de décision et préférence.....	415
3IF3050 – Explicabilité des systèmes d'IA	417
3IF3060 – Challenges Etudes de cas.....	419
3IF3210 – Apprentissage par renforcement	420
3IF3220 – IA Responsabilité et droit	422
3IF3240 – Reconnaissance visuelle et données multimédia	424
3IF3250 – Planification automatique	426
3IF3260 – Sciences de l'humain et IA	428
3IF3270 – Fouille de Données graphes à grande échelle	431
3IF3280 – Systèmes multi agents Architecture et raisonnement	433
3IF3300 – Apprentissage profond pour le traitement du langage naturel	435
3IF3310 – Théorie des jeux.....	437
3IF3320 – Hybridation des techniques d'Intelligence artificielle	439
3IF3500 – Projet InfoNum IA.....	440
3IF4010 – Architectures matérielles	442

3IF4020 – Infrastructures Modernes et Cloud	444
3IF4030 – Architectures applicatives	446
3IF4040 – Economie et pilotage de l'IT	448
3IF4210 – Etude de cas : technique.....	450
3IF4220 – Etude de cas : business	452
3IF4230 – Base de données pour les données massives.....	454
3IF4240 – Architecture logicielle front End pour le web.....	456
3IF4250 – Design par les tests	458
3IF4260 – Calcul à Haute Performance pour l'analyse de données.....	460
3IF4500 – Projet InfoNum ASI	462
3IF5010 – Rétroingénierie, Virologie.....	464
3IF5020 – Introduction aux attaques en mémoire.....	466
3IF5030 – Cryptographie 2	468
3IF5050 – Techniques Avancées d'Attaques en mémoire	470
3IF5060 – Programmation fonctionnelle et Sécurité du logiciel.....	473
3IF5210 – Sécurité des systèmes d'exploitation	475
3IF5220 – Développement et sécurité web	477
3IF5230 – Audit - Pentest	479
3IF5240 – Développement Sécurisé.....	481
3IF5500 – Projet CyberSec.....	483
DOMINANTE MATHEMATIQUE et DATA SCIENCES (MDS)	484
3MD1010 – Machine learning.....	485
3MD1020 – Optimisation	487
3MD1030 – Intégration Stochastique	489
3MD1040 – Statistique.....	491
3MD1050 – Analyse Harmonique	493
3MD1060 – Infrastructure de traitement parallèle des Big Data	495
3MD1070 – Séries chronologiques.....	497
3MD1080 – C++	499
3MD1510 – Ingénierie des applications logicielles	501
3MD1520 – Programmation avancée en C++	503
3MD1530 – Modèles statistiques pour l'apprentissage automatique.....	505
3MD1540 – Apprentissage automatique	507
3MD2010 – Systèmes Hyperboliques de Lois de Conservation	509

3MD2020 – Equations de Hamilton-Jacobi	511
3MD2030 – Optimisation et Calcul des Variations.....	513
3MD2040 – Méthodes de Moments dérivés d’une équation cinétique	515
3MD2050 – Analyse mathématique de problèmes de bords irréguliers et fractals issus de la physique	517
3MD2210 – Théorèmes limites	519
3MD2220 – Quantification des incertitudes dans les simulations numériques	521
3MD2240 – Filtrage et contrôle stochastique.....	523
3MD3010 – Fondements de l’optimisation distribuée et à grande échelle.....	525
3MD3015 – Modélisation en Grande Dimension.....	527
3MD3020 – Apprentissage profond	528
3MD3021 – Principes Théoriques de l’Apprentissage Profond.....	530
3MD3030 – Méthodes géométriques dans l’analyse des données	532
3MD3040 – Modèles graphiques: inférence discrète et apprentissage	534
3MD3050 – Introduction à la vision par ordinateur.....	536
3MD3055 – Vision par ordinateur	538
3MD3060 – Traitement automatique du langage naturel	540
3MD3070 – Apprentissage profond pour l’imagerie médicale	542
3MD3080 – Morphologie mathématique moderne.....	544
3MD3210 – Statistique bayésienne et applications.....	546
3MD3220 – Apprentissage par renforcement	548
3MD3230 – Analyse de données multivariées avancée.....	550
3MD3250 – Apprentissage profond en pratique	551
3MD3260 – Apprentissage automatique en science des réseaux	553
3MD3270 – Visualisation de données.....	555
3MD3500 – Projet MDS.....	557
3MD4010 – Algorithmes en science des données	558
3MD4020 – Traitement du son (parole et musique).....	560
3MD4030 – Traitement des images	562
3MD4040 – Apprentissage profond	564
3MD4050 – Modèles statistiques 2 - MTZ	566
3MD4110 – Programmation GPU.....	568
3MD4120 – Apprentissage par renforcement	570
3MD4130 – Modèles de calcul du Big Data.....	572
3MD4140 – Apprentissage statistique	575
3MD4150 – Traitement du langage naturel.....	577

3MD4160 – Modèles parcimonieux	579
3MD4500 – Projet MDS SDI - MTZ	581
3MD5010 – Modèles stochastiques en finance	582
3MD5020 – Structuration et Gestion d'actifs.....	583
3MD5030 – Physique des marchés	585
3MD5040 – Assurance Vie	586
3MD5050 – Allocation de portefeuille	588
3MD5210 – Modèles stochastiques avancés en finance	590
3MD5220 – Fixed income.....	592
3MD5230 – Données haute-fréquence et carnets d'ordres	594
3MD5250 – Deep Learning in Finance	596
3MD5260 – Portfolio Metrics.....	598
3MD5270 – Réassurance et risques extrêmes.....	600
3MD5280 – Modèles de risques de crédit	602
3MD6010 – Théorie fonctionnelle de la densité.....	603
3MD6020 – Variétés différentielles	605
3MD6030 – Schramm-Loewner Evolution	606
3MD6040 – Equations différentielles et aux d.p. stochastiques.....	607
3MD6050 – Groupes et Algèbres de Lie.....	609
3MD6060 – Théorie de Jauge.....	611
3MD6070 – Théorie Quantique des Champs - version Mathématique	612
DOMINANTE PHYSIQUE et NANOTECHNOLOGIES (PNT).....	613
3PN1010 – Matière condensée	615
3PN1020 – Interaction rayonnement-matière.....	617
3PN1030 – Physique statistique hors équilibre	619
3PN1040 – Modélisation et simulation numérique	621
3PN1050 – Prototypage en FabLab	623
3PN1060 – Enjeux et métiers du génie physique.....	624
3PN1510 – Séminaires et métiers de la photonique.....	626
3PN1520 – Rayonnement.....	627
3PN1530 – Nanomatériaux	629
3PN1540 – Méthodes Numériques	631
3PN1550 – Physique de l'information.....	633
3PN1560 – TL Physique Expérimentale.....	635

3PN2010 – Photonique Non-Linéaire.....	637
3PN2020 – Composants photoniques.....	639
3PN2030 – Traitement optique de l'information.....	641
3PN2050 – TL Photonique 1.....	643
3PN2070 – Photonic computing.....	645
3PN2090 – Sciences non-linéaires.....	647
3PN2210 – Green Photonics.....	649
3PN2230 – Imagerie du vivant.....	650
3PN2240 – Télécommunications optiques.....	652
3PN2250 – TL Photonique 2.....	653
3PN2260 – Instrumentation optique.....	655
3PN2265 – Télécommunications numériques et électronique associée.....	657
3PN2500 – Projet PNT PSY.....	659
3PN3010 – Optique quantique.....	661
3PN3020 – Semi-conducteurs.....	663
3PN3040 – Expérimentation de systèmes quantiques.....	665
3PN3050 – Technologies quantiques : communication, calcul et capteurs.....	667
3PN3060 – Matériaux fonctionnels et intelligents.....	669
3PN3070 – Magnétisme et supraconductivité.....	671
3PN3080 – Lumière et chaleur à basse échelle.....	673
3PN3110 – Milieux hors équilibre, plasmas.....	675
3PN3120 – Des étoiles aux planètes.....	677
3PN3130 – Particules et cosmologie.....	680
3PN3140 – Théorie quantique des champs.....	682
3PN3150 – Sujets en physique mathématique.....	684
3PN3160 – Simulation quantique des matériaux.....	686
3PN3500 – Projet scientifique Quantum Engineering.....	688
DOMINANTE SYSTEMES COMMUNICANTS et OBJETS CONNECTES (SCOC).....	690
3SQ1010 – Défis et enjeux des technologies de l'information et de la communication.....	691
3SQ1025 – Traitement du signal pour les communications, l'image et l'audio.....	693
3SQ1030 – Communications numériques.....	695
3SQ1040 – Systèmes embarqués.....	697
3SQ1041 – Systèmes embarqués.....	700
3SQ1050 – Architecture radio.....	702

3SQ1061 – Politique, financement, réglementation et normes des entreprises TechForGood.....	704
3SQ1070 – Conception d'une application IoT	706
3SQ1071 – Conception d'une application IoT	708
3SQ2010 – Sciences des réseaux.....	710
3SQ2030 – Théorie des jeux.....	712
3SQ2040 – Apprentissage par renforcement.....	714
3SQ2050 – Apprentissage profond	716
3SQ2060 – Sujets avancés sur le cloud computing	719
3SQ2070 – Systèmes intelligents	721
3SQ2080 – Économie du Numérique	723
3SQ2090 – Réseaux informatiques	725
3SQ2100 – Compression de données multimédias.....	727
3SQ2110 – Modèles de Markov et algorithmes pour l'optimisation et l'apprentissage	729
3SQ2120 – Principes fondamentaux des communications sans fil.....	731
3SQ2130 – Codage correcteur d'erreur	733
3SQ2140 – Réseaux d'accès radio	735
3SQ2150 – Gestion des flux et qualité de service dans les réseaux mobiles.....	737
3SQ2160 – Théorie de l'échantillonnage et acquisition comprimée	739
3SQ2170 – Théorie de l'information et codage	741
3SQ2500 – Projet Industriel SRI	743
3SQ3050 – Apprentissage automatique, traitement du signal et des images.....	745
3SQ3060 – Réflexion éthique, acceptabilité	748
3SQ3070 – Principes des capteurs et Interfaces de communication.....	750
3SQ3080 – DataVis et AppWeb pour Informer, envoyer des feedbacks, suivre à distance	752
3SQ3090 – Le MIMO massif pour des efficacités spectrale et énergétique extrêmes	755
3SQ3140 – Infrastructures l'IoT, stockage et visualisation des données.....	757
3SQ3150 – Intelligence artificielle et apprentissage profond.....	759
3SQ3160 – Applications industrielles, étude de cas d'usage	761
3SQ3170 – Données : sécurité, intégrité, traçabilité, droit.....	763
3SQ3180 – Réalité mixte et Serious Game pour Sensibiliser, Impliquer, Engager.....	765
3SQ3500 – Projet Industriel NUVI	768
3SQ4010 – Séminaires d'introduction et séminaires industriels	770
3SQ4020 – Architecture des circuits analogiques.....	772
3SQ4030 – Electronique numérique avancée	774
3SQ4040 – Antennes intelligentes et intégrées.....	776

3SQ4050 – Propagation radio	778
3SQ4060 – Les composants de l'électronique analogique.....	780
3SQ4070 – Fondements en électromagnétisme.....	782
3SQ4120 – Integrated Electronics (INTELECT).....	784
3SQ4140 – Précision, Instrumentation, Mesures (PRIME).....	786
3SQ4150 – Compatibilité Electromagnétique	788
3SQ4160 – Implémentation matérielle des traitements numériques	790
3SQ4500 – Projet Industriel SCMA.....	792
DOMINANTE VIVANT, SANTE, ENVIRONNEMENT (VSE).....	793
3VS1010 – Concept du vivant, biologie, microbiologie, génomique.....	794
3VS1030 – Biostatistiques	796
3VS1040 – Modélisation et méthodes numériques appliqués au vivant.....	797
3VS1050 – Neurosciences	799
3VS2010 – Ingénierie des Procédés - Réacteurs, Ecoulement non idéaux, transferts couplés matière-chaleur	800
3VS2020 – Ingénierie des Procédés - Optimisation Energétique des Procédés	802
3VS2030 – Ingénierie des Procédés - Transferts couplés Matière et Chaleur (TCMC)	804
3VS2040 – Ingénierie des Procédés - contrôle commande.....	806
3VS2050 – Ingénierie des Bioprocédés - pré-traitement de la biomasse	808
3VS2060 – Ingénierie des Bioprocédés - Biotransformation	810
3VS2070 – Ingénierie des Bioprocédés - Procédés de séparation/purification.....	812
3VS2110 – Ingénierie de l'environnement - traitement de l'eau.....	814
3VS2120 – Ingénierie de l'environnement - Air et traitement des effluents gazeux.....	816
3VS2130 – Ingénierie de l'environnement - traitement des déchets	818
3VS2140 – Economie circulaire des Procédés industriels - Eco-conception/Analyse de cycle de vie	820
3VS2160 – Semaine d'immersion en bioraffinerie.....	822
3VS2500 – Projet VSE ESP	824
3VS3010 – Technologie en imagerie médicale.....	825
3VS3020 – Traitement d'images	826
3VS3030 – Deep learning et NLP pour le diagnostic	828
3VS3040 – Systèmes dynamiques et neurosciences computationnelles.....	830
3VS3050 – Bioinformatique	833
3VS3060 – Techniques physiques de traitement	834
3VS3070 – Biodesign and bio engineering	836

3VS3110 – Actionneurs pour le remplacement et/ou l'assistance pour des fonction de santé.....	837
3VS3120 – Prothèses articulaires en chirurgie orthopédique et traumatologie	839
3VS3130 – Construction de tissus et d'organes par bio ingénierie.....	841
3VS3140 – Organisation et management de l'hopital	842
3VS3150 – Objets connecté en santé.....	843
3VS3160 – Journée découverte du plateau d'imagerie médicale et de radiothérapie.....	845
3VS3170 – Technologies médicales et organisation des soins en médecine péri-opératoire	846
3VS3180 – Santé environnementale	847
3VS3500 – Projet VSE HSB.....	848

DOMINANTE CONSTRUCTION, VILLE et TRANSPORTS (CVT)

3CV1010 – Découverte des secteurs d'activités Aéronautique, Espace et Transports

Responsables : **Ronan Vicquelin**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **70**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **42,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Il est essentiel de fournir une culture forte aux élèves ingénieurs de troisième année sur les secteurs d'activités auxquels se destinent la mention Aéronautique, Espace et Transports. Les enjeux scientifiques, techniques, socio-économique et environnementaux, et de sûreté sont essentiels dans ces domaines sans oublier les contraintes d'industrialisation et d'exploitation. Pour prendre pleinement conscience de ces enjeux autour d'un système de transport, plusieurs activités sont proposées en forte proximité du milieu industriel.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10, SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Visites d'entreprise sur 8-10 journées dédiées.

Journées thématiques. Exemple : Journée de la Recherche (visite de laboratoire de recherche, témoignages d'anciens, table ronde), visite du musée de l'Air et de l'Espace du Bourget avec les ingénieurs de Dassault-Aviation.

Etude de cas.

Conférences et tables-rondes.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fait sur un mode "succès ou échec". Sont pris en compte :

- la présence - obligatoire et active - à chacun des événements

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Identifier les enjeux, évolutions, innovations et ruptures technologiques en cours dans divers secteurs d'activités liés à l'aéronautique, l'espace et au transport.
- Appréhender la complexité d'un système de transport soumis à de multiples contraintes et les interactions entre les divers métiers de l'ingénieur
- Comprendre la chaîne de valeur dans une entreprise
- Mûrir son projet professionnel dans la perspective de son stage de fin d'études et de son premier emploi

3CV1020 – Découverte des secteurs de la construction et de la ville

Responsables : **Christian Cremona, Pierre JEHEL**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les secteurs de la construction et de la ville couvrent un large spectre d'activités allant de l'aménagement des villes (espaces de vie) à l'aménagement des hubs de transports (gares), de la construction d'immeubles (complexes résidentielles, tours de bureaux) à la construction de grandes infrastructures (tunnels, ponts, barrages), de la rénovation d'ouvrages à la réalisation de nouvelles constructions.

Ce cours offre aux étudiants la possibilité d'aller sur le terrain pour visiter de grandes opérations de construction et d'aménagement. Les conférences proposées lors de ces visites donnent les clés pour appréhender les grandes transformations en cours dans les secteurs de la construction et de la ville, en particulier les mutations globales liées à l'essor des technologies numériques, au changement climatique, aux transformations sociales (urbanisation, résilience...).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

La découverte des secteurs de la construction et de la ville se fera par deux types d'activités :

- * Un forum de rencontre avec des entreprises partenaires qui présentent leurs activités et métiers
- * Un cycle de visites.

Organisation de l'évaluation

Évaluation sur le principe « réussite ou échec ».

Assister au Forum partenaires est obligatoire.

Participer au séminaire d'études est obligatoire.

3 visites au minimum doivent être effectuées en dehors du séminaire d'études.

Moyens

Les visites se font en Île-de-France ainsi que dans le cadre d'un séminaire d'études de 4 jours dans une métropole de province en octobre.

Un kit complet d'EPI (équipements de protection individuelle) est fourni à chaque étudiant.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, les étudiants auront acquis une culture par la pratique des secteurs de la construction et de la ville.

En outre, les étudiants seront capables de :

- Comprendre et appréhender les grandes transformations en cours dans les secteurs de la construction et de la ville
- Communiquer sur ces grandes transformations
- Appréhender la variété des acteurs et des métiers liés aux secteurs de la construction et de la ville.
- Reconnaître les principaux acteurs socio-économiques de ces secteurs.

3CV1030 – Mécanique des Fluides Appliquée

Responsables : **Franck Richecoeur**

Département de rattachement : **DOMINANTE - CONSTRUCTION VILLE TRANSPORTS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours possède deux objectifs pouvant être formulés en termes de compétences générales :

- Savoir modéliser un problème général de mécanique des fluides dans le but d'évaluer la performance d'un système

- Savoir interpréter, analyser et synthétiser un document scientifique relatif à la mécanique des fluides.

À partir des équations fondamentales de la mécanique des fluides, des lois et principes de la thermodynamique, et des théorèmes de bilans, le cours vise à rendre les étudiants autonomes dans la modélisation et le calcul des ordres de grandeurs associés à des problèmes de mécanique des fluides incompressibles. Le cours et les exercices pratiques abordés visent à acquérir une méthodologie pour mettre en équations un système fluide puis à formuler les bonnes hypothèses pour simplifier et calculer les grandeurs associées au système comme les forces, les puissances, les vitesses, les pressions mises en jeu. Avec un peu de pratique, les étudiants seront en mesure de comprendre les problématiques traitées et les méthodes utilisées dans des articles de recherche simples.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Contenu à connaître et savoir utiliser (un ensemble de supports vidéos et écrits associés à un recueil d'exercices est disponible pour se mettre à niveau en amont du cours) :

Définitions :

- Loi des gaz parfaits
- Nombre de Reynolds
- Fluide incompressible
- Écoulement stationnaire
- Fractions de mélange
- Contraintes dans un fluide et contrainte pariétale
- Volume matériel, volume arbitraire
- Dérivée matérielle
- Approximation unidimensionnelle
- Théorème Pi (ou Vashy-Buckingham)
- Pertes de charges singulières et régulières

Équations locales :

- Théorème de transport en une dimension
- Équation de continuité : bilan de masse
- Équations de Navier-Stokes : bilan de quantité de mouvement
- Équation de conservation de l'énergie

Équations intégrales et théorèmes :

- Théorème de Bernoulli
- Théorème de l'énergie mécanique
- Théorème des quantités de mouvement

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours n'apporte et ne démontre aucune équation nouvelle, il a pour objectif de confronter les étudiants à plusieurs situations caractéristiques des problèmes fluides rencontrés dans les secteurs des transports, de l'énergie et de la construction. Chaque séance consiste en une intervention magistrale de 1h30 où un problème nouveau sera abordé, c'est-à-dire une situation où la même méthodologie de mise en équation s'applique mais où les hypothèses nécessaires pour la résolution varient. On sera confronté entre autres à des écoulements laminaires bi-dimensionnels, des écoulements en conduite, des souffleries pour maquettes, des flammes laminaires prémélangées, des écoulements hydrauliques à surface libre, des systèmes de sécurité pour l'évacuation de fumées, des écoulements multi-espèces.

En deuxième partie, et entre chaque séance, les étudiants doivent finir les problèmes et exercices entamés en cours, puis travailler en groupes de 3 à la construction de 2 livrables à rendre au moment de l'examen final. Au moins 30 minutes d'échanges en petit groupe avec l'enseignant sont proposées chaque semaine pour accompagner l'avancement du travail et répondre aux questions.

Le cours s'appuie sur un ensemble de connaissances qu'il faudra rafraîchir, consolider ou s'approprier en autonomie avant et pendant le cours.

Déroulement, organisation du cours

La méthode proposée est globalement inductive : les compétences se construisent à partir d'une série d'exemples concrets. Ceci permet à la fois d'acquérir des méthodes pratiques de modélisation, d'analyse et de résolution de problèmes de mécanique des fluides, et de questionner puis renforcer la maîtrise des équations fondamentales de la mécanique des fluides. Chaque séance est construite en deux temps : un premier dit *démonstratif* où l'enseignant expose une méthode et résout des problèmes, un second dit *actif* où les étudiants doivent produire des contenus pour s'approprier la méthodologie.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation s'appuie sur deux travaux à rendre le même jour :

- un devoir sur table d'une durée de deux heures présentant un système fluide dont il faut calculer les propriétés sans l'aide de questions intermédiaires
- un document rédigé présentant le contenu d'un article scientifique ou technique choisi en séance

Support de cours, bibliographie

Polycopié "Mécanique des Fluides", Sébastien Candel, CentraleSupélec

Moyens

- fiches-mémoire regroupant toutes les équations nécessaires à la modélisation et la résolution d'un problème de mécanique des fluides,
- des vidéos courtes illustrant des propriétés ou des phénomènes liés aux écoulements incompressibles,
- des QCM d'auto-évaluation
- un polycopié de cours détaillant toutes les équations fondamentales

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, l'élève aura acquis plusieurs niveaux de compétences et sera capable de :

Niveau 1 (prérequis) : Connaissances

- Donner des définitions
- Calculer l'énergie et l'entropie d'un écoulement simple
- Appliquer le théorème de Bernoulli à des situations simples

Niveau 2 (prérequis) : Compréhension

- Reformuler les hypothèses d'un énoncé en termes physique et mathématique (laminarité, stationnaire, incompressible, isobare...)
- Donner des explications phénoménologiques de certains écoulements à partir d'observations
- Expliquer l'origine des équations fondamentales

- Donner la signification des termes dans les équations
- Réaliser des calculs à partir de bilans dans des configurations simples

Niveau 3 : Application / Méthodologie

- Mettre en équations un système fluide macroscopique
- Expliciter les propriétés physiques des écoulements rencontrés dans les transports et la construction
- Calculer les grandeurs caractéristiques de plusieurs familles d'écoulements ...

Niveau 4 : Analyse et évaluation critique

- Reformuler le contenu d'un document technique ou scientifique s'appuyant sur les équations de la mécanique des fluides

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Formaliser et résoudre des problèmes de mécanique des fluides issus d'applications industrielles
- Analyser et reformuler un document scientifique et technique en lien avec des écoulements

3CV1050 – Mécanique des structures

Responsables : **Pierre JEHEL**

Département de rattachement : **DOMINANTE - CONSTRUCTION VILLE TRANSPORTS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La mécanique des structures moderne repose sur les principes de la mécanique de Newton, les travaux d'illustres savants du 18^{ème} siècle (Euler, Bernoulli, Lagrange...), mais aussi sur des travaux développés au 19^{ème} siècle (Kirchhoff, Love...) puis au 20^{ème} siècle (Timoshenko, Mindlin, Reissner...). C'est une discipline qui est à la base des outils numériques de simulation et du développement des procédés de construction utilisés dans l'ingénierie pour la conception, la réalisation et la maintenance des véhicules de transport (avions, bateaux, voitures, fusées), des infrastructures pour le transport ou l'énergie (ponts, tunnels, centrales nucléaires, barrages), des bâtiments (dont les immeubles de grande hauteur).

Aujourd'hui, véhicules et ouvrages sont conçus, construits et exploités en cherchant à optimiser les ressources mobilisées, à assurer la sécurité des personnes et des biens, à assurer des fonctions toujours plus évoluées (esthétique, résilience des sociétés). La mécanique des structures occupe une place centrale dans cette recherche de performance. D'une part, ses développements doivent être prolongés pour représenter toujours plus fidèlement des phénomènes qui trouvent leur origine dans le comportement de matériaux constitutifs poussés aux limites de leurs capacités ainsi que dans des géométries audacieuses, fortement élancées par exemple. D'autre part, les hypothèses de modélisation et les limites des théories mises en œuvre par les logiciels doivent être maîtrisées et critiquées pour arriver à des résultats de simulations fiables.

Le principal objectif du cours est de rendre les étudiants autonomes dans la modélisation d'un problème de mécanique des structures et dans le calcul analytique des ordres de grandeurs permettant d'estimer en première approche la performance d'une structure (circulation des forces, déplacements, contraintes et déformations). Le cours permet d'acquérir une méthodologie permettant de mettre en équations un système structurel et de mettre en pratique cette méthodologie dans les limites du calcul analytique (sans recourir à la modélisation numérique) et en laissant la possibilité à chaque étudiant d'aller aussi loin que possible. Le cours introduit aussi des concepts fondamentaux sur lesquels reposent les logiciels de calcul des structures et développe donc une approche critique de l'utilisation de ces logiciels.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Contenu à connaître et savoir utiliser (un ensemble de supports vidéo et écrits est disponible pour se mettre à niveau en amont du cours) :

Tenseur des déformations de Green-Lagrange

- Solides déformables
- Approche lagrangienne
- Gradient de la transformation
- Tenseur des déformations de Green-Lagrange
- Petites déformations

Tenseur des contraintes de Cauchy

- Conservation de la quantité de mouvement
- Actions mécaniques
- Conservation du moment cinétique
- Modélisation des efforts intérieurs
- Tenseur des contraintes : définition et propriétés

Comportement des matériaux

- Comportement élastique linéaire isotrope

Efforts intérieurs dans une poutre

- Introduction au modèle poutre
- Hypothèses sur le tenseur des contraintes
- Résultante et moment des efforts intérieurs
- Équations d'équilibre associées : approche globale
- Équations d'équilibre associées : approche locale

Modèle poutre

- Déplacement approché
- Hypothèse d'Euler-Bernoulli

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Statique des poutres (parcours A et B)

- Efforts dans les poutres
- Champs de contraintes normales
- Équations d'équilibre des poutres droites et des poutres courbes (arcs)
- Appuis et conditions aux limites, notions de structure statiquement déterminée et indéterminée
- Circulation des efforts dans les poutres treillis

2. Cinématique de poutre ; lois de comportement des poutres (parcours A et B)

- Cinématique : hypothèses d'Euler-Bernoulli et de Timoshenko
- Propriétés géométriques des sections de poutres
- Lois de comportement des sections de poutres
- Champs de contraintes normales
- Champs de contraintes tangentielles

3. Dynamique de poutres (parcours A)

3. Cisaillement et torsion dans les poutres (parcours B)

- Comparaison des cinématiques de Euler-Bernoulli et de Timoshenko
- Contraintes de cisaillement dans les sections minces
- Torsion

4. Déplacements dans les poutres (parcours A et B)

- Méthode de Bertrand de Fontviolant (*)
- Méthode de Rayleigh-Ritz
- Formulation "éléments finis"
- Résolution de problèmes statiquement indéterminés
- Poutres continues

(*) <http://archives-histoire.centraliens.net/pdfs/revues/rev43.pdf>

5. Flambement des poutres (parcours A et B)

- Équations d'équilibre dans la configuration déformée
- Rigidité géométrique
- Longueur de flambement, rayon de giration des sections de poutres
- Charges limites de compression
- Démarche de dimensionnement

6. Plastification des systèmes de poutres (parcours A et B)

- Comportement élasto-plastique des matériaux,
- Moment plastique, rotule plastique
- Couplage effort normal - moment fléchissant
- Notion de ruine
- Démarche de dimensionnement

Déroulement, organisation du cours

Les présentations théoriques sont réduites au minimum.

Les concepts sont introduits dans le cadre de la résolution de problèmes concrets.

Organisation de l'évaluation

Chaque étudiant et étudiante du cours analyse une structure existante ou futuriste de son choix à la lumière des notions abordées dans le cours. Ce travail est présenté en 5 slides accompagnées d'une note de calculs de 5 pages. Les calculs doivent reposer sur des méthodes analytiques ; un tableau Excel ou d'un notebook Python peuvent être utilisés pour certains calculs fastidieux à la main.

Sont attendus :

- Un modèle mécanique de la structure ou d'une portion de structure avec justification des hypothèses de modélisation ; le modèle doit permettre l'étude sans recourir à un logiciel de simulation numérique (3 points).
- Un modèle de chargement et de conditions aux limites suffisamment simple pour des calculs analytiques mais cohérent avec une des fonctions que doit remplir la structure (3 points).
- Une justification de la géométrie de la structure à partir de l'analyse de la circulation des efforts (3 points).
- Un calcul des contraintes au niveau d'un assemblage entre deux éléments de structure ou dans une zone critique (3 points).
- Une estimation des déplacements maximaux dans le cas d'un matériau élastique homogène isotrope (3 points).
- Calcul plastique d'une zone critique et / ou instabilité élastique (3 points).
- Qualité du rendu (2 points).

Pour chacun de ces points, l'acquisition de plusieurs niveaux de compétences est évaluée :

1. Niveau 1 - Connaissance. L'étudiant est capable d'analyser une structure en la replaçant dans le cadre d'un problème traité en cours (connaissance des méthodes et des principes généraux).
2. Niveau 2 - Compréhension. L'étudiante est capable d'analyser une structure en appliquant les méthodes du cours à des situations relativement nouvelles par rapport aux problèmes traités en cours.
3. Niveau 3 - Maîtrise. L'étudiante démontre sa capacité à développer les méthodes et principes généraux du cours pour aller plus loin que les exemples traités en cours en s'appuyant éventuellement sur des articles scientifiques.

Support de cours, bibliographie

Bauchau O.A., Craig J.I. Structural Analysis - With Applications to Aerospace Structures. Springer, 2009.

De Buhan P. Plasticité et calcul à la rupture. Presses de l'ENPC, 2007.

Puel G., Hamon A.-L. Mécanique pour l'ingénieur - Milieux continus solides et fluides, systèmes multicorps, structures. Dunod, 2021.

Puel G., Barbarulo A. Mécanique des milieux continus. Polycopié du cours 1EL5000, CentraleSupélec, 2021.

Timoshenko S.P., Gere J.M. Theory of elastic stability. McGraw-Hill, 1961.

Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S. Theory of plates and shells. McGraw-Hill, 1959.

Moyens

Les 2 premières séances sont communes.

Les 4 dernières séances sont divisées en 2 parcours au choix des étudiants :

- Parcours A = parcours avancé pour les étudiants qui ont déjà de bonnes connaissances en mécanique des structures.
- Parcours B = parcours progressif où du temps est consacré à l'apprentissage des concepts de base de mécanique des structures.

Entre deux séances du cours, les étudiants travaillent à un projet individuel qui sera évalué à la fin du cours. Une permanence hebdomadaire est assurée par les enseignants pour répondre aux questions des étudiants.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue du cours, les étudiants :

- Connaîtront les principales théories et méthodes pour l'analyse statique des éléments de structure les plus courants.
- Auront une bonne compréhension des mécanismes physiques qui régissent le comportement des éléments de structure les plus courants.
- Connaîtront certains ordres de grandeurs pour un pré-dimensionnement des structures.
- Sauront mettre en place une démarche d'ingénieur pour un pré-dimensionnement des structures.

3CV1060 – Ingénierie des matériaux

Responsables : **Véronique Aubin**

Département de rattachement : **DOMINANTE - CONSTRUCTION VILLE TRANSPORTS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les structures utilisées dans les transports et la construction doivent répondre à deux enjeux : performance et sûreté. Les matériaux utilisés dans ces structures doivent être capables de répondre de la manière la plus efficace possible à ces objectifs. Pour cela, ils doivent répondre aux sollicitations qui s'exercent sur les différents composants de ces structures : sollicitations mécaniques et/ou environnementales, conditions de température. Ce cours a pour objectif de permettre aux étudiants de comprendre et d'identifier les phénomènes physiques à l'œuvre en fonction des familles de matériaux et de sollicitations et de savoir choisir le matériau adapté.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Les connaissances de base en mécanique des milieux continus sont à acquérir avant le début du cours grâce aux documents de mise à niveau fournis.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Elasticité, importance de la nature atomique des matériaux.
2. Matériaux composites et homogénéisation linéaire
3. Mécanismes de déformation plastique
4. Endommagement et rupture. Comment prédire la ruine des matériaux ?
5. Sollicitations intenses (température, environnement)

Déroulement, organisation du cours

Organisation de l'évaluation

Examen individuel de vérification de connaissances

Evaluation finale en groupe

Support de cours, bibliographie

- Matériaux, M.F. Ashby et D.R.H. Jones, Elsevier
- Etude de la plasticité et application aux métaux, D. Jaoul, (1965), Dunod, Paris.
- Mécanique des matériaux solides, J. Lemaître et J.L. Chaboche, Dunod, 2004.
- Mécanique des Milieux Continus, Puel G, cours de CentraleSupélec

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, les élèves seront capables de :

- décrire les phénomènes physiques responsables de la performance d'un matériau dans une application donnée

- discuter des effets bénéfiques ou aggravants vis-à-vis de la performance voulue ou de la sécurité d'effets intrinsèques et extrinsèques au composant étudié (nature du matériau, procédé d'obtention, sollicitations, environnement...)
- choisir une famille de matériaux pour une application donnée
- dimensionner un composant vis-à-vis de critères classiques (rigidité, limite d'élasticité, ténacité...)

3CV1070 – Dynamique des fluides numérique

Responsables : **Aymeric Vie, Ronan Vicquelin**

Département de rattachement : **DOMINANTE - CONSTRUCTION VILLE TRANSPORTS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La simulation numérique en mécanique des fluides est aujourd'hui un outil utilisé très largement dans l'industrie pour le design et la preuve de concept. Ces simulations numériques se basent d'une part sur un modèle physique, et d'autre sur une représentation discrète de ce modèle, qui conduit à des erreurs numériques. Il faut donc être capable de maîtriser ces erreurs numériques afin que la simulation soit fidèle au modèle.

L'objectif de ce cours est de présenter un ensemble de méthodes numériques nécessaires à la résolution des équations de Navier-Stokes (NS) régissant la dynamique d'un fluide, et de mettre les élèves en situation de construire eux-mêmes un solveur permettant de résoudre ces équations dans le cas d'un problème physique donné. Parmi un ensemble de méthodes proposées, ils devront choisir eux-mêmes les méthodes adaptées, et être capable d'explicitier les avantages et inconvénients des choix qu'ils auront fait. Les différents aspects théoriques seront présentés au travers de problèmes simples de mécanique des fluides, permettant d'isoler un ou deux éléments nécessaires à la résolution des équations de NS. Une seconde partie pratique sera dédiée à la résolution d'un écoulement fluide nécessitant d'utiliser tous les éléments du cours, d'une part à l'aide d'un code développé par les élèves, d'autre part à l'aide d'un solveur existant (Ansys Fluent).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Le cours se décompose en trois parties :
- Une première partie individuelle :
 - TD 1&2(4h30) : Équations hyperboliques et paraboliques : dispersion d'un scalaire dans les tourbillons de Taylor-Green, illustrant le brassage thermique dans une pièce par un écoulement forcé
 - Une deuxième partie de type projet en groupe de deux ou trois élèves, sur l'étude de l'écoulement autour d'un obstacle avec Ansys Fluent, illustrant l'aérodynamique externe d'un immeuble :
 - TD 2&3 (4h30) : prise en main de Ansys Fluent sur la simulation de l'écoulement derrière un cylindre.
- Une troisième partie de type projet en groupe de deux ou trois élèves, sur l'étude de l'écoulement dans un canal pour quantifier les pertes de charge, avec Ansys Fluent et le code développé par les étudiants
 - TD4&5 (6h): écoulement dans un canal.
- Une quatrième partie de type projet en groupe de deux ou trois élèves, sur l'étude de la ventilation d'air dans une pièce :
 - TD6 (3h): champ de vitesses avec Ansys Fluent.
 - TD7 (3h): champ de vitesses avec le code développé par les étudiants.
 - TD8 (3h): ajout d'une production de CO2 et optimisation du système de ventilation.

Déroulement, organisation du cours

Le cours sera effectué uniquement en TD.

Organisation de l'évaluation

- La note finale N sera décomposée de la manière suivante :
- 1/3 basé sur le premier projet individuel : un rapport à rendre avant la séance 4 du cours, avec les codes de calcul.
- 1/3 basé sur le deuxième projet (en groupe), évalué sur une soutenance à enregistrer sous teams et à rendre avant la séance 7.
- 1/3 basé sur le quatrième projet (en groupe), évalué sur une soutenance à enregistrer sous teams et à rendre trois semaines après la dernière séance.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Choisir la méthode numérique la plus adaptée au problème ciblé
- Caractériser l'erreur numérique associée
- Assurer la convergence numérique de leurs simulations
- Résoudre de manière numérique les équations de Navier-Stoke

3CV1080 – Méthodes numérique en mécanique des solides

Responsables : **Andrea Barbarulo**

Département de rattachement : **DOMINANTE - CONSTRUCTION VILLE TRANSPORTS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La méthode des éléments finis est une méthode de choix pour le calcul scientifique appliqué aux sciences de l'ingénieur. L'objectif principal du cours est d'enseigner les compétences nécessaires à l'utilisation de cette méthode pour l'analyse de problèmes en mécanique des solides. Les étudiants apprendront les principes de base de la méthode et seront formés au développement de modèles éléments finis adéquats et à l'interprétation des résultats numériques. Un deuxième objectif est de familiariser les étudiants avec le logiciel Comsol Multiphysics. Les connaissances acquises seront utiles pour la supervision de projets de conception et design.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

L'enseignement sera entièrement réalisé en classe inversée. Les élèves auront à leur disposition un photocopie de cours.

Le cours se décompose en deux parties :

- Une première partie « théorique » individuelle mêlant mises en œuvre analytiques et numériques à l'aide du logiciel Comsol Multiphysics :
 - TD 1 (3h) : Formulations fortes et faibles
 - TD 2 (3h) : Méthode de Galerkin : mise en œuvre en 1D
 - TD 3 (3h) : Éléments finis 2D et 3D
 - TD 4 (3h) : Éléments isoparamétriques, méthodes de quadrature
- Une deuxième partie de type projet en groupe de deux ou trois élèves :
 - 4 séances de 3h sur la mise en œuvre à l'aide du logiciel Comsol Multiphysics d'un projet portant sur un problème de mécanique des solides

Déroulement, organisation du cours

L'enseignement sera effectué uniquement en TD (classe inversée).

Organisation de l'évaluation

La note finale N sera décomposée de la manière suivante :

- 50 % basés sur la partie « théorique » individuelle : cette note comprendra une note d'examen écrit (1h30), et une note d'un examen pratique sur ordinateur (1h30), chacun comptant pour 50% de cette note théorique
- 50 % basés sur la partie « pratique » en groupe : les élèves devront enregistrer une vidéo synthétisant les choix de simulations et leurs résultats, basée sur un support de présentation. Cette présentation, la vidéo, et les fichiers de simulation des élèves devront être remis aux enseignants.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Établir la formulation faible de tout problème aux limites
- Écrire la formulation éléments finis correspondante
- Développer le modèle dans un logiciel de simulation éléments finis, et résoudre le problème
- Analyser la justesse de la solution numérique

3CV1110 – Gestion du cycle de vie produit

Responsables : **Pascal MORENTON**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Présenter le Product Life-cycle Management et son intérêt stratégique pour l'entreprise, donner des éléments de contexte ayant amené son émergence dans tous les secteurs d'activités,

Présenter les points clés d'une stratégie PLM d'un point de vue des organisations, des processus, des outils, des méthodologies,

Faire traiter aux élèves une étude de cas exemplaire dérivée d'une problématique industrielle permettant de mettre en évidence quelques-uns de ces points clés et quelques concepts ou processus clés d'une démarche PLM à savoir l'article,

la nomenclature, la gamme, la gestion des modifications, la configuration etc.

Identifier les points clés de l'intégration des outils de Conception Assistée par Ordinateur dans une démarche PLM.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction au PLM ; témoignage et retour d'expérience de Dassault Aviation dans ce domaine,

Présentation de l'étude de cas proposée

Articles, nomenclatures et gammes relatifs à un produit,

Gestion des modifications d'un produit

Utilisation de la maquette numérique dans une démarche « PLM »

Déroulement, organisation du cours

Après une courte introduction, le cours sera structuré autour d'une étude de cas qui constituera le « fil rouge » de l'activité. Cette étude est structurée en 3 parties

Gamme et points de vue « métier » sur une structure produit,

Gestion des modifications d'un produit,

Utilisation d'une maquette numérique en contexte « PLM ».

Des présentations théoriques et pratiques seront faites « au fil de l'eau » pour apporter les connaissances et les compétences nécessaires à la réalisation des trois parties.

Les travaux seront réalisés par groupes.

Organisation de l'évaluation

Le cours sera évalué par :

la participation aux activités proposées dans le cadre du cours,
l'évaluation des travaux réalisés dans le cadre de l'étude de cas
pertinence des travaux réalisés et bonne compréhension des concepts clés introduits,
qualité des livrables,
qualité de la soutenance orale.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Identifier les points clés d'une démarche PLM maîtrisée,
- Evaluer le niveau de complexité relatif à la gestion d'une maquette numérique configurée,
- Mettre en œuvre les fondements d'une gestion de nomenclatures « métier »,
- Avoir une pratique minimale d'un modelleur CAO 3D

3CV1120 – Jumeau numérique et Ingénierie intégrée

Responsables : **Pierre JEHEL**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le jumeau numérique d'un ouvrage (bâtiment, infrastructure) contient des informations sur le système physique qu'il représente (géométrie, propriétés des matériaux, réseaux...) ainsi que - dans les cas les plus évolués - des algorithmes permettant de traiter ces informations (machine apprenante, IA, optimisation...). C'est un outil technologique qui permet de renforcer la performance de l'objet qu'il représente, d'en anticiper les évolutions tout au long de son cycle de vie, de planifier des activités de production ou de maintenance, d'en faire évoluer la conception dans un cadre contraint par des objectifs de performances économique, sociale, environnementale obligeant différents acteurs de la chaîne de valeur à interagir, à travailler de façon intégrée.

Dans le secteur de la construction, le concept est en pleine émergence. Des outils numériques de modélisation et de simulation sont utilisés depuis le travail de l'architecte jusqu'au démantèlement des ouvrages en passant par leur conception, leur construction, leur exploitation et leur maintenance. Pour aborder l'ouvrage avec la perspective de son cycle de vie, l'intégration de ces outils dans un jumeau numérique est une piste actuelle de développements et de recherches.

Le cours propose 3 parcours différents au choix des étudiants. Pour chacun des parcours, l'objectif est de mettre les étudiant en situation d'utilisateur d'où plusieurs outils numériques pour agir dans une phase spécifique du cycle de vie d'un ouvrage : conception de la structure (parcours A), synthèse de conception à l'interface entre métiers (parcours B), exploitation d'un bâtiment (parcours C).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Les étudiants ont le choix entre 3 parcours :

- Parcours A : Conception d'une structure répondant à un cahier des charges donné. Logiciel utilisé : Pythagore (éléments finis).
- Parcours B : Conception d'un système ferroviaire. Exemple d'outils numériques utilisés : Revit, Novapoint Railway, plateforme collaborative Trimble Connect.
- Parcours C : Évolution des usages dans un bâtiment en exploitation. Exemple de logiciels utilisés : BIMVision.

Déroulement, organisation du cours

Les élèves travaillent en équipes.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera sous la forme d'une présentation devant un jury en fin cours.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Appréhender la résolution d'un problème d'ingénierie dans un environnement numérique.
- Poser les bonnes hypothèses de travail et de modélisation en fonction des outils numériques à disposition.
- Concevoir et tester différents scénarios.
- Critiquer les résultats numériques obtenus et choisir une solution.

3CV1130 – Transition énergétique : Enjeux environnementaux du secteur des transports

Responsables : **Ronan Vicquelin, Didier Hauglustaine**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Face à l'urgence climatique, le secteur des transports est aujourd'hui engagé dans une stratégie de décarbonation accélérée, qui fixe des objectifs ambitieux de réduction des émissions de CO₂ à l'horizon 2050. Cette stratégie repose sur le recours à des carburants alternatifs à faible empreinte carbone et à l'intensification des efforts d'amélioration de l'efficacité énergétique des appareils et de leurs opérations. A ce jour, le transport aérien reste lui quasi exclusivement dépendant du carburant d'origine fossile et contribue donc au réchauffement climatique au travers des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) issues de la combustion de ce carburant. Mais le CO₂ n'est toutefois pas le seul contributeur à l'impact climatique global du transport aérien. Le rejet d'espèces chimiques autres que le CO₂, et en particulier les oxydes d'azote (NO_x), la vapeur d'eau et les particules volatiles et non volatiles, génèrent également des perturbations du bilan radiatif terrestre au travers de processus physico-chimiques tels que la formation de traînées de condensation et de cirrus induits, les interactions avec les nuages ou encore la formation d'ozone troposphérique.

Dans le cadre de ce cours nous donnerons les clés pour mieux comprendre les enjeux environnementaux liés au secteur du transport avec une attention particulière portée au transport aérien qui est au cœur de nombreux débats. Cette compréhension passera dans un premier temps par une meilleure connaissance des processus physiques régissant le système climatique, des cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote et de la chimie de l'atmosphère et du devenir des polluants dans l'air. L'impact du transport sur le climat sera ensuite analysé et remis dans la perspective du changement climatique global. Pour ce faire, plusieurs métriques devront être introduites pour quantifier le rôle relatif du transport et les différents agents contribuant à perturber le climat. Ces différentes métriques (e.g., forçages radiatifs, variations de température, potentiels de réchauffement global) seront présentées et comparées. Par ailleurs, la notion d'Analyse en Cycle de Vie (ACV) sera introduite et appliquée au secteur des transports.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Déroulement, organisation du cours

Le cours sera organisé en une série de sept cours magistraux de 1h30 portant sur le climat, le cycle du carbone, la pollution de l'air, les impacts climatiques du transport et de l'aviation en particulier, les métriques utilisées pour quantifier les perturbations climatiques du transport. De plus, une séance de 3h portera sur l'Analyse en Cycle de Vie (ACV) avec applications (TD) au domaine des transports.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera sous la forme d'un QCM.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Connaissances générales du système climatique, du cycle du carbone et de la pollution de l'air.
- Enjeux du réchauffement climatique et savoir répondre à des éléments de controverse.
- Impact des émissions liées au transport et à l'aviation en particulier sur l'environnement.
- Rôles du CO₂ et des autres agents à la perturbation du climat.
- Métriques permettant de quantifier l'impact d'un secteur d'activité sur le climat, application au cas de l'aviation.
- Analyse en Cycle de Vie appliquée au secteur des transports

3CV2010 – Système Terre

Responsables : **Pierre JEHEL, Didier Clouteau**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour ambition de donner les bases scientifiques nécessaires à la compréhension du système Terre (climat, géologie, océans) et à l'impact de l'activité humaine sur ce système.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours 1 (3h) : formation du système Terre

Formation et évolution des enveloppes (atmosphère, océan, croûte, manteau) de la Terre au cours du temps. Accrétion initiale, formation et évolution de la croûte, origine de l'eau sur Terre, grandes lignes de l'apparition et de l'évolution du vivant, étapes de formation de l'atmosphère, les grandes crises.

Cours 2 (3h) : surfaces continentales

Place et caractéristiques des surfaces continentales dans l'évolution à long terme du système Terre. Diversité lithologique des surfaces continentales, cycle des roches, renouvellement de ces surfaces et création de relief, le rôle de l'altération et de l'érosion, bilan des échanges avec l'atmosphère, stockage géologique du carbone.

Cours 3 (3h) : système hydrogéologique

Cycle hydrologique continental et ressources en eau. Impact des changements climatiques récents.

Cours 4 (3h) : le système climatique

Les composantes du système climatiques, échelles de temps, forçages, leurs interactions, bilan radiatif, GES, effet de serre, notion de déséquilibre, observation du changement climatique actuel (SR 1,5°C).

Cours 5 (3h) : cycle du carbone

Les différents réservoirs de carbone, ordre de grandeurs et échelles de temps associées, le rôle de la biosphère, pergélisol, et SRCCL (rapport spécial du GIEC sur l'usage des sols et climat).

Cours 6 (3h) : Les enseignements du GIEC + QCM

Transport d'énergie et dynamique des enveloppes fluides, cellules de convection de Hadley, circulation thermohaline, circulation de surface, rôle des pôles (amplification polaire) SROCC (rapport spécial du GIEC sur Océan et Cryosphère).

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu sous forme de QCM et de rapports.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les étudiants et étudiantes connaîtront les principales étapes de de la création de notre planète, du système climatique actuel et de son évolution anthropique et de la nécessité de préserver et gérer les ressources géologiques et hydrologiques.

Ils et elles seront en particulier en mesure de répondre avec des arguments scientifiques à des thèses climatosceptiques et créationnistes.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C3 : Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique
"comprendre et interagir avec des spécialistes des sciences de la terre : géologues, hydrologues, climatologues"

C9 : Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales
"Être conscient des enjeux du changement climatique et de la rareté des ressources naturelles tant en termes de réduction des impacts que d'adaptation aux risques"

3CV2020 – Procédés généraux de construction des Ouvrages d'Art

Responsables : **Brice Bossan, Pierre JEHEL**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours vise à permettre aux étudiants de comprendre comment les ponts sont conçus et réalisés.

Le cours donne un vocabulaire, de nombreux éléments de conception et de prédimensionnement, décrit à travers de nombreuses photos souvent détaillées de la construction d'ouvrages, un large éventail de méthodes et procédés de construction et met en évidence l'interaction qu'il peut y avoir entre conception et réalisation.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 : Introduction sur les ouvrages, ponts courants et ponts coulés en place

3h de cours :

- Vocabulaire
- Eléments sur les contraintes géométriques et de conception des ouvrages
- Fonction des différents équipements des ouvrages
- Classification sommaire des ouvrages
- Les différents schémas statiques des ponts
- Les sections transversales courantes
- Les modes de construction des ponts courants : étaieusement, cintres
- Exemple de phasage de construction d'un ouvrage courant depuis les fondations jusqu'aux finitions (passage supérieur d'une autoroute).
- Fonctionnement d'un cintre auto-lanceur

Séance 2 : Ponts mixtes acier-béton, précontrainte

2h de cours :

- Mode de fonctionnement d'une section mixte
- Eléments de conception et de dimensionnement d'un bipoutre
- La réalisation : fabrication usine, transport, assemblage et pose de la charpente, phases provisoires, réalisation de la dalle (équipement mobile ou préfabrication).
- Rappel des Principes de la précontrainte.

1h de TD : Exercices de dimensionnement.

Séance 3 : Construction par encorbellement

2h15 de cours :

- Principe de la construction par encorbellement
- L'évolution des schémas statique
- Section transversale ; éléments de dimensionnement
- Les différents types de câbles de précontrainte

- Les voussoirs courants et spéciaux : fonctions et éléments de conception.
 - Comment garantir la stabilité des fléaux
- 45 min de TD sur la stabilité des fléaux :
- Fonction et anatomie d'un équipage mobile
 - Exemples de réalisation

Séance 4 : Ponts poussés, ponts préfabriqués

3h de cours :

- Les Ponts poussés : principes ; contrainte géométriques (tracés poussables) ; contraintes structurelles ; conception du câblage ; les équipements (patins de glissement, banc de poussage, guidage latéral, avant bec, banc de coulage sur la culée.
- Les ponts préfabriqués : que préfabriquer ? pourquoi préfabriquer ? découpage de la structure ; outils de préfabrication ; modes constructifs.

Séance 5 : Ponts en arc, ponts à câble

2h de cours :

- Ponts en arc : les différents types d'arc ; principes de fonctionnement – degré d'hyperstatisme ; funiculaire ; éléments de dimensionnement ; le vérinage à la clef /cas de charges dissymétrique ; procédés classiques et modernes de réalisation.
- Pont à câbles : principes de fonctionnement, domaines d'utilisation.
- Pont haubanés : configuration et conception sens longitudinal/transversal
- Technologie et comportement des haubans
- Les pylônes et les tabliers
- Construction (installation et réglage des haubans)
- Assemblage d'un câble porteur.

1h : contrôle.

Organisation de l'évaluation

Contrôle d'une heure avec questions de cours et exercices à la fin du dernier cours.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Reconnaître les ouvrages.
- Connaître les modes constructifs généraux, leurs domaines d'application et les contraintes principales qu'ils apportent sur la conception de l'ouvrage afin de pouvoir faire un choix entre plusieurs solutions.
- Comprendre les raisons des choix structurels effectués par les concepteurs.
- Avoir quelques outils pour « pré-dimensionner » un ouvrage courant.

3CV2030 – Béton armé

Responsables : **Pierre JEHEL**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs du cours visent à maîtriser le dimensionnement d'éléments de structure en béton armé (poutre et poteau) ou en béton précontraint (poutre ou tablier de pont).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Connaissances RDM (calcul des sollicitations et contraintes)

Plan détaillé du cours (contenu)

1ère partie - Béton armé

Séance 1 (3h de cours) :

Généralités : Présentation de l'Eurocode EN 1992 : généralités sur les règles, caractéristiques des matériaux béton et acier, durabilité, états limites de service, état limite ultime, actions, combinaisons d'actions.

Séance 2 (1h de cours + 2h de TD de dimensionnement) :

Flexion simple ELU : Section soumise à une flexion simple ELU, dimensionnement, calcul d'une section rectangulaire.

Séance 3 (1h de cours + 2h de TD de dimensionnement) :

Effort tranchant ELU : Section soumise à un effort tranchant, dimensionnement, calcul d'une section rectangulaire.

Séance 4 (1h30 de cours + 1h30 de TD de dimensionnement) :

Vérification d'une poutre continue en flexion simple ELS : vérification des états de contrainte et de l'ouverture des fissures, vérification des flèches.

Séance 5 (1h30 de cours + 1h30 d'examen) :

Dimensionnement et vérification d'une poutre continue à l'ELU : épure d'arrêt des barres, vérification des zones d'about.

2ème partie - Béton précontraint

Séance 6 (3h de cours) :

Principe de la précontrainte, domaine d'utilisation, mode de réalisation, effet de la précontrainte une structure, aciers de précontrainte, dispositions constructives.

Séance 7 (1h de cours + 2h de TD de dimensionnement) :

Pertes de précontrainte, justification des contraintes normales et maîtrise de la fissuration, flexion en ELS, application à une poutre isostatique.

Séance 8 (2h de cours + 1h d'examen) :

Effort tranchant ELU, application à une poutre isostatique

Organisation de l'évaluation

- Partie "béton armé" : examen à la fin de la séance 5
- Partie "béton précontraint." : examen à la fin de la séance 8

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

1ère partie - Béton armé :

À la fin de l'enseignement du béton armé, l'étudiant sera capable de :

- Appliquer les Eurocodes pour des structures de type poutres continues
- Dimensionner l'équarrissage d'un élément de structure soumis à la flexion
- Déterminer le ferrailage à mettre en œuvre dans les sections critiques
- Donner un principe de mise en œuvre des armatures passives

2ème partie - Béton précontraint :

À la fin de l'enseignement du béton précontraint, l'étudiant sera capable de :

- Vérifier le pré-dimensionnement géométrique d'une poutre
- Déterminer le nombre et la position des câbles de précontrainte
- Donner une allure du tracé des câbles le long de cette poutre

3CV2040 – Technique et Architecture

Responsables : **François Cointe**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **48,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'enseignement « Techniques et architectures » est articulé autour de deux activités complémentaires, séparées sur deux créneaux différents à l'emploi du temps, de 24 heures chacune : une série de cours sur les sciences et techniques du bâtiment (second œuvre, enveloppe et équipements) et une activité de projet en équipe pour la conception bas carbone d'un bâtiment, au plus proche des conditions réelles.

1 — Cours « Conception technique des bâtiments » (24 heures) :

Au-delà de la structure, c'est l'enveloppe du bâtiment, associée aux équipements techniques, qui permet d'assurer les fonctions essentielles d'un bâtiment : clos et couvert, éclairement, confort thermique et acoustique, salubrité et hygiène des occupants.

Le but de ce cours est de présenter les phénomènes physiques qui régissent ces échanges entre l'intérieur et l'extérieur, de donner les outils de calcul associés, de présenter les techniques de construction et les équipements permettant d'assurer ces fonctions, et par là le confort des occupants, en les confrontant aux préoccupations contemporaines de développement durable et d'économies d'énergies, tout en les inscrivant dans l'histoire de l'architecture et des procédés de construction, à travers l'analyse de nombreux exemples de constructions remarquables, techniquement ou historiquement.

Chaque cours est construit en triptyque cours/outils/applications : panorama historique de l'évolution des constructions sur la problématique choisie, présentation des méthodes de calcul, application par groupe d'étudiants à un panel de bâtiments exemplaires choisis.

2 — Projet « conception bas carbone » (24 heures) :

Le projet d'approfondissement permet aux élèves de mener une mission d'ingénieur au sein d'une équipe encadrée par des professionnels. Les équipes répondent à un problème réel.

Les enseignants proposent aux élèves de travailler sur l'efficacité énergétique et la neutralité carbone d'un immeuble, souvent un immeuble de bureaux, à imaginer en réponse au dossier de consultation réel d'un bâtiment actuellement en chantier en région parisienne, ou en rénovation.

– Exemples de bâtiments étudiés

Chaque année est proposé un bâtiment en cours de chantier, pour lequel les dossiers de consultation et d'urbanisme seront remis aux élèves. Ces projets ont porté par exemple sur l'immeuble du Monde de Snøhetta avenue de France en 2020, sur le siège de Vinci et la gare RER Nanterre La Folie de Marc Mimram en 2021, et sur la rénovation de l'hôtel industriel Berlier de Dominique Perrault porte d'Ivry en 2022. Une visite du chantier aura lieu à l'issue de ce travail de conception.

– Travail demandé

À partir d'une analyse architecturale et technique d'un bâtiment existant (logements, écoles, bureaux...) et en s'appuyant sur des outils informatiques dédiés, ils étudieront comment optimiser les consommations énergétiques et réduire l'empreinte carbone de ce bâtiment, par le renouvellement des matériaux, des équipements techniques, des façades, et des prescriptions concernant l'usage.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1 — Cours « Conception technique des bâtiments » (24 heures) :

1 – Hygiène – Ventilation et qualité de l'air

- Cours : Insalubrité des logements et lutte contre les épidémies : conceptions hygiénistes des bâtiments et évolutions réglementaires dans l'architecture du XVIIIe au XXIe siècles.
- Méthodes de calcul et réglementation : taux de ventilation réglementaire, calcul des déperditions thermiques par ventilation...
- Étude de cas : loges des folles à la Salpêtrière, immeuble haussmannien rue du pont neuf, école en plein air de Suresnes, cité radieuse de Le Corbusier, bâtiment Max Weber Nanterre Université, mille arbres porte Maillot...

2 – Lumière

- Cours : Le verre en façade : Des baies dans les maçonneries aux murs rideaux et aux doubles peaux : évolutions des techniques de fabrication et de mise en œuvre du verre en façade.
- Méthodes de calcul : mesure de l'ensoleillement, mesure de la lumière de jour, besoin en éclairage diurne et nocturne.
- Étude de cas : Panthéon à Rome, Dulwich Picture Gallery, First Leiter building, Lake shore drive building à Chicago, Lever House à New York, consulat des États-Unis à Luanda, The edge Amsterdam

3 – Construire avec le climat

- Cours : le déterminisme climatique dans l'architecture traditionnelle et contemporaine : climat froid, climat tropical humide, climat chaud et sec.
- Méthodes de calcul : diagramme psychrométrique, diagramme bioclimatique de Victor Olgyay et diagramme bioclimatique de Givoni
- Étude de cas : l'Alhambra à Grenade, Ghardaïa, badgirs et canats à Yazd, école de filles New Gourn, Pearl academy of fashion à Jaipur, rectorat de la Martinique, orphelinat Falatow Jighiyaso Dialakoroba au Mali...

4 – Acoustique

- Cours : Réverbération du son, qualité sonore et traitement acoustique des espaces clos, conception architecturale des auditoriums.
- Méthodes de calcul : mesure du son, formules de Sabine et réglementation acoustique
- Étude de cas : Abbaye des anges à Landéda, Ircam, Philharmonie du Luxembourg, Casa Musica à Porto, Elbe Philharmonie à Hambourg...

5 – Climatisation

- Cours : Évolution des techniques de conditionnement d'air et de climatisation, des premières imprimeries climatisées par Carrier jusqu'au bâtiment 2226 refroidi par ventilation naturelle, sans chauffage ni climatisation.
- Méthodes de calcul : bilan thermique de climatisation, Évolutions enthalpiques des systèmes de climatisation sur le diagramme de Carrier
- Étude de cas : cité du refuge, Lever House, arche de la défense, immeuble France avenue, 270 Aubervilliers, Sonnenschiff Fribourg, San Francisco Federal Building, 2226 à Lustenau...

6 – Efficacité énergétique et isolation thermique

- Cours : La prise en compte de l'isolation thermique des bâtiments après la crise pétrolière de 1973, les évolutions réglementaires et leur impact sur l'architecture.
- Méthodes de calcul : calculs des déperditions par les façades, bilan thermique d'hiver.
- Étude de cas : Logement 5PA1 la vieille fontaine, éco-collège de Mäder, résidence vertbois à Montpellier, Maison de l'île de France à la cité universitaire...

7 – Bâtiment à énergie positive

- Cours : Évolution vers les bâtiments producteurs ou autonomes en énergie, de la dymaxion house de Buckminster Fuller en 1929 à nos jours...
- Problématique : énergie solaire et techniques de stockage de chaleur.
- Étude de cas : Autonomous House Project d'Alexander Pike, immeuble solaire d'Odeillo, Earhtships, Bedzed, Maison de l'Île-de-France...

2 — Projet « conception bas carbone » (24 heures) :

Les enseignants proposent aux élèves de travailler sur l'efficacité énergétique et la neutralité carbone d'un immeuble, souvent un immeuble de bureaux, à imaginer en réponse au dossier de consultation réel d'un bâtiment

actuellement en chantier en région parisienne. Ils s'appuieront sur des outils informatiques de design paramétrique, notamment Rhinoceros 3D et GrassHopper.

1 - ARCHITECTURE

Présentation du projet - Présentation des rendus attendus - Conception du projet.

2 -ANALYSE CLIMATIQUE

Analyse climatique du site - Apports solaires - Adaptation future au contexte urbain et au climat.

3 - CONCEPTION ARCHITECTURALE

Conception et dessin du projet

4 - PERFORMANCES THERMIQUES

5 - AUTONOMIE LUMINEUSE

6 - SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

7 - BILAN CARBONE

Évaluation du bilan Carbone de différentes variantes de projet

8 - RENDU FINAL

Présentation du projet et des choix de conception retenus

Déroulement, organisation du cours

1 — Cours « Conception technique des bâtiments » (24 heures) :

Chaque cours est organisé en trois parties : cours et présentation des outils de calcul d'une demi-heure, suivis de mises en application directes et restitution en groupe par les étudiants.

2 — Projet « conception bas carbone » (24 heures) :

Le choix des projets et l'affectation se font en fonction des aspirations professionnelles de l'élève.

Les projets sont développés en équipes.

8 demi-journées entières sont consacrées au projet. Elles sont encadrées par des professionnels.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fait sur la base d'un rendu en équipe pour l'activité projet, éléments graphiques sous forme de planches accompagnées de documents techniques, et d'un rapport individuel sur une étude proposée par l'enseignant pour la partie cours.

Moyens

Cours et présentations des méthodes de calcul seront enregistrés sous forme de courtes capsules vidéo d'une demi-heure pour toutes les circonstances ne permettant pas d'assister aux cours en présentiel.

Un cours photocopié « Conception technique des bâtiments » complète la documentation fournie.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 : Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines.

C1.3 : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C1.6 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

C4.1 : Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes de plusieurs parties prenantes

C9.4 : Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, environnementaux et humains.

3CV2050 – Fiabilité et Gestion des Risques

Responsables : **Christian Cremona, Pierre JEHEL**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le développement de méthodes efficaces et pertinentes pour le dimensionnement et la requalification des structures est devenu aujourd'hui un challenge important. Les enjeux économiques, sociétaux et environnementaux attachés dans la conception, l'entretien et l'exploitation constituent en effet une préoccupation croissante pour les maîtres d'ouvrages publics ou privés.

Le besoin pour des approches pertinentes et efficaces, permettant la prise en compte des incertitudes dans les chargements, la géométrie, les propriétés des matériaux, la fabrication et la mise en œuvre et les conditions d'exploitation, se fait largement sentir.

La théorie de la fiabilité qui repose sur une formulation probabiliste de la performance des constructions répond conceptuellement de façon adaptée à ces questions. Néanmoins, elle soulève des difficultés tant sur le plan théorique, numérique que pratique. Elle constitue cependant une alternative originale pour identifier les facteurs principaux d'incertitude se produisant dans les systèmes structuraux ou les essais et contrôles pouvant accroître leur sécurité et efficacité.

Ce cours a été conçu pour fournir aux étudiants un panorama des méthodes à leur disposition pour mettre en œuvre une approche probabiliste de la performance des structures dans le cadre de leurs futures activités. Il présente les différents concepts au travers d'exemples pouvant être réalisés pour la plupart à la main ; des exemples plus complexes réels sont démontrent leur intérêt et mise en œuvre opérationnelle.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

L'étude de la fiabilité structurale porte sur le calcul et la prévision de la probabilité de violations d'états limites à tout âge de la vie d'une structure. La probabilité d'occurrence d'un tel événement est une mesure numérique de la probabilité qu'il se produise. Une fois la probabilité déterminée, le prochain objectif est de choisir des alternatives de conception pour un ouvrage à construire, ou de réparation pour un ouvrage à gérer qui améliorent la fiabilité structurale et minimisent le risque de dysfonctionnement (défaillance).

Les méthodes d'analyse en fiabilité ont trouvé rapidement leur application en conception multidisciplinaire en raison d'exigences de performance strictes, des marges de sécurité étroites, de la responsabilité croissante et de l'accroissement de la concurrence. Dans un problème de conception ou de requalification introduisant des incertitudes, une structure conçue ou évaluée en utilisant une approche déterministe peut avoir une plus grande probabilité de défaillance qu'une structure du même coût conçue en utilisant une approche probabiliste qui tient compte des incertitudes. En effet, les exigences de conception sont précisément satisfaites dans une approche déterministe et toute variation des paramètres pourrait potentiellement violer les contraintes du système.

Le cours est divisé en 6 séances comme suit.

Séance n°1 (3h) : Performance, états limites, approches déterministe et probabiliste et introduction aux méthodes probabilistes

Séance n°2 (6h) : Méthodes de fiabilité (composants et systèmes), analyse élasto-plastique des arbres de défaillance et couplage mécano-probabiliste

Séance n°3 (3h) : Travaux dirigés – Exercices et études de cas

Séance n°4 (7h30) : Tests, essais et contrôles et fiabilité des structures existantes, Eléments de théorie de la décision

Séance n°5 (3h) : Travaux dirigés – Exercices et études de cas
Séance n°6 (1h30) : Contrôle final

Déroulement, organisation du cours

Le cours s'appuie sur un ensemble de connaissances en théorie des probabilités et des processus stochastiques, en éléments finis et en analyse limite qu'il faudra rafraîchir, consolider ou s'approprier en autonomie avant et pendant le cours. Pour cela les étudiants disposeront d'un polycopié de cours détaillant principes et méthodes. Le cours comprend 6 séances de travail, réalisées en présentiel dans une salle de TD. Les séances de travaux dirigés ont pour but de vérifier l'assimilation des méthodes sur cas simples.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation s'appuie sur le rendu des travaux dirigés dans les deux jours qui suivent la séance et sur un devoir sur table d'une durée d'une heure trente à deux heures,

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève aura acquis plusieurs niveaux de compétences et sera capable de :

Niveau 1 : Connaissances des principes généraux

- Appréhender les notions de performance, risque
- Interpréter la notion d'incertitude en théorie de la fiabilité
- Comprendre les apports relatifs des approches probabiliste et déterministe
- Assimiler les notions de composants, systèmes, contrôles et arbres de défaillance

Niveau 2 : Compréhension des méthodes

- Calculer des probabilités de défaillance de manière analytique sur cas simple
- Assimiler les méthodes numériques de calcul de fiabilité
- Comprendre les démarches de calcul dans les cas complexes
- Comprendre la place des contrôles, essais, inspections dans la maîtrise de la fiabilité

Niveau 3 : Applications

- Mettre en œuvre sur cas simples les méthodes du cours
- Mettre en œuvre sur cas numériques les méthodes du cours
- Saisir l'apport des techniques sur des exemples réels

3CV2070 – Smart Construction

Responsables : **Christian Cremona, Pierre JEHEL**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le concept de "smart construction" ou "construction intelligente" est souvent perçue, si ce n'est définie, comme le recours par le secteur de la construction d'innovations "digitales" ou "numériques". En adoptant et en exploitant ces innovations, l'objectif est de pouvoir accroître non seulement la productivité, mais aussi améliorer la qualité et la sécurité.

Alors que la plupart des industries ont subi d'énormes changements au cours des dernières décennies et ont récolté les fruits d'innovations de procédés et de produits, le secteur de la construction commence à peine à saisir les opportunités technologiques qui se présentent à lui, ce qui place ce secteur dans une stagnation de sa productivité. Cependant, le secteur de la construction dispose d'un vaste potentiel d'amélioration grâce au « digital », à des méthodes, des techniques et des technologies innovantes de construction. L'émergence rapide de la réalité augmentée, des drones, du digital et de l'impression 3D, de nouveaux matériaux de construction... entre dans cette dynamique.

Cependant le concept de "smart construction" peut aussi se définir comme "construction éclairée", qui ne consiste pas seulement à une débauche de technologies, mais aussi à appréhender la construction de manière plus globale dans son environnement et son usage. En ce sens, l'écoconception est également une vision éclairée de la "smart construction".

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours offre un panorama non exhaustif de méthodes et techniques aujourd'hui disponibles, en déploiement ou en cours de développement. Le cours est divisé en 5 séances comme suit.

Séance n°1 (3h) : Introduction, écoconception

Séance n°2 (3h) : Nouveaux modes constructifs (Industrialisation, préfabrication, automatisation, construction modulaire, impression 3D)

Séance n°3 (3h) : Modélisation paramétrique

Séance n°4 (3h) : Donner une seconde vie aux ouvrages: réparation, réhabilitation, rénovation

Séance n°5 (3h) : Capteurs et instrumentations pour la construction + contrôle final

Organisation de l'évaluation

L'évaluation s'appuie sur :

- des QCM sur table d'une durée d'une demi-heure,
- d'un contrôle final d'une heure.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève aura acquis plusieurs niveaux de compétences et sera capable de :

Niveau 1 : Connaissances des principes généraux

- Appréhender les différents concepts de "smart construction"
- Être sensibilisé à l'évolution des métiers de la construction

Niveau 2 : Compréhension des méthodes

- Comprendre la place actuelle et à venir de ces techniques, méthodes et technologies pour le secteur de la construction
- Comprendre la notion de cycle de vie des constructions
- Apprécier l'impact de ces méthodes, techniques sur le secteur professionnel en termes de productivité, performance, qualité et sécurité

Niveau 3 : Applications

- Saisir l'apport des techniques sur des exemples concrets

3CV2080 – Système de ville

Responsables : **Frédérique Delmas-Jaubert**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **42,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours propose une approche systémique de la ville, d'où l'appellation Système Ville.

Les grands objectifs sont :

- Avoir une vision systémique des grands enjeux de transition à l'échelle urbaine
 - Approfondir quelques thématiques à enjeu de transition sur quelques territoires
 - Développer un esprit critique et identifier les ressorts pour permettre un passage à l'action du plus grand nombre
- Les trois journées de cours privilégieront les échanges et les travaux en sous-groupes. Les 4 journées de projet permettront de mobiliser les outils et connaissances au service d'un projet urbain et en particulier : i) le bilan d'aménagement, ii) l'empreinte carbone, iii) les mobilités, iv) l'adaptation au changement climatique

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Partie COURS :

Jour cours 1 : découvrir et comprendre

Apports de connaissances

- Enjeux de l'urbanisation et des grands flux urbains (émissions GES globalement et en ville – énergie / transport / bâtiments / alimentation / consommation)
- Notion d'atténuation du réchauffement climatique à l'échelle urbaine / objectif de neutralité carbone des zones urbaines
- Notion d'adaptation au changement climatique
- Notion d'inégalités et de justice climatique à l'échelle globale et au niveau urbain
- Intégration des rapports des GT2 et 3 du GIEC, dans la suite du rapport GT1 abordé dans le cours "Système Terre"

Travaux en sous-groupes

- Réalisations de Fresques de la ville
- Portraits de villes, par exemple Ile-de-France, Inde, USA, Afrique (données / tendances)

Jour cours 2 : approfondir et débattre

Apports de connaissances

- Les grands acteurs du système ville : autorités publiques, population, acteurs privés (concepteurs, constructeurs, opérateurs de flux, innovateurs, entreprises du numérique, ...)
- Politiques publiques urbaines en lien avec le climat et la biodiversité, aux échelles nationale (ex. loi climat-résilience, stratégies nationales), régionale puis locale (plans climat, instruments pour stratégies régionales / locales)
- Gouvernance urbaine
- Financements de la ville durable (adaptation / atténuation) : en France et à l'international
- 10 principes pour une ville durable, apaisée et attractive, avec des présentations de projets concrets et une balade urbaine pour ancrer ces principes dans la réalité

Travaux en sous-groupes

- Complément des portraits de villes (acteurs / politiques publiques)
- Jeu de rôles entre parties prenantes

- Débat contradictoire
- Balade urbaine sur le plateau de Saclay

Jour cours 3 : passer à l'action

Travaux en sous-groupes

- Travaux en binômes autour de projets concrets pour passer à l'action au bénéfice du climat et de la biodiversité
- Pitches de restitution par binômes

Partie PROJET

Projet – séance 1 :

- Choix du territoire d'étude
- Diagnostic bibliographique
- Constitution des sous-groupes de travail : : i) le bilan d'aménagement, ii) l'empreinte carbone, iii) les mobilités, iv) l'adaptation au changement climatique

Projet - séances 2 et 3 :

- Visite du territoire (en Ile de France)
- Livrable : reportage photo + 1ers éléments documentaires
- Travail en sous-groupe : recherche biblio, identification des pistes d'actions, quantification

Projet – séances 4 et 5 :

- Poursuite du travail en binôme
- Livrable du jour : présentation des enjeux à partager avec le grand groupe

Projet – séances 6 et 7 :

- Temps de partage de la compréhension des enjeux de chaque sous-groupe en grand groupe et revue des hypothèses partagées
- Approfondissement de chaque sous-groupe, mise en cohérence avec les autres sous-groupes,

Projet – séance 8 :

- soutenances

Déroulement, organisation du cours

3 jours de cours et 5 jours de projet (1/2j ; puis 3j de projet puis ½ j de soutenance

En cours, des moments de transmission et de nombreux travaux et temps de réflexion en sous-groupes.

Lors du dernier cours, les étudiants présentent à l'oral un pitch sur un thème concret orienté actions.

En projet, travaux en grand groupe et petits groupes pour intégrer l'ensemble des disciplines du système ville

Organisation de l'évaluation

Une évaluation en contrôle continu aura lieu au fil du cours. L'évaluation finale se fait par la soutenance du projet à la fin de la séquence

Moyens

L'équipe pédagogique est composée de Olivier Ledru et Fanny Guyot pour la partie cours, et complétée de Sébastien Corbon, Didier Lourdin et Frédérique Delmas pour la partie projet.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Appréhender les notions de ville durable et intelligente,
- Dégager sa propre vision sur la ville durable et intelligente
- Appliquer et projeter cette vision sur un territoire réel

3CV2100 – Immobilier, aménagement, développement urbain

Responsables : **Frédérique Delmas-Jaubert, Pierre JEHEL**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

- Chaîne de valeur de l'immobilier : création et captation de valeur depuis l'investisseur jusqu'à l'exploitant
- Les outils de fabrication de la ville : l'opération immobilière, l'opération urbaine et l'aménageur, la planification, les infrastructures de transport
- Les acteurs publics et privés impliqués dans le processus

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Panorama de la chaîne de valeur, classe entière
Identification des acteurs de la chaîne de valeur, exploration de leurs relations contractuelles et commerciales et des jalons réglementaires
2. Montage immobilier : le processus et l'évaluation de la rentabilité
Les étapes principales du montage immobilier d'une opération : terrain, diagnostics, faisabilité économique, montage opérationnel
TD
3. Opération immobilière et opération urbaine, Aménageur et Promoteur, 2 modèles de fabrication de la ville, avec Armand Koestel, Grand Paris Aménagement
La ville planifiée versus la ville développée par opportunité, aménageurs et promoteurs.
Espaces publics et opérations immobilières.
4. Cours in situ sur la programmation urbaine et le rapport entre ville et infrastructures (y compris industries), visite Paris Rive Gauche (F. Delmas + F. Cointe)
Espaces bâtis, espaces publics, architecture et infrastructure : apprendre à lire la ville, visite commentée de l'opération Paris Rive gauche
5. Investissement responsable : l'état des lieux et l'impact de l'immobilier
6. Investissement responsable : le rôle de l'investisseur dans la chaîne de valeur, les indicateurs de l'ISR et les perspectives
7. Examen : jeu de rôle : SIM URBA
Par équipes de 2 contre une équipe de 2, vous négociez la transaction de terrains à construire. Evaluation de la pertinence des bilans financiers établis, de la justification des critères extra-financiers

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fait par la participation et les résultats du jeu de rôle Sim urba, présentant un bilan économique mais aussi social et environnemental.

Moyens

Composition de l'équipe pédagogique : Frédérique Delmas + Thomas Rochefort + Armand Koestel

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

C1 : systèmes complexes

C1.1 : Etudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

C1.3 : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C1.6 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

C4 sens de la création de valeur

C4.1 : Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes de plusieurs parties prenantes : habitants, usagers, industriels, fournisseurs de service, politiques, électeurs, ...

C4.2 : Savoir identifier la valeur apportée par une solution pour un client, le marché. Savoir discerner les opportunités, les bonnes occasions d'affaire et les saisir.

C6 être à l'aise et innovant dans le monde numérique

C6.6 : Comprendre l'économie numérique liée au concept de smart city et le bouleversement de l'économie traditionnelle de la ville

C9.2 : Percevoir le champ de responsabilité des structures auxquelles on contribue, en intégrant les dimensions environnementales, sociales et éthiques

C9.4 : Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques

3CV2230 – De l'arbre au bois, un matériau renouvelable et performant

Responsables : **Patrick Perre, Pierre JEHEL**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Grâce à sa combinaison unique de propriétés, le bois et les matériaux à base de bois proposent des solutions performantes et innovantes pour la construction, voire la mobilité (automobile, réseaux ferrés). Matériaux durables capables de prolonger le stockage de CO₂ assuré par la photosynthèse dans les arbres, son utilisation est en forte croissance et cette tendance devrait encore se renforcer dans les prochaines décennies.

Ce cours général sur le matériau bois commence par une présentation du rôle du bois dans les arbres, rôle qui explique les propriétés du matériau et ses particularités. Ensuite, le bois en tant que matériau de construction sera présenté en détail : comportement mécanique, thermique et hydrique. Les principales familles de matériau disponibles actuellement, leurs propriétés et la façon de les obtenir seront présentées en fin de cours.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Si possible, mais pas impératif : transferts thermiques et mécanique des milieux continus

Plan détaillé du cours (contenu)

- Les arbres : des plantes douées de croissance secondaire (assise génératrice qui ajoutent des couches de cellule année après année)
- Rôles du bois dans l'arbre :
 - le système vasculaire et la montée de la sève brute
 - le soutien mécanique de la structure
 - l'adaptation de la structure à l'environnement
- Anatomie fonctionnelle du bois
- Conséquence des fonctions de la tige des plantes sur les propriétés du bois et sur leur anisotropie
- Rappels sur l'air humide et la résistance des matériaux
- La performance du matériaux bois = combinaison unique de propriétés, notamment thermiques, hydriques et mécaniques
- Du bois dans l'arbre au matériau : débit, séchage, assemblage, finition
- Diversité et propriétés des matériaux à base de bois

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux : 12h

TD : 9h

TP-expérimentaux : 3h

Organisation de l'évaluation

La remise d'un projet écrit (ou maquette) servira de contrôle.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Observer les arbres avec un regard d'initié,
- Comprendre le comportement d'un matériau hygroscopique en fonction de son environnement,
- Poser convenablement le dimensionnement d'une poutre fortement anisotrope,
- Quantifier les échanges hydriques avec une paroi
- Appréhender de façon globale les performances du bois et matériaux à base de bois dans la construction.

3CV2250 – Gestion des Risques et Ingénierie Forensique

Responsables : **Christian Cremona**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les étapes de base de la gestion des risques sont a) Identifier le danger, b) Evaluer la probabilité de son occurrence et la gravité de ses conséquences, c) Combiner leur effet par une matrice de risque pour déterminer le risque du danger. Les trois étapes précédentes constituent ce que l'on appelle l'« évaluation des risques ». Selon l'ampleur du risque, il faut vérifier si les contrôles existants sont adéquats ou si des contrôles supplémentaires sont nécessaires pour réduire les conséquences néfastes du risque dans des limites acceptables ou tout au moins tolérables.

Selon les résultats de cette analyse de risque, des décisions peuvent être entreprises en termes de gestion, dont la réparation et/ou la réhabilitation font parties.

L'ingénierie forensique en construction peut être définie comme « la pratique professionnelle visant à déterminer la ou les causes de la défaillance d'une structure, d'un ouvrage, d'une construction... et à définir les bases techniques pour identifier les parties responsables de cette défaillance ». L'objectif principal d'un expert d'ingénierie forensique est donc de présenter de manière factuelle toutes les informations et données qui peuvent être recueillies après une défaillance afin d'identifier sa cause, en fonction des ressources disponibles (temps, personnel et moyens financiers), ce qui limite l'étendue de l'enquête. Cette dernière repose donc sur tous les moyens scientifiques et technologiques, sur les témoignages et les traces historiques, pour trouver une explication à la défaillance.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours est divisé en 7 séances comme suit.

Séance n°1 (3h) : Evaluation des risques et ingénierie forensique

Séance n°2 (3h) : Exemple de gestion des risques basée sur retour d'expérience : les viaducs à travées indépendantes à poutres précontraintes (VIPP)

Séance n°3 (3h) : Place de l'inspection et des contrôles en construction : principes et méthodes

Séance n°4 (3h) : Présentations de cas d'études

Séance n°5 (3h) : Evaluation des ouvrages existants : principes et méthodes

Séance n°6 (3h) : Méthodes et techniques de réparation et réhabilitation.

Séance n°7 (3h) : Présentations de cas d'études

Organisation de l'évaluation

L'évaluation s'appuie sur :

- des QCM sur table d'une durée d'une demi-heure max,
- d'un contrôle final sous forme QCM + exercice,
- de cas d'études en petit groupe (3 élèves) conduisant à des présentations orales de 30 mn + rapport écrit (sessions 4 et 7),.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève aura acquis plusieurs niveaux de compétences et sera capable de :

Niveau 1 : Connaissances des principes généraux

- Appréhender les notions d'évaluation des risques et d'ingénierie forensique
- Être vigilants aux points critiques en conception et exécution
- Être à même d'apprécier les projets de réparation des structures

Niveau 2 : Compréhension des méthodes

- Mettre en place une évaluation des risques
- Assimiler les méthodes d'inspection et d'investigation
- Comprendre la place de l'expertise en ingénierie forensique
- Comprendre les principes de recalcul d'ouvrages existants, de dimensionnement de réparations.

Niveau 3 : Applications

- Analyser des études de défaillance
- Mettre en œuvre les principes de gestion des risques et d'ingénierie forensique
- Saisir l'apport des techniques sur des exemples réels

3CV2261 – Excellence opérationnelle - Gestion des projets de construction

Responsables : **Pierre JEHEL**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Un projet de construction est un projet complexe qui comprend de nombreuses parties prenantes allant du client aux usagers de l'ouvrage construit : la maîtrise d'ouvrage qui formalise un besoin et un programme ; la maîtrise d'œuvre – architectes et bureaux d'études techniques – qui traduit ce besoin du client en cahiers des charges conformes à l'état de l'art, à la réglementation et à la législation ; les entreprises de construction qui réalisent les travaux (méthodes d'exécution, ordonnancement de la production, planification, coordination) ; le gestionnaire qui exploite et maintient l'ouvrage réalisé. Les périmètres d'action de chacun de ces acteurs et les responsabilités associées sont définis dans les marchés conclus pour la réalisation du projet.

La performance d'un projet (coûts, délais, qualité, impact environnemental, sécurité) est conditionnée par une bonne coordination entre tous les acteurs. Si des concepts et outils technologiques comme ceux d'environnement commun de données et de Building Information Modeling apparaissent dans les éléments normatifs et législatifs encadrant un projet de construction, il n'en demeure pas moins qu'un tel projet est aussi un processus social au cours duquel de nombreux acteurs collaborent. La performance d'un projet passe donc aussi par l'excellence opérationnelle dans sa gestion.

Le cours vise à présenter les éléments essentiels de l'excellence opérationnelle dans un projet de construction :

- les principaux acteurs d'un projet de construction et leurs prérogatives ;
- les différents types de marchés et d'organisations mis en place dans les projets publics et privés, en France et à l'étranger ;
- les outils numériques servant de plateforme d'échange entre acteurs.

Le cours a aussi pour objectif de faire vivre aux étudiants une expérience de l'excellence opérationnelle dans le contexte spécifique d'un projet de construction et les mettant en situation de pratiquer des méthodes de gestion de projet.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Les principaux acteurs dans un projet de construction
- Les principaux marchés et organisations mis en place dans un projet de construction (marchés publics / privés, CREM, REM, PPP)
- La construction Lean (principes, méthodes, effets, ce qu'il faut en retenir, gestion de projet lean par la pratique)
- Méthodes de leadership (leadership sans pouvoir hiérarchique – facteur clef de succès dans les projets)
- Target Value Delivery (par la pratique)
- Gestion des risques
- BIM

Déroulement, organisation du cours

Les séances du cours sont concentrées sur une semaine et sont construites selon différentes modalités pédagogiques en fonction de leurs objectifs : cours magistral, étude de cas, jeu sérieux, travail individuel ou en groupe.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fait sur un mode Pass or Fail. Le cours est validé (Pass) si les éléments suivants sont rassemblés :

- Réponse à un questionnaire avant le début du cours
- Note de synthèse des apprentissages et compétences développées à la fin du cours
- Pas plus d'une demi-journée d'absence
- Pas d'absence pendant les demi-journées consacrées à un jeu sérieux

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue du cours, les étudiants :

- connaîtront les différents aspects de la performance d'un projet de construction
- connaîtront les principaux acteurs d'un projet de construction ainsi que leurs prérogatives pour le succès du projet
- connaîtront les principes de l'excellence opérationnelle dans la construction
- sauront appliquer des méthodes orientées vers l'excellence opérationnelle dans les projets de construction
- sauront appréhender la variance importante inhérente aux différentes étapes d'un projet de construction
- auront pris conscience qu'un projet de construction est aussi un processus social et sauront avoir recours aux outils numériques adaptés

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C3- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C5- Évoluer et agir dans un environnement international, interculturel et de diversité

C8- Mener un projet, une équipe

C9- Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3CV2270 – PGC des Bâtiments

Responsables : **Brice Bossan, Pierre JEHEL**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours vise à présenter les techniques de base de la construction des bâtiments.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 (3h) - Bâtiments et complexes d'équipement (description, caractéristiques, exemples)

Cours :

- Bâtiments récurrents : immeubles de logements et de bureaux
- Autres : hôpitaux, prisons, lieux d'enseignement, aéroports, espaces culturels, stades, centres commerciaux, IGH/tours

Séance 2 (3h) - Matériels de coffrage bâtiment (description, principe de fonctionnement, critères de choix)

Cours :

- Coffrages standard
- Matériels spéciaux couramment utilisés : coffrages de poteaux, outils de façade
- Matériels spéciaux exceptionnels : coffrage auto-grimpant pour les IGH, autres exemples (Stade de France, Tour First)

Séance 3 (3h) - Modes constructifs, planning gros-œuvre, moyens de levage

Cours :

- Choix des modes constructifs : analyse de structure, critères de choix, comparaison des solutions
- Planning gros-œuvre : détermination des cadences, démarche pour l'établissement du planning, choix du nombre de grues, validation par une saturation de grue, solutions pour réduire les temps de grue et/ou la durée du planning

Séance 4 - Partie 1 (1h) - Corps d'États Techniques (description, réglementation)

Cours :

- Chauffage – Ventilation – Climatisation
- Plomberie
- Courants forts – courants faibles

Séance 4 - Partie 2 (1h) - Corps d'États Architecturaux (définition, réglementation, exemples)

Cours :

- Isolation – Cloisons – Doublage
- Faux-planchers
- Menuiseries intérieures
- Revêtements de sols
- Faux-plafonds
- Métallerie

Séance 5 (3h) - Saturation de grue

Cours et application :

- Définition, principe, exploitation des résultats
- Application en séance

Organisation de l'évaluation

Contrôle d'une heure au début de la 5ème séance du cours sous forme d'une série de questions.

Moyens

Séances 1 à 5 : cours génériques.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable, dans les grandes lignes, de :

- Définir les modes constructifs les mieux adaptés en fonction des caractéristiques du bâtiment étudié
- Proposer des cadences de réalisation réalistes, définir le nombre de grues nécessaires et établir le planning du gros-œuvre
- Choisir les matériels appropriés pour la réalisation de la structure
- Etablir un cycle de gros-œuvre cohérent
- Connaître les principaux types d'équipements de Corps d'États Secondaires

3CV2280 – Construction métallique

Responsables : **Christian Cremona**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs du cours sont :

1. Connaître les propriétés et particularités du matériau acier dans son usage relatif aux structures de bâtiments et de génie civil, que ce soient des structures métalliques ou des structures mixtes avec d'autres matériaux.
2. Appréhender les méthodes et outils de conception et de dimensionnement général des structures métalliques sous les aspects théoriques et réglementaires.
3. Savoir comment calculer la résistance et la stabilité des éléments de structures en acier selon les règlements en vigueur (Eurocodes).
4. Connaître les différentes méthodes d'assemblages des structures.
5. Comprendre le processus de réalisation d'une structure, et les normes d'exécution qualifiant les performances des structures.
6. Situer le matériau acier dans l'économie circulaire et les questions de développement durable.
7. Connaître les technologies actuelles et les technologies futures envisagées pour la fabrication des structures (technologies numériques, robotique).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 (3h de cours)

L'acier et son usage en construction, ses propriétés. Les règlements et normes.

Brève histoire du fer et de l'acier. Usage de l'acier dans le monde – Chiffres clés. Le marché de la construction métallique ; les entreprises. Modes d'élaboration et de transformation. Les produits sidérurgiques de base. L'acier et le développement durable. L'économie circulaire du recyclage au ré-emploi. La REP (Responsabilité Elargie des Producteurs). Propriétés génériques des aciers de construction. Ductilité, élasto-plasticité, résilience & ténacité (DEPRT). Bases générales de la conception et réalisation de la CM – les normes et règlements en vigueur. Organisation des Eurocodes - Rappels sur la fiabilité - Coefficients partiels de sécurité. Rappels sur les notions d'hypothèses de charges et de combinaison d'actions.

Séance 2 (3h de cours)

La résistance en plasticité des éléments en acier ; Les formes d'instabilités (1).

Notations & Unités en Construction Métallique. Désignation et choix des aciers – Caractères nominaux. Élasticité /Plasticité – Rappels de RdM. Le cisaillement des sections en acier. La traction des sections brutes et nettes en acier. Interaction plastique – principes et formulation. Rotules plastiques / Redistribution des efforts en plasticité. Les formes d'instabilités d'une barre en acier. Les quatre classes de section. Stratégie de l'Eurocode en classe 4. La vérification de sections transversales selon l'Eurocode 3. Le flambement (courbe universelle et résistance au flambement). Le déversement en flexion des poutres.

Séance 3 (3h de cours)

Les instabilités (2) et l'analyse structurale (principes de conception).

Principes généraux de la conception. Modes de stabilisation des structures. Typologie de éléments porteurs. Stabilisation par barres. Stabilisation par effet diaphragme. La flexion déviée. L'analyse structurale en

Construction Métallique, notions sur les imperfections initiales et les effets du second ordre. Rôles des systèmes de contreventements et des assemblages. Questions des imperfections structurelles globales : approche réglementaire, conséquences sur la modélisation des structures et le calcul des barres. Notion de structure souple et rigide, à nœuds fixes ou déplaçables. Définition et choix des méthodes d'analyse structurale et des vérifications associées. Méthodes de détermination des longueurs de flambement ou des charges critiques. Vérifications de stabilité des barres.

Séance 4 (2h de cours + 1h de TD)

Les ELS – Les assemblages en Construction Métallique - Les structures mixtes.

Les ELS (Etats Limites de Services) en déformation et confort des utilisateurs. Les structures mixtes acier-béton. Les structures multi-matériaux : acier, bois, verre, membranes textiles. Assemblages en constructions métalliques. Méthode des composants suivant Eurocode 3. La soudabilité et la soudure en construction métallique.

Séance 5 (3h de cours)

L'acier en situations accidentelles – L'acier et les actions dynamiques – L'inox – La norme d'exécution des structures métalliques.

Les ouvrages en acier et l'action du vent. Les structures acier et les actions dynamiques - Notions de fatigue. L'acier en situation accidentelle : Séisme, Incendie. L'acier inoxydable en construction. Norme d'exécution EN 1090-2 & Règlement Européen des Produits de construction. Exemple d'application des méthodes : la Canopée et la maîtrise des tolérances. Panorama sur les technologies numériques et les outils de fabrication - l'usine 4.0.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera en continu à partir d'un projet individuel de bâtiment qui servira de fil conducteur tout au long du cours, depuis la genèse des hypothèses de charges jusqu'au calcul de certaines barres, et une analyse critique des choix de conception.

Ce projet sera présenté et les attendus seront expliqués lors de la seconde séance de cours. Un travail personnel après les séances 2, 3 et 4 sera nécessaire. Les attendus pourront être d'effectuer une recherche bibliographique sur un thème particulier.

Le projet complet sera à finaliser et à rendre pour la dernière séance (séance 5). Une demi-heure sera laissée en fin de cours pour que les étudiants puissent relire, amender et compléter leur dossier.

Lors de la quatrième séance, 1 heure sera réservée à une correction d'exercices pratiques, qui auront été mis en ligne après la séance 3.

Le projet aura pour but de balayer différentes étapes de conception d'une structure, comme par exemple : élaborer les hypothèses / définir les actions / choisir les modes de stabilité / choisir le mode de calcul des sollicitations / choisir les matériaux et les sections à mettre en œuvre / dimensionner certains constituants/ éventuellement comparer des options techniques différentes.

Les projets sont à réaliser individuellement (1 projet par étudiant).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :

- Comprendre le fonctionnement et la manière de concevoir une structure en acier.
- Connaître et comprendre les propriétés et les performances requises pour le choix d'un acier, la terminologie normée.
- Savoir calculer des constituants (barres) tant en résistance qu'en stabilité.
- Savoir calculer ou comprendre l'interaction élasto-plastique d'une section d'acier.
- Comprendre la notion d'analyse structurale et les différentes méthodes de modélisation en construction métallique.
- Connaître les différentes techniques d'assemblage des structures.
- Connaître les parties des règlements utiles pour appréhender le calcul d'une structure.
- Connaître les attendus de la norme harmonisée d'exécution.
- Avoir des notions sur le développement durable, l'économie circulaire, le monde de l'acier et la façon dont les entreprises de constructions métalliques abordent leur marché de construction.

3CV2300 – Mobilité et Infrastructures de Transports

Responsables : **Frédérique Delmas-Jaubert**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à poser les enjeux de mobilité à l'échelle régionale, nationale et internationale en s'appuyant sur la compréhension des infrastructures de transport.

Le cours a pour ambition de permettre à des étudiants de penser le transport comme un des éléments de l'organisation de la cité, de la métropole, ou celle des liaisons interurbaines. Il s'appuie sur l'histoire des réseaux qui façonnent désormais l'organisation et la structuration de nos territoires avec comme fil rouge, l'intérêt général et le bien commun. C'est un cours qui interroge sur le pourquoi des choix d'infrastructure afin d'apporter aux décideurs politiques des contributeurs techniques qui voient loin, bien au-delà du court-termisme ambiant. Enfin, le cours se veut résolument engagé dans les schémas de rupture afin d'accompagner la lutte contre le changement climatique.

Le cours permet l'interrogation, la remise en question des choix d'action de telle infrastructure et facilite le raisonnement pour maximiser les infras existantes, leur réversibilité ou celle de nouveaux usages dans le but d'économiser le foncier, éviter de nouvelles coupures urbaines et créer du lien social. Plus que jamais, les nouveaux paradigmes apparus depuis la crise du virus corona imposent une nouvelle lecture des indicateurs de décision ou de rentabilité et d'optimiser la ressource transport dans un contexte où les attentes sociétales sont devenues prégnantes.

Dans ce cadre, le réseau routier fait l'objet de 3 séances spécifiques, qui permettront de mieux en comprendre l'histoire, les techniques routières et les enjeux de la route du futur.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1.

Transport de passagers, transport de marchandises
Transports en commun, déplacements individuels
Infrastructures et véhicules, vers la mobilité comme un service (Maas)
Services publics, services privés
Histoire et mise en perspective

Séance 2.

Quelques projets majeurs récents, études de cas, par exemple (liste non définitive) :
- Le Grand Paris Express (échelle régionale)
- Ligne Nouvelle Paris Normandie (échelle nationale)
- Lyon -Turin (échelle internationale)
Travaux Dirigés : hiérarchisation des différentes infrastructures sur un territoire choisi

Séance 3.

Quels indicateurs pour mesurer la performance des systèmes de transport ?

Les études socio-économiques
L'impact environnemental
Le bilan carbone
Travaux Dirigés : comparaison multi-critères des liaisons de proximité du campus (vers la gare du Guichet par exemple)

Séance 4.

Le réseau routier : approche historique
Insertion dans les déplacements multimodaux
Le jeu d'acteurs : les décideurs, les financeurs, les concepteurs, les réalisateurs
Les chiffres clés
Les métiers d'aujourd'hui et demain

Séance 5.

Techniques routières : routes, autoroutes, tarmac, pistes cyclables
Innovations, ruptures technologiques, transition écologique et décarbonation de la fabrication de la route
Lien avec les ouvrages d'art ?
Travaux Dirigés : Cas pratique / dimensionnement ?

Séance 6.

Les modèles multimodaux de prévision de trafic et leurs données sources
- Les enquêtes globales ménage
- Les données téléphone / internet pour les modèles transport
Innovations technologiques pour limiter le bilan carbone et optimiser la performance
Travaux Dirigés : réponse à appel à projet innovant (comme par exemple celui de Grenoble, ou un autre)

Séance 7.

La route du futur, en ville et en inter urbain
L'infrastructure liée aux véhicules électriques, les évolutions des véhicules et les évolutions de l'infrastructure
La route comme producteur d'énergie ?
Quels nouveaux services apportés par l'infrastructure ?

Séance 8.

Débat : le véhicule autonome est-il l'avenir de la ville ? sur terre et dans les airs
Travaux Dirigés : suite de la réponse à appel à projet innovant

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est faite au travers d'exposés réalisés par les étudiants en petits groupes au fil des 8 séances.

Moyens

L'équipe pédagogique est composée de Didier Lourdin et un autre intervenant pour la partie Route.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le cours permet aux étudiants :

- d'identifier les liens entre la mobilité et la réalisation des infrastructures, la mobilité et l'aménagement du territoire, et plus largement la mobilité et la construction de la ville,
- d'étudier les impacts de la mobilité sur les territoires et les opportunités offertes
- d'en comprendre le jeu d'acteurs économiques, et politiques
- de comprendre et manipuler les indicateurs sociaux, économiques et environnementaux de performance des modes de transports, de mener à bien les comparaisons entre les différents modes
- d'apprendre comment concevoir une route et quels sont les matériaux traditionnels pour les infrastructures
- d'identifier et travailler sur les verrous technologiques à l'innovation, ainsi que les verrous opérationnels (decision makers, blocages locaux, investissements nécessaires, ...)
- d'appréhender les transformations à l'œuvre dans la mobilité dans le contexte de la crise écologique et sanitaire.

3CV2310 – Procédés généraux de construction des Barrages, Travaux maritimes et souterrains

Responsables : **Pierre JEHEL, Brice Bossan**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs du cours visent à faire découvrir le vocabulaire, la technologie et les méthodologies employés sur des chantiers de Génie Civil.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Séance 1 (3h) : Spécificités géotechniques / Terrassement
- Séance 2 (3h) : Les ouvrages enterrés de génie civil (cavernes, station de métro...)
- Séance 3 (3h) : Les travaux souterrains (tunnelier et travaux traditionnels)
- Séance 4 (3h) : Les aménagements portuaires
- Séance 5 (3h) : Les barrages

Déroulement, organisation du cours

Chacune des séances de 3h comprend 1h30 de cours puis 1h30 de TD en mode projet.

Organisation de l'évaluation

1 contrôle sur table d'1h30. Les questions correspondent à des points évoqués soit en cours soit en projet d'application.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :

- Travailler en groupe
- Comprendre la relation conception – choix méthodes – réalisation
- Présenter le déroulement d'un projet et synthétiser les incidences des choix

3CV2320 – Géotechnique

Responsables : **Christian Cremona**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs du cours visent à connaître les principes généraux et méthodes de raisonnement utilisés en Géotechnique, ainsi qu'introduire son application au dimensionnement d'ouvrages élémentaires.

Le cours n'a pas pour objectif de former des spécialistes, mais de donner les connaissances de base indispensables à tout Ingénieur appelé à jouer un rôle dans l'orientation ou la conception générale d'un projet de Bâtiment ou de Génie Civil, et lui permettre d'établir un dialogue constructif avec le Géotechnicien aux différents stades de la construction de l'ouvrage.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 (3h) - Cours : Le sol, milieu hétérogène et le sol, milieu discontinu

Séance 2 (3h) - Cours et TD : Le sol, milieu continu & l'eau dans le sol

Séance 3 (3h) - Cours et TD : Déformations du sol

Séance 4 (3h) - Cours et TD : Résistance du sol

Séance 5 (3h) - Cours et TD : Applications

Organisation de l'évaluation

Evaluation continue nécessitant un travail intermédiaire après chaque séance (2,3, 4 et 5), à effectuer individuellement par l'étudiant.

Avec un projet géotechnique servant de base – un quai à porte-containeurs de grande envergure – le travail focalisera différentes problématiques géotechniques, notamment :

- Caractérisation de remblais d'apport
- Estimation d'arrivées d'eau dans une fouille
- Tassements différés de couches compressibles
- Paramètres de résistance au cisaillement
- Comportement d'ouvrages géotechniques

Le travail comprendra analyses paramétriques / calculatoires ainsi que des recherches bibliographiques sur les thèmes présentés. Les étudiants rendront le travail avant la séance suivante (pour les séances 2, 3 et 4) ou 1 semaine après la dernière séance (pour la séance 5).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Identifier les principaux types de sols
- Appréhender les enjeux associés au comportement des principaux types de sol
- Appliquer ces connaissances au dimensionnement d'ouvrages élémentaires

3CV2350 – Acoustique

Responsables : **Pierre JEHEL, Pierre-Étienne Gautier**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La nécessité de la prise en compte des contraintes environnementales, en particulier acoustiques dans les projets de construction (en matière d'exposition au bruit) ou d'infrastructures (pour le bruit émis), mais aussi le souci de garantir la qualité acoustique intérieure des locaux ou des véhicules de transport, rendent indispensable l'acquisition d'une culture de base en acoustique pour des ingénieurs gérant des projets de construction ou d'infrastructures. Ce cours se propose de donner les bases d'acoustique nécessaires pour aborder ces questions, en s'appuyant sur des exemples concrets (infrastructures ferroviaires, salle de concert...).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Notions et équations de base, mesure, indicateurs du bruit de l'environnement, contexte législatif, solutions de base : ondes planes, cylindriques, sphériques.

Sources acoustiques de base : monopoles, dipôles, rayonnement acoustique des structures, acoustique des espaces fermés (modes propres) ou semi ouverts (guides d'ondes).

Acoustique des salles.

Propagation / influence de la météo / écrans acoustiques.

Exemple du Bruit ferroviaire : Sources : bruit de roulement, bruit aérodynamique, réduction.

Organisation de l'évaluation

Projet en équipes de 2 étudiants développé en parallèle du cours et évalué par une soutenance.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Connaissance de base des principaux concepts en acoustique (équations, modèles de sources et rayonnement, mesure et indicateurs, bases de la propagation et de la diffraction par les écrans, modèles de champ diffus pour les salles).

Connaissance des indicateurs acoustiques de base utilisés dans la réglementation.

Capacité à modéliser des sources de bruit (cas ferroviaire) ou l'ambiance acoustique d'un espace (salle, hall, habitacle de véhicule).

Capacité à établir des modèles simples d'émission d'une infrastructure, de bruit industriel, d'exposition d'un bâtiment ou d'ambiance intérieure d'un habitacle ou d'une salle de concert.

3CV2360 – Projet de Procédés Généraux de Construction

Responsables : **Pierre JEHEL, Brice Bossan**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours se présente sous la forme d'un projet de Procédés Généraux de Construction à réaliser dans l'un des 3 grands thèmes abordés dans les cours en prérequis :

- 3CV2310 Génie civil (ouvrages enterrés, travaux souterrains, aménagement portuaire, barrages)
- 3CV2020 Pont
- 3CV2270 Bâtiment

Le choix du type de projet est laissé aux étudiants en fonction de leurs prérequis.

Projets de génie civil :

Les étudiants sont mis en situation d'établissement d'un projet d'aménagement sur un des thèmes suivants au choix :

- Ouvrages enterrés (bassin de stockage, caverne, station de métro...)
- Ouvrages souterrains (tunnels, rameaux, niches, galeries...)
- Aménagement portuaire (digue, quais...)
- Barrages (en terre, en béton...)

Chaque groupe doit :

- Expliquer le choix de conception, notamment vis-à-vis du contexte économique et environnemental, dans un mémoire technique
- Etablir une notice méthodologique de réalisation du projet
- Rédiger une note de prédimensionnement

Projets de pont :

Sur la base d'une brèche à franchir définie pour laisser un large choix d'ouvrages possibles, les équipes d'étudiants sont amenées à :

- Choisir le type d'ouvrage à construire
- Concevoir les principales caractéristiques de l'ouvrage (répartition des travées, dimensions des sections transversales, câblage de précontrainte...)
- Modéliser (de façon simplifiée mais déjà suffisamment complexe) avec le logiciel RDM7(*)
- Définir les actions et se servir du modèle pour calculer les sollicitations unitaires et leur combinaisons réglementaires
- Vérifier les sections.
- Présenter les calculs sous forme d'une note de calcul

En parallèle, il est demandé aux équipes de faire les plans de leur ouvrage (élévations, coupe longitudinale, coupes transversales ainsi que certains détails) et de définir et présenter la méthode générale de construction.

Pendant les 4 premières séances de projet, une heure est destinée à des compléments de cours nécessaires à la modélisation et à la vérification des ouvrages :

- Utilisation de RDM 7 et autres outils
- Comment modéliser une structure
- Actions à appliquer sur les ponts (simplifié) et combinaisons à réaliser
- Vérification d'une section.
- Contenu et présentation d'une note de calcul

(*) Le logiciel RDM7 est un logiciel gratuit et basique de RDM. Son interface est très basique de même que la représentation des données de sortie. Il s'avère très pédagogique en ce sens qu'il oblige le futur ingénieur à comprendre et maîtriser la modélisation de sa structure et des actions appliquées du début jusqu'à la fin.

Projets de bâtiment :

- Les 4 premières séances sont consacrées à des cours visant à bien introduire les éléments nécessaires à la réalisation du projet. Ces séances sont spécifiques aux sujets abordés dans les projets et viennent en complément des séances du cours 3CV2270.
- Sur la base de projets réels de bâtiment, il est proposé aux étudiants, répartis en groupes de 3 personnes, de définir les solutions de réalisation adéquates.
- Les études demandées portent sur le choix des modes constructifs, les cadences d'exécution réalisables, les moyens à mettre en œuvre pour respecter le délai du client et l'établissement du planning. Dans un deuxième temps sont à traiter deux études de type « exécution » portant sur le cycle et l'étalement.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- 3CV2310 pour pouvoir réaliser un projet de génie civil
- 3CV2020 pour pouvoir réaliser un projet d'ouvrage d'art
- 3CV2270 pour pouvoir réaliser un projet de bâtiment

Déroulement, organisation du cours

Équipes de 2 à 4 étudiants en mode projet.

Organisation de l'évaluation

La dernière séance est consacrée à une soutenance pendant laquelle chaque équipe d'étudiants présente son projet devant un jury.

Cette soutenance donne lieu à l'évaluation individuelle des étudiants. La notation prend en notamment compte :

- La qualité de la présentation et des documents associés
- La qualité et la cohérence du projet développé
- L'argumentation des choix techniques
- La capacité à faire une présentation synthétique des résultats.

Une note globale est attribuée à chaque projet sur la base de ces critères. Les notes individuelles des étudiants d'une même équipe peuvent être modulées de 1 voire 2 points autour de cette note globale en fonction de la contribution des différents membres d'une équipe.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Analyser, concevoir des systèmes complexes (C1)
- Savoir convaincre (C7)
- Mener un projet en équipe (C8)
- Penser et agir en ingénieur éthique, responsable (C9)

3CV2500 – Projet SIC

Responsables : **Pierre JEHEL**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES & INGÉNIERIES DE LA CONSTRUCTION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Un *Projet Jean Muller* met une équipe d'étudiants face à un problème ouvert d'ingénieur avec une composante recherche. Il est proposé par un partenaire industriel, institutionnel ou associatif - appelé client - acteur des secteurs d'activités de la construction et de la ville.

Une équipe projet est constituée de trois ou quatre étudiants, un représentant du client et, le cas échéant, un enseignant-chercheur de CentraleSupélec avec un apport de compétences et d'expertises cumulé à celui des étudiants. Au sein de l'équipe projet, le travail des étudiants commence par la compréhension du problème et la formalisation du besoin ; puis, les étudiants organisent la mise en œuvre d'une démarche scientifique conduisant à des résultats qu'il s'agira de faire valider par le client et de présenter à un public scientifique non-expert. Le projet correspondant à une problématique réelle et ouverte, une forte valeur ajoutée du travail des étudiants est attendue.

La gestion du projet est laissée en grande partie aux étudiants pour exercer leur autonomie et développer une démarche ingénieur.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10 SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Des créneaux de travail sur le projet sont planifiés régulièrement durant l'année. L'organisation du travail lors de ces séances est laissée à la gestion des équipes projets. La vie du projet est cadencée par trois jalons correspondants à différentes phases du projet : démarrage, étape intermédiaire, fin. Des visites sur site peuvent être organisées pour présenter le projet dans son contexte.

Déroulement, organisation du cours

Les équipes projets sont composées de 3 ou 4 étudiants, d'1 (ou plus) représentant du client et, le cas échéant, d'un enseignant-chercheur de CentraleSupélec.

Chaque équipe est suivie par un référent pédagogique qui s'assure de la conduite efficace du projet par des échanges réguliers avec l'équipe projet. Le référent pédagogique ne s'implique pas dans la réalisation technique du projet.

Trois jalons sont communs à tous les projets :

1. Octobre : bilan de la période de démarrage. Envoi d'un support de quelques planches pour partager la compréhension du sujet, les tâches réalisées ou en cours, la planification.
2. Janvier : rapport et livrables intermédiaires adressés au client puis soutenance
3. Avril : rapport et livrables finaux adressés au client puis soutenance.

Organisation de l'évaluation

Les 2 soutenances de janvier et avril sont évaluées selon les modalités suivantes :

- Note N1 - Conduite et résultats du projet (compréhension du besoin et du contexte, gestion du projet (répartition des tâches, autonomie, maturité), création de valeur / résultats / performance -> évalué par le jury

- Note N2 - Soutenance -> évalué par le jury
 - Note N3 - Rapport -> évalué par le client
- Note ensuite appréciée à partir de l'arrondi de la formule $0,5 \times N1 + 0,25 \times N2 + 0,25 \times N3$.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, l'étudiant aura démontré :

- Sa capacité à s'appropriier un sujet ouvert nécessitant une démarche scientifique et pragmatique.
- Sa capacité à rassembler et analyser des résultats de recherches afin de les mettre en œuvre et, autant que faire se peut, les développer dans le cadre du projet.
- Une certaine maturité dans la conduite du projet : autonomie dans la gestion, répartition des tâches, échanges réguliers avec le client pour comprendre son besoin et répondre à ses attentes.
- Sa capacité à fournir des résultats en en appréciant les valeur et performance tout en connaissant les limitations à travers une prise de recul.
- Sa capacité à fournir des livrables soignés, clairs, et à temps.
- Sa capacité à restituer à l'écrit et à l'oral une démarche scientifique, des résultats techniques et des recommandations argumentées : savoir convaincre.

3CV3010 – Systèmes d'énergie embarqués

Responsables : **Loïc Queval**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de donner une vision des différentes configurations répondant à la problématique de production et de distribution d'énergie dans un système embarqué. Il aborde essentiellement les problèmes spécifiques à la gestion de l'énergie électrique dans les systèmes embarqués pour en maîtriser le dimensionnement. Il est divisé en trois parties : la première porte sur les principes et modèles de l'énergie embarquée, la seconde porte sur l'utilisation spécifique pour les systèmes électriques roulants, et la troisième sur son intégration pour les réseaux d'avions. Les interventions sont accompagnées d'études de cas.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Notions d'électricité : cours Energie Electrique par exemple

Plan détaillé du cours (contenu)

Principes et modèles pour l'énergie embarquée

Enjeux de l'énergie embarquée. Contraintes des principaux systèmes embarqués. Paramètres et modèles des systèmes électriques. Revue des solutions disponibles pour la génération électrique. Systèmes de conversion. Impact de la régénération. Problématique du dimensionnement des organes de la chaîne de conversion. Applications typiques de l'énergie embarquée.

Réseaux d'avions

Définition et caractéristiques des différents éléments constitutifs d'un système avion. Intégration du système électrique dans l'avion. Processus de validation et de vérification. Les mutations du secteur vers le plus et tout électrique. Description des besoins et de l'apport des équipements électriques. Le choix de la tension (AC ou DC, quel niveau ?), les contraintes et conditions de fonctionnement d'un système embarqué : stabilité du bus continu (impact de la présence d'une batterie). Fiabilité des systèmes embarqués : définition, stratégies de fonctionnement en mode dégradé (redondance, ...). Quelques éléments sont donnés sur les réseaux pneumatique et hydraulique utilisés dans les avions.

Stockage d'énergie

Définitions et principes de fonctionnement. Contraintes et évolutions des applications. Batteries au Pb pour système micro-hybride. Batteries Nickel Métal Hydrure (NiMH) pour les systèmes full hybride. Batteries Lithium-Ion pour véhicules électriques ou hybrides. Caractéristiques des composants, éléments de dimensionnement, caractéristiques dynamiques. Perspectives.

Chaîne de traction ferroviaire et Hybridation

Architecture et composants d'un système de traction. Contraintes pour la traction électrique. Principaux modes d'alimentation en énergie. Organisation de la chaîne de transfert d'énergie pour la traction. Différentes architectures pour l'hybridation. Différents moyens pour le stockage d'énergie. Pile à combustible. Filière hydrogène. Stockage de l'hydrogène. Applications.

Innovation pour l'énergie embarquée

Vue d'ensemble des nouveaux moyens de transport : maglev, hyperloop, avion tout électrique, etc. Développement technologiques associés : paliers magnétique, machines supraconductrices, etc. Contraintes sur

les systèmes d'énergie embarquée correspondants et nouvelles architectures pour y remédier.

Déroulement, organisation du cours

Cours

Organisation de l'évaluation

L'évaluation sera faite par un dossier réalisé en groupe et qui devra traiter un des « use case » proposés par les différents intervenants.

Moyens

Cours de 3h donnés par les différents membres de l'équipe.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Connaître le système d'énergie électrique d'alimentation d'un avion
- Proposer des dispositifs d'alimentation électrique pour véhicules
- Formuler un avis sur les solutions électriques dans un système embarqué
- Distinguer les avantages et inconvénients de chaque source d'énergie électrique
- Choisir un dispositif de traction/propulsion électrique adapté

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1; C2.2; C2.3

3CV3020 – Aérodynamique

Responsables : **Antoine Renaud**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **37**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **23,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours d'aérodynamique a pour but de former les élèves-ingénieurs aux effets provoqués par l'introduction d'un obstacle dans un écoulement et aux efforts qui en résultent. Ces effets sont bien évidemment mis à profit dans l'aéronautique mais concernent aussi d'autres domaines tels que les transports terrestres, maritimes ou même la construction.

L'objectif est d'être capable de déterminer les efforts s'exerçant sur un objet mince dont on connaît la géométrie et de les calculer avec différents niveaux d'approximation.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Mécanique du vol

Mécanique des fluides appliqués

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 : Définition et notion fondamentales

Géométries, vocabulaires, importance de la circulation

Séance 2 : Profil d'envergure infinie

Mise en équation, distribution de tourbillons, intégrales de Glauert

Séance 3 : Effets d'envergure finie

Sillage, distribution de circulation, vitesse induite, trainée induite

Séance 4 : Introduction à la couche limite

Limites de la modélisation non visqueuse, concept de couche limite

Séance 5 : Couche limite laminaire : solutions exactes

Solutions de Blasius et de Falkner-Skan

Séance 6 : Couche limite laminaire : solutions approchées et transition

Méthode de Karman-Polhausen, décollement, transition vers la turbulence

Séance 7 : Couche limite turbulente

Propriétés, modélisation moyenne, description en sous-couches

Déroulement, organisation du cours

Le cours se déroule en classe inversée et le contenu est fourni par le biais de vidéos et d'un livre.

Il est divisé en 7 séances présentielles avant lesquelles les élèves doivent avoir étudié les vidéos. Ces séances sont dédiées à des TD sur papier et numériques.

Séance 1 : cours d'introduction (1h30) + TD papier (1h30)

Séances 2 à 7 : TD papier, exercices d'application (1h30) + projet numérique fil rouge (1h30)

Organisation de l'évaluation

Examen surveillé de 2h (fiche de cours (A4 recto-verso) et calculatrice autorisées, ordinateurs interdits) + remise d'un compte-rendu associé au projet fil-rouge

Moyens

Le cours aura lieu en classe inversée. Les séances en présentiel seront dédiées à des TD papier et l'avancement d'un projet numérique "fil rouge".

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Identifier les phénomènes physiques générant portance et traînée
- Comprendre le lien entre géométrie et performances d'une aile
- Calculer la portance et la traînée induite d'une aile de profil mince donné
- Connaître les différents types et comportements de couche limite
- Calculer la traînée de frottement pour un profil donné

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2: Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C1.3 : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C2.1 : Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

C3.6 : Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées

3CV3030 – Dynamique des structures

Responsables : **Andrea Barbarulo**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **20,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans le domaine des phénomènes dynamiques, les vibrations périodiques dans un milieu borné sont d'une importance primordiale, les vibrations se produisant dans une structure pouvant sérieusement compromettre sa tenue mécanique. Ces phénomènes se rencontrent également dans la génération et la propagation de bruit. Dans ce cours seront présentées les bases de la dynamique vibratoire avec un regard particulier à son importance dans le contexte du transport, aéronautique et espace.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Plan du cours (contenu)

- Systèmes à un degré de liberté et introduction des outils de base
- Rappels de mécanique des milieux continus et solutions analytiques
- Principe des puissances virtuelles et introduction à l'analyse modale
- Référentiels tournants
- Introduction aux éléments finis en dynamique

Organisation de l'évaluation

100% écrit 2h

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :

- Comprendre le comportement vibratoire et son importance.
- Analyser le comportement modal d'une structure
- Dimensionner un système selon les principes de base de la mécanique vibratoire.

3CV3040 – Mécanique du Vol

Responsables : **Olivier Gicquel**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **33**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **20,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présente les bases pour comprendre comment sont déterminées les performances d'un avion ainsi que son comportement dynamique. Il est structuré en sept séquences de cours de trois heures et une séquence de contrôle d'une heure trente. Chaque séquence de cours comprend deux heures d'apport de connaissances et une heure de mise en pratique

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Séquence 1 : Introduction des grandeurs de bases : notion de vitesse, d'altitude et d'aérodynamique. Mise en place des équations régissant le mouvement de l'avion. Cas du vol plané.
- Séquence 2 : Analyse du vol horizontal uniforme et du vol en montée.
- Séquence 3 : Vol en descente, Détermination et calcul des facteurs de charges.
- Séquence 4 : Calcul du rayon d'action et de l'endurance d'un avion. Méthode pour déterminer les distances de décollage et d'atterrissage.
- Séquence 5 : Etude de l'équilibre statique longitudinal et transversal d'un avion. Introduction de la notion de marge statique.
- Séquence 6 : Etude de la dynamique de l'avion et de ses modes propres.
- Séquence 7 : Mise en œuvre sous Matlab ou Python (au choix des élèves) du calcul des modes propres. Mise en pratique par la construction et l'optimisation d'un avion en polystyrène.
- Séquence 8 : Contrôle 1h30

Organisation de l'évaluation

Le contrôle a lieu sous la forme d'une épreuve écrite qui porte sur un sujet ouvert que les élèves doivent pouvoir traiter d'eux-mêmes à partir des connaissances acquises durant le cours.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les élèves pourront, à la fin de ce cours, caractériser si leur avion est capable de répondre aux principales caractéristiques d'un cahier des charges : Vitesse de vol, Rayon d'action minimum, Pente de montée maximum, Distance de décollage, Marge statique, Taux d'amortissement des modes propres de l'avion...
Ils pourront aussi identifier sur quelles grandeurs ils peuvent jouer pour améliorer les performances de leur avion.

3CV3050 – Turbulence et couche limite

Responsables : **Ronan Vicquelin**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les écoulements turbulents sont retrouvés dans la majeure partie des applications industrielles. Dans les écoulements internes ou de type jets, la turbulence favorise les différents types de transferts : quantité de mouvement, énergie, espèce. Il en est de même pour les écoulements externes autour de profils où une couche limite turbulente se développe. Ces propriétés peuvent être appréciées (amélioration du mélange par exemple) ou pénalisantes (augmentation de la traînée et des pertes de charge). La compréhension et la modélisation de la turbulence est, de plus, reconnue comme l'un des problèmes les plus difficiles de la physique classique.

Le cours aborde plusieurs traits caractéristiques des écoulements turbulents : mécanismes fondamentaux, cascade de Kolmogorov, équations-bilans, cas des écoulements en configuration simple. Les différentes approches (RANS, LES, DNS) liées à la nécessaire description et modélisation de la turbulence sont également présentées et contextualisées dans le cadre d'applications industrielles et académiques.

Le projet fil-rouge du cours comporte plusieurs parties démarrées en séance. Ce projet permet de se familiariser avec la mise en données d'un calcul RANS sous le logiciel Ansys Fluent, d'étudier des configurations canoniques pour retrouver les propriétés classiques de certains écoulements turbulents particuliers (couche limite, jet). La dernière partie du projet est l'occasion de mener une analyse critique sur un écoulement complexe.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 : Mécanismes fondamentaux, Cascade de Kolmogorov

- Cours : Introduction & Généralités ; Production, Dissipation, Transfert entre échelles ; Echelles énergétiques et dissipatives ; Cascade de Kolmogorov
- TD : Coût DNS, décroissance THI

Séance 2 : Equations-bilan moyennées

- Cours : Simulation numérique directe (DNS) ; Décomposition de Reynolds ; Equations bilan moyennées (RANS) ; Problème de fermeture, Tenseur de Reynolds ; Flux de transfert turbulent (chaleur, espèces)
- TD : Démarrage du projet

Séance 3 : TD Jet turbulent bidimensionnel

Séance 4 : Modèles de fermeture RANS

- Cours : Propriétés tenseur de Reynolds ; Hypothèse de Boussinesq, Diffusion turbulente ; Viscosité turbulente et totale/effective ; Hypothèse diffusion gradient ; Nombres de Prandtl et Schmidt turbulents ; Modèles algébriques, à une équation, à deux équations ; Modèle k- ϵ standard
- TD : Suite du Projet

Séance 5 : Ecoulements turbulents pariétaux

- Cours : Ecoulements de canal (Régime établi ...) ; Structure couches limites mécanique et thermique ; Contrainte et flux totaux ; Vitesse et température de frottement ; Zone externe/interne ; Sous-couche visqueuse/Zone Tampon/ Zone Logarithmique ; Loi de frottement $cf(Re)$ implicite

Séance 6 : Projet

Séance 7 : Projet

Séance 8 : Analyse spectrale et Simulation aux grandes échelles

Cours : Spectre d'énergie cinétique turbulente, de dissipation, de production ; Zone inertielle du spectre ; Transfert entre échelles ; Simulation aux grandes échelles (LES) ; Définitions de filtres ; Equations filtrées, modèles de sous-maille ; Modèle de Smagorinsky ; Avantages/Inconvénients LES, modèles de paroi et approches hybrides

- TD : Support au projet

Déroulement, organisation du cours

Il est recommandé d'avoir suivi le cours de CFD qui comprend la formation à l'utilisation d'Ansys Fluent. Une formation préalable à Fluent n'est néanmoins pas obligatoire dans la mesure où son utilisation pour réaliser le projet est présentée en cours.

- 8 séances de cours + 20 min. de soutenance lors d'un créneau quelques semaines après la dernière séance.

Organisation de l'évaluation

La note est composée de deux éléments :

- Une note N1 liée à un rapport sur une première partie du projet. Les questions y sont détaillées pour guider les étudiants et illustrer les notions du cours.
- Une note N2 liée à une soutenance sur la dernière partie du projet. Le sujet est ici ouvert et permet d'évaluer les capacités d'analyse.

Le travail lié aux notes N1 et N2 est préparé par un binôme d'élèves. La note finale est obtenue en pondérant les notes N1 et N2 à 50%.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :
- Faire un dimensionnement grossier des grandeurs-clé d'un écoulement turbulent
- Juger les avantages/inconvénients d'une approche de modélisation de la turbulence
- Reconnaître les propriétés fondamentales d'un écoulement turbulent simple : jet, couche limite sans gradient de pression
- Mener et analyser des simulations numériques d'écoulements turbulents

3CV3060 – Automatique Appliqué au Contrôle d'un Avion

Responsables : **Antoine Renaud**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objet de cette étude est de découvrir des techniques de conception d'un contrôleur digital (ou numérique, ou encore en temps discret) au travers d'une application consistant à élaborer la boucle de contrôle numérique pour la stabilisation d'un avion (lois de contrôle). On s'intéressera ici à la stabilisation du mode d'oscillation d'incidence de l'avion (mouvement longitudinal rapide autour de son centre de gravité) et à la commande de l'angle d'incidence de façon à conférer à l'avion de bonnes qualités de vol. Le cheminement progressif de l'étude, en lien avec les cours d'automatique et de mécanique du vol, conduira à aborder tout d'abord le traitement préalable des signaux mesurés à bord de l'avion pour garantir la qualité de leur nécessaire numérisation, puis différentes lois de contrôle discrétisées de l'avion seront développées, testées et analysées, et enfin ces lois seront augmentées d'un observateur discrétisé permettant de s'affranchir de certaines mesures.

La finalité de ce cours est la sensibilisation à l'essentiel des problématiques rencontrées par les ingénieurs automaticiens en charge du contrôle de systèmes.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1 : Étude détaillée d'un filtre Filtre Passe-bas Numérique

- mise en équation
- analyse temporelle (simulation), analyse fréquentielle (Bode, Nichols)
- discrétisation (Euler, Tustin, transformée en z, bloqueur d'ordre quelconque)
- étude détaillée de l'effet du blocage (filtrage anti-repliement)
- généralisation de ces méthodes à un système linéaire continu d'ordre quelconque

2 : Réalisation de compensateurs numériques par retour d'état

- mise en équations du mouvement longitudinal d'un avion autour de son centre de gravité en un point de vol donné, et développement du modèle linéaire continu associé
- analyse modale et stabilité du système
- conception d'une loi de contrôle dans le domaine continu : placement de pôles et contrôle optimal par retour d'état statique complet, compensateur dynamique avance-retard (retour de sortie)
- tests de la boucle fermée (simulation) et étude des marges (Nichols)
- numérisation des contrôleurs et tests de la boucle fermée
- étude de l'effet d'un vent vertical, et de l'influence de la marge statique de l'avion

3 : Contrôle numérique par retour de sortie et observateur

- étude et développement d'un observateur (Luenberger)
- analyse modale et tests de la boucle fermée (simulation)
- éléments de robustesse et performance (action intégrale)

Déroulement, organisation du cours

Le cours est délivré dans une salle standard équipée de moyens de vidéo projection.

L'activité comprend 8 séances présentielles de 3h (+ une pause de 15 mn). Les séances 1 à 3 traitent le point 1 du plan du cours, les séances 4 à 6 traitent le point 2 et les séances 7 et 8 sont consacrées au point 3. Chaque séance débute brièvement par une présentation interactive de plusieurs aspects du métier d'ingénieur en conception de lois de contrôle d'un avion, suivie d'une déclinaison des notions académiques fondamentales de l'automatique dans le milieu industriel. La majorité du temps est ensuite consacré aux exercices de mise en œuvre directe sur l'application aéronautique décrite ci-dessus, avec l'assistance continue des enseignants. La description détaillée des sujets à traiter et leur déroulement séquentiel font l'objet d'un document qui sera remis à chaque étudiant à la première séance, de même qu'un support de cours. Une feuille de présence est à signer à chaque séance.

Les étudiants sont répartis en binômes. Chaque binôme doit être équipé d'un PC personnel doté du progiciel Matlab/Simulink.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation de l'acquisition des connaissances est effectuée sur la base de documents de type « rapport d'ingénieur » rédigés par chaque binôme et remis aux enseignants. La participation et la motivation des étudiants sont prises en compte dans l'évaluation de l'activité des binômes.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- développer et analyser une boucle élémentaire de contrôle sur un système dynamique linéaire
- spécifier les caractéristiques des sous-systèmes supportant la fonction de contrôle (actionneurs, capteurs, calculateur) en relation avec les performances visées du système
- maîtriser les simulations temporelles de systèmes dynamiques quelconques avec Simulink, et utiliser les fonctionnalités de Matlab appliquées au contrôle
- comprendre les notions essentielles de l'Automatique Industrielle

3CV3070 – Dynamique des structures avancée

Responsables : **Andrea Barbarulo**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Une fois que les bases de la dynamique des structures sont acquises, des outils théoriques et numériques avancés sont nécessaires pour comprendre des phénomènes plus complexes. En particulier l'analyse modale par éléments finis présente des limitations lorsque l'on augmente la fréquence d'analyse. Ces phénomènes à moyennes et hautes fréquences ont une importance capitale dans la propagation du bruit et la tenue en fatigue des structures.

L'objectif de ce cours est de comprendre ces phénomènes et introduire les outils théoriques et numériques associés.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Dynamique des structures

Organisation de l'évaluation

1h d'écrit et un rapport de B.E.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Comprendre les comportements en moyenne et haute fréquence et l'importance d'introduire des méthodes alternatives
- Développer une vision critique sur les différentes possibilités de modélisation d'un système vibrant
- Savoir manipuler les méthodes numériques

3CV3080 – EI - Prédimensionnement d'équipements et de systèmes intégrés

Responsables : **Antoine Renaud**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement apporte, par la pratique, une sensibilisation à la conception de systèmes complexes pour lesquels certains choix initiaux ont des répercussions sur l'ensemble du système.

Le cas mis en oeuvre par les étudiants concerne le développement d'une méthode industrielle de pré-dimensionnement et de conception en avant-projet d'un avion électrique (Dassault aviation), d'une voiture électrique (Renault) ou de l'architecture énergétique d'un satellite (Thales Alenia Space).

Le travail consiste à dimensionner le système dans l'objectif d'atteindre les performances spécifiées dans un cahier des charges. Ce pré-dimensionnement doit conduire à des choix d'architecture et des compromis au travers d'itérations.

Les cas pratiques sont encadrés par des ingénieurs de Dassault Aviation, de Renault ou bien de Thales Alenia Space.

En particulier, les cas d'étude abordent la problématique des nouvelles énergies ou nouvelles technologies dans les transports (électrification, autonomie...)

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

L'enseignement est un cas d'étude dimensionné expressément pour les élèves ingénieurs en dernière année d'études. Il est dispensé sur une semaine bloquée et alterne les apports théoriques concernant des technologies que les étudiants doivent s'approprier rapidement pendant les séances magistrales et des travaux pratiques. Les travaux réalisés en binôme suivent un fil rouge et un cadencement intense, ils aboutissent à la définition d'un système complet validé par les simulations de performances.

Déroulement, organisation du cours

Le travail est réalisé en petits groupes, avec les ordinateurs dans une salle de TD. Les logiciels nécessaires sont soit génériques (Excel, Matlab...) soit fournis par les intervenants industriels. Le cours se déroule pendant une semaine complète.

Organisation de l'évaluation

Soutenances réalisées par chaque groupe d'élèves au cours de la semaine.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Mettre en œuvre des notions spécifiques aux différents domaines et analyser leurs interactions
 - Dassault aviation : aérodynamique appliquée / performances des avions / structures aéronautiques / aménagement
 - Renault : propulsion électrique / dimensionnement batterie / compromis coûts-performances
 - Thales Alenia Space : tenir des objectifs de mission / gestion de l'autonomie

- Utiliser des outils métier de pré-dimensionnement et de caractérisation des performances
 - Dassault aviation : logiciel de pré-dimensionnement d'avion électrique et logiciel de soufflerie numérique
 - Renault : dimensionnement moteur, batteries et cycles normalisés d'homologation
 - Thales Alenia Space : calculs d'orbite

3CV3210 – Système électrique de conversion

Responsables : **Loïc Queval**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif du cours est de présenter les éléments de la chaîne de conversion d'énergie électrique allant d'une source de type continu vers son utilisation pour la motorisation. L'étude prendra aussi en compte la possibilité de la génération à vitesse variable utilisée lors des phases de freinage. Le cours comporte deux parties principales. La première partie traitera des machines électriques utilisées en motorisation ou en génération à vitesse variable. Le but sera de modéliser ces éléments et de définir les moyens et les conditions pour réaliser un fonctionnement à vitesse variable. Elle fera le lien avec la partie suivante en montrant l'impact des sources électroniques sur le comportement de ces machines. L'étude prendra aussi en compte la possibilité de la génération à vitesse variable utilisée lors des phases de freinage.

La seconde partie traite des blocs de conversion d'énergie électrique utilisés pour la motorisation électrique. Les principaux convertisseurs d'électronique de puissance seront détaillés afin de comprendre les enjeux de ce domaine. Un focus sera réalisé sur la commande des onduleurs afin de maîtriser la variation de vitesse et de tension lié à l'entraînement d'un moteur.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

- CM1 (3 HPE, 1 salle, L. Quéval) : Machines électriques
- CM2 (3 HPE, 1 salle, L. Quéval) : Machines électriques
- CM3 (3 HPE, 1 salle, L. Quéval) : Machines électriques
- CM4 (3 HPE, 1 salle, L. Quéval) : Convertisseurs électroniques
- CM5 (3 HPE, 1 salle, L. Quéval) : Convertisseurs électroniques
- Bureau d'étude (3 HPE, 1 salles, L. Quéval) : Chaîne de conversion électrique (Machine + convertisseur)

Total 18 HPE

Organisation de l'évaluation

Le compte rendu du bureau d'étude, réalisé en groupe, est noté.

Moyens

Salle de cours (30 pers) avec vidéoprojecteur et wifi

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :

- Définir et modéliser les principaux organes de la chaîne de conversion d'énergie électrique
- Connaître le fonctionnement et la commande d'un convertisseur DC/AC

- Adapter les éléments entre eux
- Dimensionner les éléments du système de motorisation et/ou génération électrique à vitesse variable

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- **C1.1** - Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines.
- **C1.2** - Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème.
- **C1.3** - Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation.
- **C2.5** - Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior).
- **C3.1** - Être proactif, prendre des initiatives, s'impliquer.

3CV3215 – Solutions technologiques pour la Transition Énergétique et le Développement Durable

Responsables : **Ronan Vicquelin**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

- L'objectif de ce cours est de proposer une vue globale sur les solutions apportées et envisagées par le secteur de l'industrie automobile et de la propulsion aéronautique pour répondre aux défis de la transition énergétique et de la nécessité de réduire les émissions de dioxyde de carbone CO₂, en particulier. Pour chacun des secteurs, leurs spécificités quant aux enjeux environnementaux sont présentées avant de détailler un panorama des options architecturales et technologiques envisagées ainsi que les principaux mécanismes physiques associés. Le cadre institutionnel et réglementaire qui accompagne le développement de ces solutions est également introduit.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Industrie automobile

Le contenu de cette partie est construit sous le prisme de l'énergie et de son utilisation qui serviront de fil conducteur dans la formation.

- Une première partie d'introduction, nécessaire pour bien appréhender les solutions abordées dans le module, rappellera quelques chiffres clés qui illustrent notamment :
 - L'industrie automobile
 - Les énergies produites, les émissions de CO₂
- Une seconde partie sera axée sur les solutions apportées par l'industrie automobile.
 - Présentation des principales normes et règlements centrés sur l'énergie et les émissions de CO₂. Ces textes évoluent dans le temps et donnent des cadres que les constructeurs doivent respecter dans leurs développements, en termes des performances à atteindre mais aussi dans un plan temporel
 - Les solutions multi-étages des constructeurs qui se doivent d'être globales, de la fabrication à la phase de fin de vie, en passant par la phase d'usage du véhicule.
 - Une large partie plus tournée sur les aspects technologiques, présentera les solutions possibles et proposées par les constructeurs automobiles, en particulier à travers les éléments de la chaîne de traction (powertrain) :

Propulsion aéronautique

Cette partie s'accompagne de rappels sur les principes de base de fonctionnement des moteurs aéronautiques, et de deux focus sur l'écosystème aéronautique dépassant le simple cadre du motoriste (cadre institutionnel / réglementaire, synthèse et fourniture d'énergie primaire et énergies alternatives).

- Une première partie (1h) est dédiée aux principes physiques de base du fonctionnement des moteurs aéronautiques, afin de fournir les bases de compréhension des pistes alternatives évoquées ultérieurement :

- Puis, une seconde partie (2h) permet d'appréhender le contexte environnemental de la propulsion aéronautique et des entités et actions impliquées dans la réduction de son empreinte environnementale :
- Une fois les éléments de contexte ainsi abordés, la 3^e partie du module (3h) est dédiée à l'inventaire d'options architecturales possibles, au travers des métriques d'amélioration de l'efficacité énergétique :
- La 4^e partie (2h), approfondissant la notion d'énergie primaire alternative, a pour objectif d'offrir un panorama des filières existantes, envisageables, et de leurs enjeux techniques, économiques et sociétaux
- Enfin, la 5^e partie (1h) vise à souligner les forts degrés d'interdépendance entre le système propulsif et la cellule avion pour les concepts futurs ainsi envisagés

Déroulement, organisation du cours

Partie Industrie Automobile : 3 séances de 3h.
 Partie Propulsion Aéronautique : 3 séances de 3h.
 Une dernière séance pour l'évaluation du cours.

Organisation de l'évaluation

Les acquis du cours seront évalués au cours d'une épreuve de type QCM.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce module, l'élève aura :

- Une vision du contexte environnemental du secteur aéronautique-automobile, sociétal, normatif et institutionnel,
- une connaissance des flux d'énergie et de son usage dans un véhicule automobile thermique, hybride, électrique, au sein des turbomachines aéronautiques, ainsi que des principes directeurs de l'efficacité énergétique de ces systèmes,
- une vue globale des solutions apportées par l'industrie automobile (fabrication, usage, technologies de chaîne de traction) actuelles et futures ainsi que des options architecturales possibles visant à améliorer l'efficacité énergétique du système propulsif aéronautique,
- Une connaissance des principales énergies alternatives applicables à la propulsion aéronautique, et des défis liés à leur mise en œuvre, et des contraintes de couplage entre le système propulsif et l'aéronef.

3CV3220 – Commande des systèmes pour la motorisation & applications

Responsables : **Bruno Lorcet**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est destiné à la définition de l'association entre éléments d'une chaîne de conversion pour réaliser un système de motorisation et sa commande à vitesse variable.

Il débute par la définition des principes de la commande des machines électriques et des contraintes induites par le fonctionnement à vitesse variable. Une seconde partie met l'accent sur la mise en œuvre de la commande des systèmes avec une partie théorique suivie d'une partie appliquée comprenant des travaux dirigés de modélisation et de simulation. Une troisième partie est dédiée à la présentation de réalisations industrielles en mettant l'accent sur le secteur aéronautique d'une part et le secteur automobile d'autre part.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Principes de commande des machines électriques

Architecture de commande des machines électriques – Association Machine Convertisseur – Commande en couple, commande en vitesse

Contraintes de dimensionnement – Fonctionnement à couple constant – Fonctionnement à puissance constante

Mise en œuvre de la commande des machines électriques

Motorisation asynchrone et variation de vitesse

Motorisation synchrone et variation de vitesse

Commandes vectorielles

Réalisations industrielles

Secteur aéronautique : avion à propulsion électrique

Secteur naval : propulsion hybride

Secteur automobile : voitures hybrides

Déroulement, organisation du cours

CM1//CMTD2//CMTD3//TD//CM4//CM5//Oral

Organisation de l'évaluation

Contrôle oral en binôme sur préparation et présentation d'article

Moyens

Modélisation sur Matlab-Simulink

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Connaître les moyens de commande des machines pour un système à vitesse variable
- Définir les structures de commande
- Mettre en œuvre les algorithmes nécessaires

3CV3230 – Combustion

Responsables : **Benoît Fiorina**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La combustion est une science pluridisciplinaire qui regroupe notamment la mécanique des fluides, la cinétique chimique, la thermodynamique, les transferts thermiques et éventuellement les écoulements diphasiques. Bien que la maîtrise du feu par l'homme soit très ancienne, le début de la compréhension des phénomènes fondamentaux de la combustion date du 18^{ème} siècle. Représentant environ 80% des modes de conversion de l'énergie primaire, la combustion est présente dans de nombreuses applications industrielles dans le secteur de l'énergie (centrales thermiques, turbines à gaz), des transports (moteurs à combustion interne, turboréacteurs, etc...) et des procédés (métallurgie, verrerie, cimenterie, incinérateurs, ...). Elle est également au cœur de nombre de problématiques de sécurité (incendies, explosions, prévention, lutte, ...) La compréhension et la maîtrise de la combustion sont donc particulièrement importantes pour les ingénieurs travaillant dans les domaines de l'énergie, des transports, des procédés ou de la sécurité.

Les objectifs du cours sont d'introduire les fondements théoriques de la combustion tout en enseignant des méthodes de dimensionnement utiles pour un ingénieur. En particulier, les thématiques scientifiques suivantes sont abordées :

Caractérisation thermodynamique d'un système réactif : bilan, richesse, calcul de température adiabatique de fin de combustion, équilibre

Cinétique chimique de la combustion

Auto-inflammation

Structure des flammes laminaires (déflagration, détonation, stabilisation des flammes prémélangées et des flammes non-prémélangées)

Introduction à la combustion turbulente

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 (3h00)

- Introduction à la combustion : contexte énergétique, environnemental et industriel
- Rappel de thermodynamique chimique
- TD : calcul de la température adiabatique de fin de combustion

Séance 2 (3h00)

- Cinétique chimique de la combustion
- Formation des polluants
- Auto-allumage / théorie de Semenov
- TD : calcul de délais d'auto-allumage. Application de la théorie de Semenov (Matlab)

Séance 3 (3h00)

- Ondes de déflagration et détonation
- Flammes prémélangées
- TD : Détermination des vitesses de flammes laminaires par le calcul théorique et par l'expérience

Séance 4 (3h00)

- Flamme non-prémélangées
- Introduction à la combustion turbulente (partie 1)
- TD : application de la théorie de Burke et Schuman pour estimer la distribution de température dans une flamme non-prémélangée

Séance 5 (3h00)

- Introduction à la combustion turbulente (partie 2)
- TD : Application des concepts de modélisation de la combustion turbulente pour le pré-dimensionnement d'un foyer réactif.

Déroulement, organisation du cours

Cours et TD

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de deux heures

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Dans son futur milieu de travail, le futur ingénieur devra caractériser/dimensionner/optimiser des systèmes réactifs. Pour cela, il sera amené à faire des approximations et à calculer des ordres de grandeurs. Il devra faire des bilans de masse, d'espèces chimiques et d'énergie. Il devra déterminer l'équilibre thermo-chimique d'un système réactif. Dans ce contexte, le cours vise à l'acquisition des compétences suivantes :

- Savoir pré-dimensionner une chambre de combustion en fonction du contexte (secteur industriel, type de combustible/comburant, puissance visée)
 - o Etablir un bilan chimique global pour tout type de combustible/comburant
 - o Calcul des débits combustible/comburant pour assurer une puissance donnée
 - o Approximer la température de gaz brûlés
- Maîtriser l'état thermodynamique et chimique d'un système réactif dans des configurations opératoires variées
 - o Calculer un équilibre thermodynamique avec des outils numériques
 - o Connaître les leviers qui impactent la formation des polluants
 - o Connaître les limites des bilans globaux
- Comprendre les enjeux de la combustion en termes de stabilisation, d'allumage et de sécurité d'une chambre de combustion
 - o Établir les équations d'une flamme. Estimer des grandeurs fondamentales (vitesse de flamme, délai d'auto-allumage, ...)
 - o Comprendre les mécanismes de propagation d'une onde de détonation et de déflagration. Différencier une flamme de prémélange d'une flamme non-prémélangée.
 - o Être sensibilisé à l'impact de la turbulence sur la combustion

3CV3240 – Turboréacteurs

Responsables : **Ronan Vicquelin**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de donner les bases pour comprendre les notions fondamentales nécessaires au design des turboréacteurs modernes. Il sera découpé en trois types de contenu :

- Des sessions apportant les bases théoriques pour la modélisation des turboréacteurs et turbomachines en général,
- Des sessions pratiques (TD) pour les appliquer,
- Des sessions décrivant le métier de concepteur aéronautique, dans lesquelles on présentera notamment les enjeux et les trade-off qui doivent être réalisés.

Les applications pratiques seront réalisées en partie en séance, avec Excel (ou Python). Elles seront terminées à la maison et constitueront la base de la notation.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Séance 1 : Introduction et principes fondamentaux
 - Notions énergétiques sur le vol, ordres de grandeur
 - Principes du turboréacteur
 - La propulsion, la poussée et le bilan de quantité de mouvement
 - Pourquoi comprimer et divergence des isobares
- Séance 2 : Calcul d'un cycle de turboréacteur simple corps simple flux – design :
 - Analyse dimensionnelle d'une turbomachine
 - Définition des plans moteurs et des variables
 - Les principes et les équations (diagramme H-S, notions de rendement, composant par composant)
 - TD Excel (à partir de la géométrie, à partir de la spécification)
 - Construction d'un cycle moteur, optimisation du cycle pour une application spécifique
 - Travail à la maison pour élément de notation
- Séance 3 : Architecture des turboréacteurs
 - Les enjeux
 - Les trade-offs : consommation, pollution, opérabilité, durée de vie
 - Différentes architectures pour différentes applications
- Séance 4 : Calcul d'un cycle de turboréacteur double corps double flux
 - Les principes et les équations
 - Définition des plans moteurs et des variables
 - TD Excel :
 - Construction d'un cycle moteur double corps double flux, optimisation du cycle pour une application spécifique
 - Travail à la maison pour élément de notation
- Séance 5 : Physique des composants tournants

- Analyse dimensionnelle
- Equation d'Euler pour les machines tournantes
- Champ compresseur, champ turbine
- TD Excel :
 - Construction d'un champ compresseur simplifié, introduction du champ dans le modèle performance, étude de points hors adaptation
 - Travail à la maison pour élément de notation
- Séance 6 : **Sur le site de Safran Villaroche (si organisation possible)**
 - Présentation du paysage industriel
 - Organisation du groupe Safran et lien avec les métiers présentés dans le cours
 - Design des turboréacteurs en pratique – exemple : la chambre de combustion
 - Cycle en V, Simulations 1D à 3D, Validation par essais
 - Visite du musée
 - Quelques éléments de l'histoire de l'aéronautique
 - Présentation des technologies sur un moteur réel en coupe

Organisation de l'évaluation

Travail personnel à rendre

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Construire un modèle performances simplifié, représentatif des technologies actuelles
- Décrire les trade-off qui interviennent dans le design des turboréacteurs
- Construire un champ compresseur simple et interpréter les caractéristiques d'un vrai champ (pi/débit/rendement)
- Comprendre les différentes étapes de la conception d'un turboréacteur et comment l'entreprise s'est organisée pour les réaliser et les piloter

3CV3250 – Introduction à la mécanique spatiale

Responsables : **Sihem Tebbani**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **33**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **20,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La conception d'une mission spatiale nécessite le déploiement de compétences multidisciplinaires, et sa réussite, de la bonne utilisation et maîtrise de ces compétences. Parmi les concepts et compétences importants dans le secteur spatial, la mécanique spatiale et la compétence de modéliser la trajectoire d'un corps dans un champ gravitationnel sont incontournables. En effet, les compétences en lien avec la mécanique spatiale interviennent inexorablement dans la conception de missions d'engins spatiaux (lanceur, satellite ou sonde interplanétaire). Ce cours a pour objectif de donner aux élèves les compétences de base pour comprendre, analyser et concevoir des missions spatiales.

Il abordera les concepts généraux suivants :

- Mouvement d'un corps dans un champ de pesanteur
- Notion d'orbite képlérienne.
- Perturbations orbitales
- Estimation d'orbites.
- Modélisation des moteurs et manœuvres orbitales.
- Rendez-vous orbital
- Cas des lanceurs et des sondes interplanétaires.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Il n'y a pas de prérequis spécifique

Plan détaillé du cours (contenu)

- Le cours sera constitué de 6 séances de 3h chacune.
- **Séance 1** (3h) :
 - Panorama du secteur spatial, exemples de missions spatiales
 - Mouvement d'un corps dans un champ de pesanteur.
 - Notion d'orbites képlériennes et de paramètres képlériens.
 - Classifications des orbites LEO, GEO, constellations...
- **Séance 2** (3h) :
 - Perturbations orbitales, paramètres osculateurs.
 - Estimation d'orbite.
- **Séance 3** (3h) :
 - Propulsion et modélisation des moteurs.
 - Manœuvres orbitales (transfert de Hohmann, correction d'orbite et de plan orbital).
- **Séance 4** (3h) TD1 : Mise en application sur un cas d'étude. Trajectoires képlériennes.
- **Séance 5** (3h)
 - Rendez-vous orbital.
 - Cas des lanceurs. Trajectoires endo- et exo-atmosphériques.
 - Trajectoires interplanétaires.
- **Séance 6** (3h) TD2 : Mise en application sur un cas d'étude. Trajectoires non képlériennes.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et travaux dirigés.

Plusieurs exemples de systèmes spatiaux et de missions spatiales seront présentés.

Organisation de l'évaluation

Un examen de type projet avec rapport à rendre (par binôme).

Support de cours, bibliographie

- S. Tebbani, Transparents de cours.
- CNES, Techniques et technologies des véhicules spatiaux, Cépaduès Editions, 1998.
- O. Zarrouati, Trajectoires spatiales, Cépaduès Editions, 1987.
- V. Chobotov, Orbital mechanics, AIAA education series, 1996.
- H. Curtis, Orbital mechanics for engineering students, Elsevier Aerospace Engineering series, 2005.

Moyens

Equipe enseignante : Sihem Tebbani
12h de CM et 6h de TD.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Comprendre et analyser les missions spatiales et les contraintes techniques associées.
- Comprendre, modéliser et analyser la trajectoire d'un engin spatial (satellite, lanceur et sonde interplanétaire).
- Savoir proposer une modélisation de la trajectoire d'un engin spatial en fonction de sa mission et des contraintes techniques à respecter (type de mission, complexité du modèle, précision souhaitée)
- Comprendre et analyser les manœuvres de corrections d'orbite et de rendez-vous et les enjeux associés.
- Posséder une vision globale du secteur spatial et des enjeux et verrous scientifiques et techniques associés.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques (**C1**).
- Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers (**C2**).

3CV3260 – Dynamique et contrôle des satellites

Responsables : **Thomas Schirmann, Ronan Vicquelin**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours a pour but de donner une vision globale des grands principes utilisés pour le contrôle d'attitude des satellites. Ses objectifs principaux sont les suivants :

- La connaissance de l'environnement spatial et de ses effets sur la dynamique des satellites
- La compréhension des besoins en termes de contrôle d'orbite et contrôle d'attitude
- La connaissance des principaux concepts de contrôle d'attitude
- L'étude de différents cas d'application des principes généraux de contrôle d'attitude des satellites

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours comprend 6 séances de 3h :

- Séance 1 : Dynamique et environnement
- Séance 2 : Principes généraux de mesure d'attitude
- Séance 3 : Principes généraux de contrôle d'attitude
- Séance 4 : Revue de missions
- Séance 5 : Application à Pléiades
- Séance 6 : Application à JUICE

Organisation de l'évaluation

Un examen écrit de 2 heures.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Comprendre les besoins en contrôle d'attitude de différentes missions spatiales,
- Connaître les perturbations induites par l'environnement sur l'attitude des satellites,
- Connaître les bases de la dynamique des satellites,
- Connaître les technologies et équipements utilisés pour le contrôle d'attitude des satellites,
- Connaître les principaux concepts de contrôle d'attitude des satellites,
- Comprendre leur application sur quelques exemples de mission spatiale
- Faire une application simple

3CV3270 – Fatigue des matériaux et des structures

Responsables : **Camille Gandiolle**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Afin de répondre aux enjeux de l'aéronautique, les composants aéronautiques doivent assurer la performance (moins consommer, améliorer les rendements, ce qui nécessite en particulier de diminuer la masse de l'avion) et la sécurité des personnes transportées. Ils doivent alors résister aux sollicitations cycliques que constituent les décollages/atterrissages, pressurisation/dépressurisation et tous les cycles mécaniques et/ou thermiques générés par la motorisation ou la structure. Les nouveaux business models sont maintenant basés sur des contrats de leasing où le fabricant facture l'heure de vol, maintenance incluse. La maîtrise de la durabilité des composants est alors essentielle.

Ce cours a pour objectif de permettre aux étudiants de comprendre le phénomène d'endommagement par fatigue et de comparer les effets bénéfiques ou aggravants de modifications du composant (nature du matériau, du procédé d'obtention, de la géométrie...) ou des sollicitations (mécaniques ou thermiques, environnement...). Les étudiants seront en mesure de faire un dimensionnement de composant en fatigue par les deux approches utilisées industriellement : critère de fatigue et tolérance au dommage. Les mises en pratique seront basées sur des problématiques aéronautiques mais il faut noter que la démarche de dimensionnement est transposable aux autres domaines industriels où se posent également de nombreux problèmes de fatigue que sont les transports terrestres ou maritimes, l'énergie ou la santé.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction. Qu'est-ce que la fatigue ? Mécanismes d'endommagement, fatigue sous chargements mécaniques et thermiques. Illustration sur des composants aéronautiques.
2. Influence de la microstructure et des défauts. Impact des concentrations de contrainte. Effet de l'environnement. Mécanismes d'endommagement en fatigue pour 3 classes de matériaux de l'aéronautique (métalliques, composites à matrice organique et à matrice céramique), stratégies d'amélioration de la résistance à la fatigue
3. Dimensionnement en fatigue : critère de fatigue multiaxial (dimensionnement à durée de vie fixée ou à l'endurance),
4. Prise en compte de la variabilité du chargement (chargement d'amplitude variable, méthode rainflow, cumul de dommage, fatigue vibratoire) et du matériau (influence de ses défauts en particulier).
5. Tolérance au dommage : propagation de fissure, rappels de mécanique de la rupture, contrôles non destructifs, prise en compte de la variabilité du chargement
6. Sollicitations particulières : cas de la fatigue thermique et de la fatigue de contact

Organisation de l'évaluation

Examen oral à la fin du module (ou si plus de 10 élèves examen écrit de 1h30)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Discuter des effets bénéfiques ou aggravants vis-à-vis de la résistance à la fatigue d'effets intrinsèques et extrinsèques au composant étudié (nature du matériau, procédé d'obtention, sollicitations, environnement...)
- Déterminer la durée de vie d'un composant soumis à des sollicitations cycliques
- Faire un choix de matériau vis-à-vis d'une résistance à la fatigue voulue

3CV3280 – Ecoulements compressibles

Responsables : **Ronan Vicquelin**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les écoulements compressibles sont caractérisés par un fort couplage entre la pression, la densité et la vitesse. Ils interviennent dans bon nombre de phénomènes naturelles (atmosphériques, astronomiques) ou dans des dispositifs créés par l'homme (dispositifs de transformation de l'énergie, engins aérodynamiques ou spatiaux, procédés de fabrication, ...).

Ce cours a pour objectifs de donner les éléments de base pour le calcul des écoulements compressibles dans les différents domaines d'application. Après un rappel de Thermodynamique, les équations du mouvement d'un fluide compressible seront détaillées. Une classification des écoulements compressibles sera proposée suivant les effets thermodynamiques en jeu. La notion de propagation d'onde sera au cœur de cet enseignement, avec notamment le rôle de la célérité du son dans les écoulements. La notion d'onde de choc, caractéristique des écoulements supersoniques, sera également abordée. Des exemples issus de situations provenant des domaines de la production d'énergie, de l'aéronautique ou du spatial seront utilisés pour mettre en application les notions développées dans cet enseignement.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

I. Introduction :

- Généralités
- Quelques exemples d'écoulements compressibles ;
- Rappels de Thermodynamique ;
- Classifications des écoulements compressibles suivant les paramètres de similitude et équations correspondantes ;
- Lois de conservation et équations de Navier-Stokes en fluide compressible ;

II. Écoulements stationnaires mono-dimensionnels

- Écoulements adiabatiques, application à la tuyère et calcul de poussée
- Écoulements de Fanno : prise en compte des pertes de charge
- Écoulement de Rayleigh : prise en compte du transfert de chaleur, application à une chambre de combustion.

III. Ondes de choc :

- Ondes de choc droites et relations de Rankine-Hugoniot ;
- Applications aux prises d'air de type Pitot ;
- Écoulements quasi-monodimensionnel : application à la tuyère de Laval ;
- Ondes de choc obliques ;
- Applications aux entrées d'air ;
- Réflexions entre ondes et interactions,
- Quelques exemples de cas pathologiques de réflexion ou d'interaction ;

IV. Écoulements instationnaires monodimensionnels :

- Notions sur les systèmes hyperboliques et la propagation d'ondes ;
 - Méthode des caractéristiques et invariants de Riemann ;
 - Applications aux cas du transport de fonctions scalaires et solutions de l'équation de Burger ;
 - Écoulements par ondes simples ;
 - Application au calcul de la détente et limite de l'apparition du vide ;
 - Problème de Riemann : application à la solution du tube à choc ;
 - Application au cas du trafic routier ;
- V. Écoulements permanents bidimensionnels :
- Équations en régime permanent et changements de variables ;
 - Méthode des caractéristiques appliquée aux écoulements permanents 2D et invariants de Riemann ;
 - Applications au calcul de jets sur- et sous-détendus ;
 - Application à l'injecteur sonique ;
 - Application au calcul de l'écoulement dans une tuyère en forme

Déroulement, organisation du cours

L'enseignement sera organisé en 6 séances. Les séances seront organisées sous la forme de cours pour introduire les notions et décrire les méthodes, suivis de temps d'applications des méthodes sur des exemples issus de situations concrètes. La tendance sera d'observer une proportion 50 % Cours, 50 % TD.

Organisation de l'évaluation

L'examen sera écrit et aura une durée de 2h, avec documents autorisés. Il se présentera sous forme de différents problèmes indépendants, portant sur la totalité de la matière enseignée.

Moyens

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève :

- aura acquis des notions sur les lois de conservation et les système d'équations hyperboliques ;
- aura acquis des compétences en matière de calcul d'écoulements présentant des ondes de choc, des détente et des surfaces de contact
- sera capable d'appliquer ces compétences au calcul d'écoulements instationnaires par ondes planes, notamment à la solution dans un tube à choc ou de transport scalaire ;
- sera capable de calculer des solutions de l'écoulement permanent dans une tuyère et dans le jet en aval de tuyère ou d'injecteur.

3CV3300 – Méthodes numériques avancées pour le mécanique des fluides

Responsables : **Aymeric Vie**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans les processus de conception en industrie, la simulation numérique est aujourd'hui utilisée à tous les niveaux afin de décrire en temps-espace de manière détaillée les phénomènes physiques. Pour ce faire, cette simulation numérique nécessite trois éléments clés : une maquette numérique, un ou plusieurs modèles physiques et un ensemble de méthodes numériques.

Ce dernier élément est clé. En effet, la description numérique implique une discrétisation qui conduit à des erreurs numériques, qui peuvent fortement impacter la qualité de la simulation. Une grande attention doit donc être portée sur le design et le choix de ces méthodes.

Dans ce cours, nous proposons de découvrir un ensemble de méthodes numériques adaptées aux problèmes réels, c'est à dire applicables à des géométries potentiellement complexes avec des nécessités de précision et d'efficacité très élevés. Un des éléments clés est ici l'utilisation de maillages non-structurés qui peuvent être conformes à des géométries très complexes.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Méthodes des Volumes finis (1h30 de cours, 1h30 de TD)

- Approximation numérique et système semi-discret
- Maillages non-structurés
- Méthodes des Volumes Finis

Équations d'Euler en maillage structuré (2x1h30 de cours, 2x1h30 de TD)

- Problème de Riemann et discrétisation
- Solveurs de Riemann approchés
- Méthodes d'ordre élevé
- Traitement des conditions aux limites

Équations d'Euler en maillage non-structuré (1h30 de cours, 1h30 de TD)

- Volumes finis appliqués aux équations d'Euler
- Traitement des conditions aux limites

Problème final (3h de TD)

- Mise en place d'un cas test compressible (aérodynamique externe)

Déroulement, organisation du cours

Organisation de l'évaluation

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de coder un solveur hyperbolique compressible d'ordre élevé

3CV3310 – Conception et Fabrication Aéronautique

Responsables : **Ronan Vicquelin, Marie Petrequin**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours a pour objectif de mettre en contexte industriel les disciplines académiques qui contribuent à la conception et fabrication des systèmes aéronautiques. Parce qu'un avion, un hélicoptère, un satellite etc. constituent un système complexe dont le management est tiré dès son origine par des considérations programmatiques, fonctionnelles et industrielles, ce cours permet aux élèves d'acquérir une culture aéronautique autant technique qu'industrielle et économique, tout en s'ancrant dans l'actualité du monde de l'aéronautique et des grandes entreprises le constituant.

Quel est le point de départ pour concevoir un système aéronautique ? Pourquoi autant de types d'avions différents ? Comment interviennent et dialoguent les différentes spécialités techniques ? Comment se manage un programme aéronautique ? Comment l'industrialiser ? Quelles sont les grandes étapes de fabrication d'un aéronef ? Comment la fabrication peut influencer sur la conception et vice-versa ? Comment s'articule le cycle de vie d'un aéronef et comment en tirer toutes les forces nécessaires à la réussite d'un programme ?

A travers l'examen de ces questions les élèves auront l'occasion d'appréhender la complexité et la multidisciplinarité mises en jeu dans la conception et fabrication des systèmes aéronautiques. Les intervenants sont issus de parcours divers et ont des expériences variées, pour couvrir la plus grande partie possible des thématiques abordées dans le cours.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours est constitué d'interventions et discussions interactives menées par des ingénieurs spécialistes de ces sujets, sur la base d'exemples concrets et réels du domaine aéronautique.

Après une introduction aux principaux concepts et éléments de vocabulaire de la conception aéronautique, on présentera le concept « d'approche système », sa déclinaison pour l'aéronautique et ses grands enjeux : satisfaction des besoins client, contexte réglementaire, complexité des missions, sécurité du vol, prise en compte du facteur humain, etc.

La deuxième grande partie du cours sera consacrée à la partie industrielle : cycle de vie produit, industrialisation, fabrication des aéronefs, spécificités de l'industrie aéronautique, organisation de la production et ouverture sur ses grands défis actuels.

Déroulement, organisation du cours

Le cours se compose de séances magistrales en salle. La dernière séance est consacrée à l'évaluation, à laquelle tous les élèves assistent, toujours dans le but d'élargir leur culture aéronautique. Quelques TD (non évalués) pourront ponctuer le cours pour aider les élèves à mieux appréhender certains concepts par la pratique (exemple : organisation de la production, QCM) et solliciter leur « bon sens aéronautique ».

Des supports multimédias : films, images, ainsi qu'objets, seront apportés durant le cours pour mieux illustrer le propos.

Organisation de l'évaluation

Un rapport d'étude écrit et une présentation orale permettront aux élèves constitués en groupe de restituer leur compréhension d'un thème technique particulier et son impact sur la conception et fabrication des systèmes aéronautiques. La liste de thème technique sera proposée au début du cours et ancrée dans l'actualité du monde aéronautique.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, les notions suivantes auront été abordées :

- Culture aéronautique et avion
- Approche système.
- Analyse fonctionnelle
- Architecture de systèmes complexes
- Sécurité du vol et des systèmes
- Prise en compte du Facteur Humain
- Programme aéronautique
- Industrialisation
- Grandes étapes de fabrication d'un aéronef et principales technologies mises en œuvre
- Spécificités de l'industrie aéronautique
- Organisation et rôles des fonctions supports à la production
- Analyse du cycle de vie d'un avion
- Grands défis du monde aéronautique

3CV3340 – Interactions Fluides-Structures

Responsables : **Andrea Barbarulo**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La problématique des Interactions Fluide-Structure est un domaine très vaste qui concerne de nombreux domaines industriels. Guidé par une analyse dimensionnelle précise, ce cours va s'intéresser tour à tour à chacune des grandes familles de problème d'IFS (hydroélasticité, ballonnement, vibroacoustique, aéroélasticité, etc.) en introduisant pas à pas les différents phénomènes qui peuvent intervenir et en proposant différents niveaux de modélisation pour les traiter (analytique ou éléments-finis). Cette démarche progressive et unifiée permet à l'issue de ce cours d'avoir une vision assez complète des phénomènes d'interactions fluide-structure et d'avoir connaissance des méthodologies et des outils pour les approcher.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction à l'analyse dimensionnelle
- Effet de masse ajoutée du fluide
- Ballonnement
- Effets de compressibilité et de viscosité
- Aéroélasticité
- Effet de raideur et d'amortissement ajoutés du fluide
- Effets de sillage et d'instationnarité
- Méthodes numériques adaptées (formulation variationnelle et éléments-finis pour le fluide)

Déroulement, organisation du cours

CM 50% + TD/TP 50%

Organisation de l'évaluation

1 examen écrit, deux comptes rendus de TP MatLab réalisés en PC.

Moyens

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Ø Fournir les éléments théoriques nécessaires à la modélisation physique et la résolution de problèmes d'interaction fluides-structures
- Ø Mettre en évidence les principaux phénomènes physiques (masse et raideur ajoutées, couplage de modes, instabilités de flottement et de flambage, etc.)
- Ø Résoudre par analyse dimensionnelle, analyse modale et méthodes numériques, divers exemples dans les domaines aéronautique, génie civil ou maritime, électronucléaire, biomécanique, etc.

3CV3350 – Dimensionnement Lanceur Spatial

Responsables : **Andrea Barbarulo**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **65**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **39,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Sous l'encadrement d'ingénieurs du secteur spatial, les étudiants dimensionnent et dessinent un lanceur répondant à des spécifications données. Les objectifs du cours sont donc de :

- Acquérir des compétences techniques dans le domaine spatial (propulsion fusée, étagement et architecture d'un lanceur, aérodynamique, trajectoire et performance, dimensionnement aux efforts généraux)
- Optimiser un système complexe avec l'interaction de différentes disciplines
- Acquérir de bonnes pratiques de programmation
- Réaliser un avant-projet de lanceur classique en Phase 0

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Rappels de mécanique spatiale
- Etagement de lanceur
- Dimensionnement de propulseur fusée
- Géométrie et bilan de masse complet
- Aérodynamique du lanceur
- Trajectoire et performance
- Efforts généraux en vol

Déroulement, organisation du cours

- TD en salle informatique
- Projet réalisé en groupes d'étudiants (binômes ou plus, à préciser en fonction du nombre d'étudiants)

Organisation de l'évaluation

Rapport et soutenance orale

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Utiliser les méthodes numériques d'intégration et d'optimisation
- Dimensionner un propulseur fusée
- Calculer l'aérodynamique complète d'un lanceur
- Calculer des efforts généraux sur un lanceur

3CV3370 – Projet Système

Responsables : **Antoine Renaud**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif est de dimensionner un système à un niveau de complexité et de détails tel qu'il ne permet pas à une ou deux personnes de maîtriser la totalité du sujet sur la semaine dédiée. Dans ce projet, les étudiants sont ainsi mis dans une situation similaire aux équipes de conception travaillant sur des projets nécessairement pluridisciplinaires. Le projet se fait en groupe de 6-7 élèves, chaque élève se voyant attribué un rôle au sein de l'équipe.

Le système étudié est proposé par MBDA avec une forte implication de ses équipes. En particulier, le projet consiste à répondre à un appel d'offre portant sur le pré-dimensionnement d'un missile anti-aérien. Les étudiants sont regroupés par équipe de 6-7 et occupent l'un des métiers suivants au sein de l'équipe :

- Architecte fonctionnel
- Spécialiste Aérodynamicien
- Spécialiste Guidage Pilotage Navigation
- Spécialiste Propulsion
- Spécialiste Charge militaire et Structure
- Spécialiste Autodirecteur

Chaque équipe doit proposer une définition de missile permettant de réaliser les missions décrites dans le cahier des charges et respectant les contraintes de :

- Intégration plateforme
- Performances systèmes (portée, manœuvrabilité, etc...)
- Coût (chaque équipe est en concurrence avec au moins une autre équipe)

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le contenu du cours dépend du métier exercé par l'étudiant au sein de l'équipe projet. Pour chaque métier, les outils pédagogiques sont les suivants :

- Un cours théorique de plusieurs heures fournissant les fondamentaux nécessaires pour la compréhension du métier.
- Un ou plusieurs logiciels avec une formation associée pour chacun des logiciels.
- Un accompagnement par au moins un intervenant MBDA spécialiste du métier tout au long de la semaine.

Déroulement, organisation du cours

Le projet missile fait intervenir une dizaine d'intervenants de MBDA pour apporter leur expertise et accompagner les étudiants tout au long de la semaine :

- En Salle plénière : tous les étudiants sont regroupés pour assister à une présentation générale d'un des intervenants MBDA.

- Par groupe projet : les étudiants sont regroupés en équipe. Des intervenants MBDA sont présents pour les accompagner dans leurs réflexions.
- Par groupe de rôle : les étudiants sont regroupés par métier avec des intervenants MBDA spécialistes du métier en question.
- Par organisation libre : les étudiants choisissent leur méthode de travail. Des intervenants MBDA sont présents dans une salle pour répondre à leurs questions.

Organisation de l'évaluation

Notation à partir de l'observation du travail effectué :

- de façon individuelle (50%)
 - Comportement
 - Compréhension / réalisation de l'exercice de spécialiste
 - Implication dans les activités de groupe
- en groupe (50%)
 - Résultats
 - Démarche de conception
 - Qualité de la présentation

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Mener une démarche de conception à l'échelle d'un système complet, c'est-à-dire, analyser et trouver des compromis pour le respect d'un cahier des charges.
- Communiquer sur son besoin auprès du projet pour obtenir les informations nécessaires à la réalisation de ses études
- Comprendre les problématiques des différents métiers en phase de conception d'un missile anti-aérien
- Réaliser les études de pré-dimensionnement d'un missile anti-aérien liées à son métier

3CV3380 – Dimensionnement Avion de Combat

Responsables : **Antoine Renaud, Florent Poleszczuk**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **65**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **39,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de placer les étudiants en situation concrète de réalisation d'un avant-projet d'avion de combat. En partant d'un cahier des charges fourni par un client de la société, les étudiants doivent franchir l'ensemble des étapes permettant le dimensionnement de l'avion, de la conception de la structure et de l'aménagement jusqu'au développement des lois de commande de vol numérique en passant l'établissement du dossier de performance. Chaque étape est guidée par des cours théoriques appliqués au projet afin de permettre aux étudiants d'appréhender les contraintes techniques et les compromis nécessaires à ce type de développement.

Ce cours s'accompagne également de nombreuses informations sur les avions existants ou ayant existés, permettant un développement approfondi de la culture aéronautique des étudiants.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1ère partie : Conception

Présentation et utilisation des règles de conception d'un avion de combat en fonction du cahier des charges. Dimensionnement de la voilure et des surfaces portantes. Aménagement du fuselage avant et arrière avec définition du groupe propulsif. Établissement du bilan de masse de la plateforme et étude du centrage.

2ème partie : Performance

Présentation et utilisation de la physique de la mécanique du vol appliquée aux avions de combat. Calcul de l'aérodynamique de la plateforme par la réalisation du bilan de portance et du bilan de trainée complet avec effet d'équilibrage afin de concevoir un modèle de performance de la plateforme. Établissement des performances basse vitesse au décollage et à l'atterrissage. Détermination d'un domaine de vol et d'un domaine de manœuvrabilité de l'avion. Réalisation d'un calcul de mission complet permettant de définir la performance en rayon d'action de la plateforme.

3ème partie : Qualité de Vol

Présentation et utilisation de l'automatique appliquée à la conception de loi de commande de vol numérique. Dimensionnement des gouvernes selon des critères de contrôlabilité précis. Établissement des lois de commande longitudinales et transversales garantissant le compromis entre sécurité et performance. Analyse des réponses du système aux sollicitations externes.

Déroulement, organisation du cours

4 séances de cours par partie dans une salle informatique avec utilisation des outils CATIA, Perfo2000 (logiciel métier Dassault) et Matlab/simulink.

Chaque séance dure 3h avec une répartition moyenne de 1h de cours magistral et 2h de travaux dirigés.

Organisation de l'évaluation

Évaluation du projet sous forme d'une soutenance synthétisant les points clés de chaque partie.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève aura démontré sa capacité à :

- Appliquer une démarche ingénieur de bureau d'étude pour contribuer à concevoir des systèmes complexes
- Comprendre les enjeux et les compromis liés à la conception d'un avion de combat
- Réaliser des calculs de performances basse vitesse et grande vitesse d'un avion à partir de son modèle aéropropulsif
- Appréhender les principes de dimensionnement des lois de commande de vol des aéronefs militaires
- Disposer d'une culture aéronautique étendue

3CV3500 – Projet Rozanoff, un projet le long de l'année avec un client industriel

Responsables : **Ronan Vicquelin**

Département de rattachement : **MENTION AÉRONAUTIQUE, ESPACE ET TRANSPORTS (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **200**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **125,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

- Ce projet met un groupe d'étudiants face à un problème d'ingénieur ouvert et proposé par un client industriel. Tout en jouissant d'une proximité avec un acteur industriel des secteurs d'activités couverts par la mention Aéronautique, Espace et Transports, le groupe-projet est en lien avec un ingénieur et un enseignant de l'école pour comprendre le besoin du client, s'organiser, mettre en œuvre une démarche conduisant à des résultats qu'il s'agira de faire valider par le client et présenter à un public scientifique non-expert. Le projet correspondant à une problématique réelle et ouverte, une forte valeur ajoutée du travail des étudiants est attendue. La gestion du projet est laissée en grande partie aux étudiants pour exercer leur autonomie et développer une démarche ingénieur.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9 SG10 SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Des créneaux de travail sur le projet sont planifiés régulièrement durant l'année. L'organisation du travail lors de ces séances est laissée à la gestion des groupes-projets. La vie du projet est cadencée par trois jalons correspondants à différentes phases du projet : démarrage, mi-parcours, fin.

Déroulement, organisation du cours

Un groupe de trois élèves par projet avec un client externe.

Chaque groupe est également suivi par un référent pédagogique. Celui-ci s'assure de la conduite efficace du projet, en échangeant brièvement mais régulièrement avec le groupe. Le référent pédagogique s'implique dans la réalisation technique du projet en fonction de la convention signée avec le partenaire industriel : oui pour les *CEI*, non pour les projets *Immersion*.

Des créneaux de travail sur le projet sont planifiés régulièrement durant l'année. Une demi-journée par semaine pendant le premier tiers de l'année puis une journée hebdomadaire par la suite. L'organisation du travail lors de ces séances est laissée à la gestion des groupes-projets. La vie du projet est cadencée par quatre jalons correspondants à différentes phases du projet (démarrage, premiers résultats, mi-parcours, fin) :

- J1 : Fin octobre (deadline : 03 novembre 2023) : bilan de la période de démarrage et promotion de trois offres de stage ingénieur de la société. Envoi de quelques transparents pour partager la compréhension du sujet, les premières tâches réalisées, la planification.
- J2 : Fin décembre (deadline : 21 décembre 2023) : rapport contenant contexte et reformulation du sujet, découpage et répartition des tâches, premiers résultats.
- J3 : Début février : soutenance de mi-parcours le jeudi 01 février 2024.
- J4 : Fin d'année : rapport et livrables adressés au client puis soutenance finale le jeudi 11 avril 2024.

Organisation de l'évaluation

La note finale est déterminée à la fin du projet à partir de plusieurs notes intermédiaires.

- Note N1 - Conduite du projet et Résultats intermédiaires évalués à J1, J2, J3
 - o Compréhension du besoin client et du contexte
 - o Déroulement (organisation, gestion du projet, des réunions, répartition des tâches, autonomie, maturité)
 - o Qualité des rendus intermédiaires.
- Note N2 - Valeur des résultats finaux évaluée par client (+ référent CEI) à la fin du projet
- Note N3 - Note de Soutenance finale évaluée par jury
- Note N4 - Note de Rapport final évalué par client (+ référent CEI)

Note Finale = appréciée à partir de l'arrondi de la formule $(0.4 \times N1 + 0.2 \times N2 + 0.2 \times N2 + 0.2 \times N3)$

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- A la fin de cet enseignement, l'élève aura démontré :
- Sa capacité à s'approprier un nouveau sujet ouvert nécessitant une démarche scientifique et pragmatique
- Une certaine maturité dans la conduite du projet : autonomie dans la gestion, répartition des tâches, échanges réguliers avec le client pour comprendre son besoin et répondre à ses attentes
- Sa capacité à fournir des résultats en en appréciant les valeurs et performances tout en connaissant les limitations à travers une prise de recul.
- Sa capacité à fournir des livrables soignés, clairs en temps et en heure.
- Sa capacité à restituer à l'écrit et à l'oral une démarche scientifique, des résultats techniques et des recommandations argumentées : savoir convaincre.

DOMINANTE ENERGIE (ENE)

3EN1010 – Enjeux énergétiques et environnementaux

Responsables : **Christophe Laux**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cycle de conférences et de visites complète les enseignements de la Dominante Energie. L'objectif est de donner une ouverture sur de nombreuses thématiques techniques, scientifiques, économiques, sociétales qui entrent en jeu dans la transition énergétique.

Les soirées conférences couvrent un large spectre de thématiques : enjeux environnementaux, stratégies de transition énergétique, marchés de l'énergie, précarité énergétique, présentation des activités de recherche des laboratoires de l'Ecole. Elles sont également l'occasion de rencontrer et d'échanger avec les enseignants de la dominante.

Les visites d'entreprise permettent de découvrir des grands sites industriels et d'en rencontrer les acteurs.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Organisation de l'évaluation

Il y aura 6 rencontres dans cette séquence. La présence est obligatoire. La validation est basée sur la participation à au moins 5 des 6 conférences.

Les visites donnent lieu à une note de synthèse qui sera évaluée par les pairs.

3EN1020 – Décarbonation de la production d'énergie

Responsables : **Martin Hennebel, Herve Gueguen**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **36,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La Stratégie Nationale Bas Carbone établie en 2020 par le gouvernement français considère que pour parvenir à la neutralité carbone en 2050 il est nécessaire que la production d'énergie soit quasiment décarbonée à cet horizon. Cette décarbonation constitue un enjeu fondamental pour les prochaines années si on prend en compte le temps nécessaire au développement de nouveaux projets de production et la durée de vie des installations. Ce cours a pour objectif d'étudier les problématiques associées à la décarbonation de la production d'énergie et les technologies qui permettent de l'envisager.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Le système énergétique et les enjeux de la décarbonation
- L'énergie nucléaire
- Les hydrocarbures et le stockage de CO₂
- La biomasse énergie
- L'énergie solaire
- L'énergie éolienne
- L'énergie hydraulique (en mention SES)

Le contenu de ce cours pourra être adapté en fonction de la disponibilité des intervenants

Déroulement, organisation du cours

Conférences par des experts issus du monde économique et académique

Organisation de l'évaluation

Examen final d'une durée de 1h30 sous forme de QCM portant sur l'ensemble des interventions :

- Sur le campus de Rennes l'examen inclut une partie d'évaluation sur le cours 'Conversion électrique en régime dynamique pour la génération (3EN1540)'.
• Sur le campus de Paris-Saclay l'examen porte uniquement sur la production d'énergie.

Moyens

Conférences sur les principales sources d'énergie et leurs interactions.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Connaitre les principales sources de production d'énergie, et leurs caractéristiques.
Comprendre les enjeux de la décarbonation et la complexité systémique associée.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 : Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines.

C1.3 : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

3EN1030 – Sciences des transferts

Responsables : **Herve Gueguen, Antoine Renaud**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement vise à former les étudiants à la modélisation de problèmes réels de mécanique des fluides incompressibles et de transferts thermiques dans le but d'obtenir rapidement des valeurs de prédimensionnement. Si les premières années du cursus s'attachent à la résolution du problème, on s'intéressera ici à développer la capacité à simplifier un système réel à l'aide d'arguments spécifiques et en maîtrisant l'erreur commise afin de pouvoir calculer rapidement des grandeurs utiles pour des problèmes énergétiques tels que l'efficacité d'un échangeur, le traitement thermique d'un matériau, la production d'énergie par un barrage ou une éolienne, etc.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun en particulier

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 : Introduction, bilan de masse, description d'un mélange d'espèces

Séance 2 : Contraintes et taux de déformation, bilan de quantité de mouvement local (Euler et Navier Stokes), bilan de quantité de mouvement macroscopique

Séance 3 : Bilans d'énergie locaux, théorème de Bernoulli, bilan macroscopique d'énergie mécanique, pertes de charge et rendement de machines

Séance 4 : Modélisation d'un problème ouvert de mécanique des fluides

Séance 5 : Les bases des transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement. Introduction du transfert conducto convectif. Premier bilan d'énergie en régime stationnaire et sans mouvement. Analogie électrique. Ailette et approximation de l'ailette.

Séance 6 : Conduction instationnaire et physique de la diffusion. Équation de bilan d'énergie. Théorèmes généraux : théorème de superposition et théorème Π . Mur semi-infini. Cas des milieux d'extension finie. Échelles de diffusion d'espace et de temps.

Séance 7 : Convection forcée externe : Analyse dimensionnelle. Résultats de convection externe le long d'une plaque plane. Convection forcée interne : Bilan d'énergie simplifié. Conduite de section constante – régimes et température de mélange. Résultats et discussion physique.

Séance 8 : Modélisation d'un problème ouvert de transferts thermiques

Déroulement, organisation du cours

Le cours est réalisé en classe inversée. Les notions théoriques, similaires à celles données dans le cours de Sciences des Transferts de première année, sont disponibles sous la forme de vidéos en ligne. Les séances en présentiel sont des séances de TD de 3h. Les 3 premières séances de chaque partie sont découpées comme suit : 1h30 d'exercices d'application et de compréhension du cours + 1h30 de résolution d'un problème ouvert. Les quatrième et huitième séances de 3h sont dédiées à la modélisation d'un problème ouvert dont les résultats complétés à la maison serviront de rendu pour l'évaluation.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera sur deux mini-projets en binôme ou trinôme lancés durant les quatrième et huitième séances et visant au pré-dimensionnement d'un système réel à partir des outils vus en cours. Le rendu prendra la forme d'un rapport / note de calcul par mini-projet comparant les résultats obtenus par la modélisation avec des données disponibles par ailleurs.

Moyens

Pas de moyens spécifiques à prévoir en dehors d'un ordinateur personnel avec accès à internet.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de modéliser un problème réel de mécanique des fluides incompressible et de transferts thermiques, et d'obtenir des résultats quantitatifs de pré-dimensionnement.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

3EN1040 – Conversion électrique en régime dynamique

Responsables : **Marc Petit**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les machines électriques sont, en tant que convertisseur électromécanique réversible, des éléments fondamentaux pour la production d'électricité, pour le développement des énergies renouvelables (les éoliennes), et pour l'électrification des usages (mobilité électrique par exemple). Dans ces applications on trouve des machines synchrones et asynchrones.

L'objectif du cours est d'introduire des outils afin d'analyser tous les cas de comportement des deux principales machines électriques utilisées pour la conversion d'énergie tant en mode génération qu'en motorisation. Il est alors possible d'étudier l'association de ces machines au réseau triphasé d'électricité ainsi qu'aux convertisseurs électroniques de type VSC.

Le comportement des machines électriques est régi par les phénomènes de couplages magnétiques entre les circuits électriques.

Ainsi la première partie du cours se charge de présenter les bobinages rencontrés dans les machines et de faire la modélisation des couplages magnétiques entre ces bobinages. Le principe du calcul de la force magnéto-motrice (fmm) dans l'entrefer sera présenté pour aboutir à la notion de champ tournant. Ensuite, la formulation de la fmm permettra de présenter les transformations de Concordia puis Park pour ramener les grandeurs dans le référentiel du rotor. La transformation de Park permet, en régime permanent, de passer de grandeurs électriques alternatives sinusoïdales à des grandeurs constantes. Ce qui est un avantage pour la commande.

La seconde partie du cours est dédiée à la présentation de la machine synchrone qui est le principal générateur d'électricité et qui est aussi utilisée pour la motorisation. La modélisation des couplages magnétiques et la transformation de Park permettent de construire un modèle de la machine en régime permanent, puis un modèle pour l'étude des régimes transitoires à l'aide du calcul opérationnel et des fonctions de transfert. Une illustration sera donnée pour quelques phénomènes transitoires rencontrés dans le cas d'alternateur connectés au réseau électrique.

La dernière partie concerne la machine asynchrone qui est principalement utilisée dans les systèmes de motorisation électrique et que l'on trouve aussi maintenant en génération dans les éoliennes connectées au réseau. Il s'agit d'établir les équations du modèle de Park qui est la clé pour l'établissement d'une commande.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SSD9

Prérequis

Notions d'électromagnétisme

Notions de circuits électriques.

Notions de calcul opérationnel (opérateur de Laplace) et de dérivées partielles

Puissances électriques

Plan détaillé du cours (contenu)

Aperçu de la structure d'une machine synchrone et asynchrone

Bobinages et couplages magnétiques

Bobinages – FMM – Bobinages multipolaires

Flux capté par un bobinage

Couplages entre bobines. Cas des machines à pôles lisses ou saillant

FMM dans le repère alpha-beta (Concordia) puis de Park
Transformation de Park – Matrice – Forme vectorielle – Forme complexe
Equations de Park
Couple mécanique

Machine Synchrone
Présentation
Couplages magnétiques
Simplification des couplages par transformation de Park
Calcul du couple
Fonctionnement en régime permanent synchrone
Fonctionnement en régime transitoire

Machine Asynchrone
Présentation
Modélisation – Modèle magnétique en forme dq
Calcul du couple

Déroulement, organisation du cours

session n°1 : cours
session n°2 : cours
session n°3 : TD ou TP
session n°4 : cours
session n°5 : TD ou TP
session n°6 : cours
session n°7 : TD ou TP
session n°8 : TD ou TP

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de 3h maximum avec l'organisation typique suivante :

- une heure de questions sur le cours à répondre sans documents
- deux heures de problèmes à réaliser avec documents de cours autorisés

Support de cours, bibliographie

Supports :
Présentation des machines électriques à bobinages triphasés - photocopié - Jean-Claude Vannier
Modélisation de la machine synchrone - photocopié - Jean-Claude Vannier
Régimes transitoires des machines synchrones - photocopié - Jean-Claude Vannier
Bibliographie :
Régimes transitoires des machines électriques tournantes - Eyrolles - Philippe Barret
Compléments sur les machines électriques - photocopié - Michel Poloujadoff
Electrotechnique industrielle - Ed Lavoisier - Guy Séguier et Francis Notelet

Moyens

Cours magistraux (4 séances), 3 séances de TD et une séance de TP

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les élèves seront en mesure de :
comprendre les phénomènes magnétiques régissant le comportement des machines électriques.
faire le lien entre la complexité de réalisation des bobinages et la qualité des performances obtenues.
prédire et analyser le comportement en régime permanent et en régime transitoire des machines synchrone et asynchrone.
définir les composants principaux d'une chaîne de conversion d'énergie électrique avec des machines à courants alternatifs.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.3 (Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation
C2.3 (jalon 3) Intégrer, consolider les nouvelles compétences acquises au sein d'un corpus de connaissances

3EN1050 – Matériaux pour l'énergie

Responsables : **Véronique Aubin**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les structures produisant de l'énergie doivent répondre à deux enjeux : performance et sûreté. Les matériaux utilisés dans ces structures doivent être capables de répondre de la manière la plus performante possible à ces objectifs. Pour cela, ils doivent répondre aux sollicitations qui s'exercent sur les différents composants de ces structures : sollicitations mécaniques et/ou environnementales, conditions de température, voire de rayonnement. Ce cours a pour objectif de permettre aux étudiants de comprendre et d'identifier les phénomènes physiques à l'œuvre en fonction des familles de matériaux et de sollicitations et de savoir choisir le matériau adapté.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours est organisé en deux parties. La première partie traite des performances des structures utilisées en conditions courantes (éolien, hydraulique...) tandis que la deuxième portera sur les structures sous sollicitations intenses (centrales nucléaires de fission ou fusion, pile à hydrogène, centrale thermique...).

Partie 1 - structures à température ambiante

- élasticité, lien avec la nature des matériaux, modélisation
- comment construire le matériau spécifique à l'application avec les matériaux composites,
- sûreté des installations, résistance à la fissuration

Partie 2 - structures sous sollicitations intenses (température, sollicitation mécanique, environnement, irradiation)

- mécanismes de déformation plastique
- à haute température, le fluage
- comportement sous irradiation
- durabilité des structures, influence de l'environnement

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de 1h30 à la fin du module

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de :

- discuter des effets bénéfiques ou aggravants vis-à-vis de la performance voulue ou de la sécurité d'effets intrinsèques et extrinsèques au composant étudié (nature du matériau, procédé d'obtention, sollicitations, environnement...)
- décrire les phénomènes physiques responsables de la performance d'un matériau dans une application donnée
- choisir une famille de matériaux pour une application donnée

3EN1540 – Conversion électrique en régime dynamique

Responsables : **Herve Gueguen**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif du cours est de présenter les principaux éléments constituant la chaîne de production d'électricité et leur comportement en régime permanent et en régime transitoire.

Les applications vont de celles classiquement rencontrées pour la production à vitesse constante ou pour les applications à vitesse variable proposées pour l'intégration des ENR.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Energie Electrique- Principes et composants

Plan détaillé du cours (contenu)

Présentation du fonctionnement des stators des machines électriques – Alimentation en courants triphasés – Champ tournant et caractéristiques

- Représentation de Park
- Machines synchrones - principes - modélisation d,q - couple - régime permanent - régime transitoire
- Fonctionnement sur réseau de fréquence fixe
- Onduleurs de type source de tension ou VSC – principes – modélisation – commande
- Contrôle du courant et du couple
- Génération à vitesse variable – Application à un générateur synchrone à aimants
- Connexion des sources DC sur réseau AC triphasé

Déroulement, organisation du cours

Cours et études de cas

Organisation de l'évaluation

Le contenu de ce cours fera l'objet de questions spécifiques dans l'examen sur le cours décarbonation de l'énergie (3EN1020).

Moyens

Cours et étude de cas

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- A l'issue de ce cours, les élèves seront capables :
- de comprendre les phénomènes magnétiques régissant le comportement des machines électriques

- d'utiliser des modèles et de les adapter aux situations rencontrées en fonctionnement
- de séparer les rôles des éléments de la chaîne de conversion et d'en préparer le dimensionnement
- de comprendre les enjeux des liaisons entre réseaux DC et AC.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

3EN1570 – Bâtiments, villes et territoires

Responsables : **Romain Bourdais**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours s'intéresse à un des secteurs les plus énergivores : le bâtiment (40% de la consommation en France, et 20% des émissions de CO₂). Celui-ci est depuis plusieurs années en constante mutation, et aujourd'hui, il ne doit plus être considéré comme un simple consommateur mais comme un véritable acteur énergétique parfaitement intégré dans son écosystème. Il doit s'inscrire pleinement dans une vision de société renouvelée, où confort et santé sont en harmonie avec la gestion de l'énergie. Ce cours s'intéresse ainsi tant aux petits postes de consommation à l'intérieur du bâtiment qu'aux enjeux des nouveaux quartiers (quartiers à énergie positive). L'objectif de ce cours est donc d'apporter aux élèves ingénieurs toutes les ressources nécessaires pour appréhender les complexités liées au bâtiment, en couvrant d'une part les aspects physiques (thermique, notion de confort), les aspects technologiques (pompe à chaleur, ...) mais aussi les aspects sociologiques (acceptabilité des occupants) et politiques et économiques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- **Enjeux énergétiques - bâtiments et quartiers**

Présentation générale des enjeux

- Au niveau d'une métropole
 - Les moyens d'action d'une métropole et d'une région
 - Déploiement des réseaux de chaleur - Point de vue technique, économique et visite sur site.
- Au cœur d'un bâtiment
 - Phénomènes thermiques
 - Les besoins des occupants
 - Les systèmes de pilotage

Déroulement, organisation du cours

Ce cours est organisé autour de conférences. Une visite de site est prévue, pour comprendre le fonctionnement d'un réseau de chaleur.

Organisation de l'évaluation

QCM de culture générale

Note de synthèse d'un document

Moyens

Le cours est construit autour de diverses conférences sur les enjeux énergétiques du parc de bâtiments et des questions que doivent se poser les ingénieurs quant au déploiement de solutions efficaces, soit au sein même d'un bâtiment, soit dans un quartier.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, les élèves seront en mesure :

- de définir les grands enjeux et challenges liés à la transition énergétique du bâtiment
- d'apporter un regard critique et justifié par rapport à une action de transformation d'un bâtiment

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Identifier et acquérir de façon autonome les nouvelles connaissances et compétences nécessaires (**C2.3**)

3EN2010 – Conférences ENE RE

Responsables : **Christophe Laux, Marie-Laurence Giorgi**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cycle de conférences complète les enseignements de la Dominante Energie et de ses mentions. L'objectif est de donner une ouverture sur de nombreuses thématiques techniques, scientifiques, économiques, sociétales qui entrent en jeu dans la transition énergétique. Ces conférences couvrent un large spectre de thématiques : enjeux environnementaux, stratégies de transition énergétique, marchés de l'énergie, précarité énergétique, innovation technologique, avancées en recherche, startups de l'énergie. Elles sont également l'occasion de rencontrer et d'échanger avec les enseignants de la dominante.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10, SG11

Prérequis

Aucun

Organisation de l'évaluation

Pass ou Fail. Pour valider, il faut assister à au moins 5 des 6 conférences par séquence.

3EN2020 – Géosciences

Responsables : **Benoît Noetinger, Marie-Laurence Giorgi**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours présentera les notions suivantes :

1. Géologie, structure de la Terre, tectonique, bassins sédimentaires, failles, formation des minéraux;
2. Hydrologie : cycle de l'eau, aquifères, loi de Darcy, tests transitoires, biseaux salés
3. Géothermie, éléments technico-économiques, haute température, basse température
4. Ressources minérales : terres rares, lithium, hydrogène naturel
5. Modélisation numérique : géologie numérique, modélisation des réservoirs souterrains
6. Séquestration CO₂

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et travaux dirigés

Organisation de l'évaluation

Contrôle écrit final individuel (1h30)

Moyens

Equipe enseignante : Benoit Noetinger (IFPEN), Yves Missenard (Université Paris Saclay), Hermann Zeyen (Université Paris Saclay) et Johann Tuduri (BRGM)

3EN2030 – Nouvelles technologies

Responsables : **Marie-Laurence Giorgi, Marion CHANDESRIS, Sébastien ROSINI**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le développement des énergies intermittentes dans le mix énergétique mondial et la transition vers des énergies bas carbone nécessaire à la maîtrise du réchauffement climatique posent de manière très importante la question du stockage de l'énergie et de l'équilibrage entre les moyens de production et les besoins en termes de consommation. Du fait du contexte, les dispositifs de stockage et de conversion électrochimique de l'énergie suscitent un engouement très fort et font l'objet à la fois de nombreuses recherches pour améliorer leurs performances et d'un effort très important de déploiement dans des applications variées tel que la mobilité, le stockage des énergies intermittentes ou l'augmentation de l'efficacité énergétique. L'objectif de ce cours est de fournir une description exhaustive des principes de fonctionnement et des enjeux de déploiement des technologies électrochimiques de l'énergie.

Pour ce faire, seront abordés dans un premier temps les grands principes de fonctionnement des systèmes de conversion électrochimiques avec un focus sur les considérations thermodynamiques et cinétiques. Dans un second temps, le fonctionnement des piles à combustible et des batteries sera décrit, en particulier les matériaux et le processus de fabrication mis en jeu dans ces systèmes. Un focus sera fait sur les piles à combustible de type SOFC et PEMFC et les batteries à base de lithium.

Une description des outils de simulation nécessaires à la compréhension du fonctionnement de ces systèmes multi-physiques sera réalisée. Pour finir, l'intégration de système énergétique multi sources dans une application sera abordée ainsi que la notion d'hybridation.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Contexte historique et actuel des générateurs électrochimiques 3 h.
2. Principe de fonctionnement des générateurs électrochimique 6 h.
3. Les piles à combustible et le stockage chimique de l'énergie 6 h.
4. Les batteries 6 h.
5. Modélisation multi-échelle 6 h.
6. Les systèmes hybrides 3 h.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et travaux dirigés

Organisation de l'évaluation

Contrôle écrit final individuel (1h30)

Moyens

Équipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Sébastien Rosini (CEA), Marion Chandesris (CEA)

Outils logiciels et nombre de licences nécessaire : logiciels libres

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de l'enseignement, les élèves seront capables de : 1. Comprendre le fonctionnement des générateurs électrochimiques d'un point de vue théorique et d'un point de vue matériau. 2. Avoir une vue d'ensemble des applications actuelles et futures des systèmes de conversion électrique. 3. Proposer et évaluer des solutions pour optimiser l'efficacité énergétique des systèmes.

3EN2040 – Génie des procédés et ressources

Responsables : **Marie-Laurence Giorgi**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif d'apporter les connaissances nécessaires à la conception et à la modélisation des installations rencontrées dans l'industrie des procédés et des matériaux (opérations unitaires et réacteurs). Ces procédés sont soit utilisés dans l'industrie de l'énergie soit grands consommateurs d'énergie. Le cours commence par une description de la thermodynamique des solutions et des équilibres multi-constituants. Il s'intéresse ensuite au génie de la réaction chimique (modèles de réacteurs, notions de cinétique chimique), au dimensionnement d'opérations unitaires (distillation, extraction liquide / liquide, appareils à contact permanent), au modèle de l'étage idéal, à la hauteur et au nombre d'unités de transfert, au bilan énergétique dans un procédé (optimisation, efficacité énergétique). Le cours s'appuie sur de nombreuses études de cas (comme par exemple, le retraitement du combustible nucléaire, la séparation éthanol / eau ou la séparation des gaz de l'air).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, travaux dirigés, conférences

Organisation de l'évaluation

Contrôle écrit final individuel (1h30)

Moyens

Equipe pédagogique : Marie-Laurence Giorgi (CentraleSupélec, LGPM) et spécialistes de l'industrie

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, les élèves seront capables de :

1. Comprendre et utiliser les diagrammes d'équilibre thermodynamique
2. Ecrire des bilans de matière et d'énergie pour des installations du génie des procédés
3. Comprendre le couplage entre ces bilans et les équilibres thermodynamiques
4. Dimensionner les installations du génie des procédés dans le cas idéal
5. Modéliser l'écart entre le cas idéal et le cas réel (notion de rendement)

3EN2050 – EI - Mission de terrain géologique

Responsables : **Marie-Laurence Giorgi, Benoît Noetinger**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La mission de terrain géologique permet de rendre concrets les acquis du cours de géologie, en précisant les méthodes, les échelles, les outils et les concepts de la géologie de terrain interprétés ensuite avec les outils acquis dans le cours magistral.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Cours Géologie

Déroulement, organisation du cours

Travaux pratiques

Déplacement dans un site géologique intéressant pendant une semaine

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu et rapport

Moyens

Equipe pédagogique : Benoît Noetinger (IFPEN), Yves Missenard et Bertrand Saint Bezar (Université Paris Sud)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Possibilité de valider **C2, C3, C8**

3EN2060 – EI - Optimisation énergétique des procédés

Responsables : **Marie-Laurence Giorgi**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif du cours est de présenter les outils nécessaires pour mener une réflexion sur l'optimisation énergétique des procédés, en se fondant en particulier sur une combinaison des bilans de matière et d'énergie. La notion d'exergie ou la méthode PINCH seront présentées pour estimer la quantité maximale d'énergie thermique récupérable de flux procédés. Le cours s'appuiera sur des exemples concrets présentés par des intervenants de l'industrie pour montrer les problématiques d'économie d'énergie et la démarche aboutissant à l'optimisation énergétique d'une unité de production. Ces exemples pourront concerner : l'élaboration des matériaux qui exige souvent de hautes températures et met en jeu des quantités importantes d'énergie ; les procédés pétrochimiques ; les procédés de séparation des gaz de l'air.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Sciences des transferts, thermodynamique, génie des procédés

Plan détaillé du cours (contenu)

Efficacité énergétique : pourquoi ?

Les échangeurs de chaleur Shell & Tubes à contre-courant

La méthode Pinch selon l'approche TIM (Temperature Interval Method) : maximiser l'énergie récupérable, application à une colonne à distiller

Analogie entre la méthode TIM et les courbes composites chaudes / froides : interprétation de la courbe grand composite

Construction d'un réseau d'échangeurs de chaleur optimal (HEN), application à une colonne de distillation

Calcul d'un indice énergétique (EI)

Présentation et optimisation énergétique d'une unité de production d'aromatiques

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, études de cas et projets réalisés en binôme

Organisation de l'évaluation

Travail personnel en binôme et présentation finale

Moyens

Equipe enseignante : Denis Bossanne (IFPEN) et Jean-Marc Borgard (CEA)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, les étudiants seront capables de 1) mettre en œuvre la méthode PINCH pour trouver le « MER » (Minimum Energy Requirement) et proposer un réseau d'échangeurs de chaleur optimal sur

une colonne à distiller, 2) calculer un index énergétique (EI), 3) proposer la mise en œuvre d'un revamping énergétique (technologies spécifiques, optimisation de train d'échangeurs, ...) en estimant l'impact des modifications proposées sur l'EI.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Validation possible des compétences **C1**, **C3**, **C4**, **C7** et **C8**

3EN2220 – Méthodes numériques et projet numérique

Responsables : **Hervé Duval**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La simulation numérique est un levier essentiel dans l'optimisation des procédés afin, en particulier, de réduire leur consommation énergétique et leur impact environnemental. Pour ce faire, les ingénieurs s'appuient très souvent sur des logiciels commerciaux tels que AspenPlus pour la simulation d'un procédé industriel (constitué en général d'un ensemble d'opérations dites unitaires) ou FLUENT pour simuler les écoulements et les transferts couplés au sein d'une opération unitaire. Ces deux outils sont d'ailleurs au centre de deux cours de la mention Ressources Energétiques, respectivement Simulations des procédés et Simulations numériques fluides (SG11). Cependant, avant d'utiliser ce type d'outils complexes, il est essentiel de se familiariser avec la modélisation multiphysique et les méthodes numériques nécessaires pour implémenter les modèles développés. C'est précisément l'objectif du cours Méthodes numériques et projet numérique.

Sur 3 jours (6 x 3h), les étudiants vont modéliser et simuler une opération unitaire en développant leur propre code de calcul. Pour ce faire, ils travailleront en petits groupes. L'opération choisie mettra en œuvre les différents types de transfert (matière, chaleur et quantité de mouvement). Les étudiants développeront une démarche complète et seront donc confrontés successivement à la physique de l'opération unitaire, à la recherche de données, aux calculs d'ordres de grandeur, à la modélisation mathématique, au choix des algorithmes et des schémas numériques, à la programmation en langage Python, à la mise en forme et à l'interprétation des résultats. Cet enseignement s'appuiera entre autres sur les acquis de cours de la SD9 Energie : Transferts thermiques avancés, Méthodologie en transferts thermiques et massiques et Mécanique des fluides avancée.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Transferts thermiques avancés, Méthodologie en transferts thermiques et massiques et Mécanique des fluides avancée (SD9 Energie)

Plan détaillé du cours (contenu)

Présentation de l'opération unitaire choisie et de la problématique associée

- *Tour aéroréfrigérante de centrale nucléaire, encrassement du garnissage, prévision du dépôt de calcaire*
- Analyse du procédé et des phénomènes mis en jeu
 - *Ordres de grandeur, estimation des longueurs et temps caractéristiques, identification des phénomènes prépondérants*
 - Modélisation des équilibres thermodynamiques des espèces en solution
 - *Quand la géochimie des eaux vient en aide au génie des procédés !*
 - Ecriture du code thermodynamique en Python
 - *Résolution du système d'équations algébriques par la méthode de Newton-Raphson*
 - Modélisation du transport d'espèces et de la précipitation de la calcite (calcaire) à la surface du garnissage
 - *Simplification de la géométrie, modèle du film liquide tombant verticalement le long d'une paroi plane*
- Initiation à la méthode des volumes finis
- Ecriture du code de transport d'espèces en Python

- Etude de la convergence au sens du maillage et validation du code de transport d'espèces sur une configuration modèle
 - *Ecoulement entre deux plaques parallèles avec condition de flux uniforme à la paroi*
- Couplage des deux codes de calcul et prédiction de la cinétique d'encrassement du garnissage

Déroulement, organisation du cours

Par groupes de 3 à 4, les étudiants modélisent et simulent une opération unitaire de procédé afin de répondre à une problématique industrielle. Pendant les trois jours réservés à cette activité, chaque groupe a le temps de s'approprier le sujet, de construire son modèle et de l'implémenter informatiquement avec l'appui méthodologique des encadrants. Cet appui est soit individualisé soit sous forme de courtes présentations au tableau. Les livrables attendus à la fin du cours sont : les codes sources en Python, le rapport (1 par groupe) présentant le contexte industriel et scientifique, la démarche de modélisation, le modèle établi, sa mise en œuvre numérique et la réponse à la problématique posée.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation prend en compte : l'assiduité individuelle, l'implication du groupe, la pertinence et la rigueur de la modélisation, l'implémentation numérique, la programmation en Python (codes sources) et le rapport qui présente le travail réalisé.

Support de cours, bibliographie

Seront fournis :

Diapositives des différentes présentations, sélections d'articles scientifiques liés à l'opération unitaire étudiée, document synthétique sur la méthode des volumes finis, sélection de numericals recipes.

Ouvrages utiles :

Polycopié CentraleSupélec Mécanique des Fluides ; Tomes I et II ; Sébastien Candel.

Transferts thermiques - Introduction aux transferts d'énergie ; 5ème édition ; auteurs : Jean Taine, Franck Enguehard et Estelle Iacona ; Dunod, Paris, 2014.

Numerical Heat Transfer and fluid flow; 1ère édition; auteur: Suhas V. Patankar ; Taylor & Francis Group, New York, 1980

Moyens

* Equipe enseignante : Hervé Duval

* Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Python

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue du cours, les étudiants seront capables de :

- estimer les différentes échelles de temps et d'espace mises en jeu dans un procédé de transformation de la matière ;
- choisir l'échelle la plus pertinente pour résoudre le problème posé ;
- distinguer les phénomènes prépondérants ;
- réduire de façon pertinente les dimensions et la complexité du problème ;
- établir un modèle multiphysique en agrégeant des connaissances de mécanique des fluides, de transferts de chaleur, de transferts de matière, de thermodynamique, de cinétique chimique et de génie des procédés ;
- résoudre les équations de transport associées, à l'aide de la méthode des volumes finis, dans des géométries simples ;
- implémenter la résolution numérique en langage Python ;
- valider les différentes « briques » du code de calcul (par exemple par comparaison avec des solutions analytiques connues) et tester la convergence au sens du maillage.
- avoir un regard critique sur le modèle développé et ses limitations.
- présenter de façon structurée et argumentée la démarche de modélisation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C6. Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

C8. Mener un projet, une équipe

3EN2230 – Mécanique des fluides numériques

Responsables : **Morgan Chabanon, Sébastien Ducruix**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce module de calcul numérique est l'apprentissage de la méthodologie d'utilisation d'un logiciel de CFD (Computational Fluid Dynamics) commercial et de son utilisation dans le cadre de l'étude des transferts de chaleur et de matière.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Cours de sciences des transferts (SD9)

Plan détaillé du cours (contenu)

Les trois premières séances combinent cours et TP numériques afin d'aborder et pratiquer les notions suivantes : numérisation du domaine de calcul, discrétisation, principales techniques utilisées en milieu industriel, utilisation du logiciel Ansys Fluent pour résolution des équations de Navier-Stokes, modèles de turbulence, conditions aux limites.

Enfin, les deux dernières séances sont consacrées à la réalisation complète d'une étude numérique sous forme de mini-projet. Ce travail sera orienté vers la prédiction des transferts de chaleur et de masse.

Déroulement, organisation du cours

Cours et travaux dirigés

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu et mini-projet

Moyens

Equipe pédagogique : Sébastien Ducruix (CentraleSupélec, EM2C), Morgan Chabanon (CentraleSupélec, EM2C)
Logiciel commercial Fluent

3EN2240 – Simulation des procédés

Responsables : **Marie-Laurence Giorgi, Daniel Baquerisse**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de ce cours de simulation de procédé est de faire découvrir aux élèves les logiciels de simulation de procédé en réalisant un projet numérique avec l'un de ces logiciels. Ces logiciels comportent des modèles d'opérations unitaires, des bases de données et des méthodes thermodynamiques ainsi que des méthodes numériques. Le développement et le pilotage de la simulation sont réalisés à l'aide d'une Interface Homme-Machine. Ces logiciels permettent de simuler, de dimensionner et d'optimiser le fonctionnement d'un procédé. Ce cours s'appuie sur l'un des principaux logiciels commerciaux de simulation de procédé pour permettre aux élèves de tirer des enseignements génériques sur ce type de logiciels. Des projets numériques aux objectifs et difficultés variés sont proposés aux élèves pour permettre de découvrir plusieurs applications de ces logiciels et le partage d'expériences en fin de cours.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Cours de Sciences des transferts (SD9) et d'optimisation de l'utilisation des ressources (SD10)

Plan détaillé du cours (contenu)

Après une présentation des possibilités et des limites des logiciels de simulation (tant statique que dynamique) de procédé, les élèves sont amenés à prendre en main le logiciel de simulation statique à l'aide d'un exercice d'initiation au cours duquel ils se familiarisent avec l'interface Homme-Machine et quelques fonctionnalités avancées. Ensuite, chaque groupe de deux à trois élèves réalisera, à l'aide de ce logiciel, un projet concret qu'il aura choisi parmi un éventail de sujets industriels. Le projet sera réalisé en tenant compte des contraintes de bon fonctionnement du procédé, des contraintes économiques et des contraintes énergétiques. Finalement, le groupe aura à présenter son projet devant les enseignants responsables et devant le reste des élèves afin de permettre le partage d'expériences.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, travaux pratiques

Organisation de l'évaluation

Travail en classe, évaluation du projet et soutenance finale

Moyens

Equipe enseignante : Daniel Baquerisse, David Bideau et Pascal Ferrari (Orano), Reem Khazem (CentraleSupélec, LGPM)

Logiciel commercial : Aspen Plus

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- utiliser tout logiciel commercial de simulation de procédé dans le cadre de son stage ou du début de sa carrière,
- Définir ses attentes quant à la simulation de procédé,
- Modéliser un procédé,
- Développer un esprit critique sur les résultats obtenus par les logiciels de simulation de procédé,
- Communiquer de façon structurée.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Validation possible des compétences : **C1, C2, C6, C7** et **C8** (suivant le contenu des projets)

3EN2250 – Activités expérimentales

Responsables : **Hervé Duval**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce module est d'assurer un apprentissage des techniques expérimentales et des méthodes d'analyse ou de caractérisation du génie des procédés ou des matériaux.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Cours de la mention Ressources Energétiques

Plan détaillé du cours (contenu)

Chaque sujet durera 18 heures en présentiel, sera traité en binôme et sera en lien direct avec le travail d'un chercheur, pour illustrer sa démarche méthodologique, de la recherche bibliographique à la conception et à la réalisation des expériences.

Les sujets pourront être dans le domaine de l'extraction liquide-liquide, de la distillation, de la fermentation pour la production de biocarburants, de la pile à combustible, de la fragilisation par les métaux liquides ou de la fatigue thermomécanique.

Déroulement, organisation du cours

travaux pratiques

Organisation de l'évaluation

Travail en laboratoire pendant les trois jours et rapport final

Moyens

Equipe pédagogique : doctorants, enseignants-chercheurs et chercheurs des laboratoires LGPM, LMPS, SPMS et EM2C de CentraleSupélec

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C3. Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C9. Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3EN2260 – Méthodologie en géosciences

Responsables : **Marie-Laurence Giorgi**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours de méthodologie en géosciences s'articule autour de quatre études de cas :

- Etude de cas 1 : De nombreux systèmes énergétiques sont déployés dans le cadre de la transition énergétique et des objectifs du développement durable définis par l'ONU (ex : accès à l'eau, accès à l'énergie). Nous pouvons par exemple citer les systèmes de pompage d'eau alimentés par l'énergie photovoltaïque ainsi que les parcs éoliens. La performance et la soutenabilité de ces systèmes dépend fortement de leur localisation. Il est donc primordial d'identifier les zones où ces systèmes doivent être déployés en priorité et celles où d'autres systèmes doivent être privilégiés. Ces résultats sont notamment d'un grand intérêt pour les décideurs.seuses (ex : banque mondiale, ONU, gouvernements) et les entreprises. Ce cours présente les méthodes et sources de données utilisables pour étudier la performance spatiale des systèmes énergétiques. De plus, il détaille comment les résultats peuvent être présentés pour favoriser la prise de décision. L'approche théorique sera appliquée dans le cadre d'un mini-projet/TD (sous le logiciel Matlab) en lien avec le sujet de l'accès à l'eau en Afrique sub-Saharienne.

- Etude de cas 2 : Géothermie :

- Contexte de la géothermie haute température
- Exemples de projets actuels, potentiel de développement, avantages et inconvénients
- Cas d'application : Interprétation quantitative de données de tests d'injection de puits géothermiques haute température
- L'interprétation des données de tests d'injection permet d'identifier rapidement les zones réservoir les plus perméables, et d'évaluer le potentiel géothermique du réservoir

- Etude de cas 3 : Nouveaux gaz :

- Synthèse sur le développement des nouveaux gaz : gaz vert et hydrogène
- Développement du gaz vert : bilan et enjeux techniques
- L'hydrogène comme vecteur énergétique : illustrations de l'utilisation de l'hydrogène dans le cadre des énergies renouvelables
- Cas d'application : Problématique du stockage de l'hydrogène : impact sous-sol et effets de mélanges

- Etude de cas 4 : Tomographie sismique pour la conception des ouvrages nucléaires.

Prérequis

Cours de géosciences de la mention Ressources Energétiques

Connaissances de base en Matlab

Plan détaillé du cours (contenu)

Quatre études de cas décrites plus haut

Déroulement, organisation du cours

Les études de cas seront supervisées par les enseignants.

Organisation de l'évaluation

Contrôle écrit individuel

Moyens

Equipe enseignante : Simon Meunier (CentraleSupélec), Arnaud Lange (Storengy), Filippo Gatti (CentraleSupélec)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Manipulation de données cartographiées, utilisation de grands volumes de données, étude de la performance de systèmes énergétiques basés sur les énergies renouvelables, aide à la décision

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1, C2, C8

3EN2310 – Captage de CO2

Responsables : **Marie-Laurence Giorgi**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le premier objectif de ce cours est d'acquérir une connaissance générale de la gestion du CO2 d'origine anthropique dans un contexte de réduction des émissions de gaz à effet de serre (ceci afin de contenir la teneur en CO2 dans l'atmosphère à un niveau permettant d'atteindre les objectifs de l'accord de Paris).

Le second objectif est d'approfondir les aspects techniques et méthodologiques développés dans l'option « captage et stockage géologique du CO2 » et les conditions de son déploiement à une échelle industrielle. En complément des aspects techniques et économiques, les aspects sociétaux sont également abordés.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Les points abordés seront :

- La place des énergies fossiles dans un mix énergétique en transition et décarboné ;
- Le budget carbone et la gestion des émissions anthropiques de gaz à effet de serre ;
- Le rôle du captage et stockage géologique du dioxyde de carbone : sujets de recherche et d'innovation ;
- Les différentes voies de captage du CO2 (post-combustion, oxy-combustion, pré-combustion) ;
- Axes d'innovation du captage sur la base de recherches à caractère industriel
- La compression et le transport du CO2 (brève introduction sur les différents scénarios de transport) ;
- Le stockage géologique du CO2 : principe, état de l'art, règle de l'art et principaux projets industriels dans le monde ;
- Approche métiers du stockage sur la base d'exemples de projets à l'échelle industrielle illustrant les rôles respectifs de la modélisation et du monitoring des sites de stockage ;
- Quelques notions économiques et réglementaires ;
- Information du public et acceptabilité sociétale.

Déroulement, organisation du cours

Travail en projet

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est basée sur un travail de projet en équipe comprenant la présentation orale du projet, un rapport de 10 à 15 pages (maximum) et une note de participation individuelle. Le projet peut être proposé par l'équipe elle-même en concertation avec l'équipe enseignante. Le projet vise à envisager un scénario intégré de gestion du CO2 et doit couvrir la plupart des sujets de cours. Le projet peut être focalisé sur une zone géographique spécifique en tenant compte de ses propres spécificités ou peut aborder un objectif à grande échelle. Dans tous les cas, il doit prendre en compte les aspects techniques et économiques mais aussi les aspects sociétaux liés au déploiement de la technologie CSC.

Les présentations des projets sont effectuées en présence de tous les étudiants et feront chacune l'objet d'un

débat au sein de l'ensemble du groupe. En d'autres termes, l'évaluation vise tout d'abord à enrichir les échanges sur la gestion du CO2 plus qu'à donner une note. Il s'agit d'une étape pédagogique à part entière de ce cours.

Note : En cas de non-participation au projet, un examen sans document, d'une durée d'une heure, remplacera l'évaluation décrite ci-dessus.

Moyens

Equipe enseignante : Jean-Pierre Deflandre et Denis Bossanne (IFPEN)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Décrire les enjeux de la décarbonation du mix énergétique ;
- Proposer une démarche de mise en œuvre de la voie du captage et stockage géologique du CO2 pour un scénario donné ;
- Contribuer au débat sociétal entourant la réduction des émissions de dioxyde de carbone dans un contexte de mise en application de l'accord de Paris

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Possibilité de valider les compétences **C2** et **C7**

3EN2320 – Milieux poreux

Responsables : **Benoît Goyeau**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est d'étudier les phénomènes de transferts de chaleur et/ou d'espèce au sein des structures poreuses présentes dans un grand nombre d'applications environnementales (pollution des sols, ressources en eau, ...), industrielles (techniques de séparation, production d'hydrogène, isolation, élaboration des matériaux...) mais également dans le secteur de la santé (croissance osseuse, traitement du cancer,...).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Sciences des transferts (SD9)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction
- Etablissement des équations de conservation macroscopique par prise de moyenne volumique
- Convection laminaire forcée en milieu poreux
- Convection laminaire naturelle en milieu poreux
- Introduction aux transferts turbulents en milieu poreux
- Interfaces fluide/poreux

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral. Les exercices seront intégrés au cours.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit d'une durée de 2 heures si le nombre d'élèves est supérieur à 10. Dans le cas contraire, examen oral.

Moyens

Equipe pédagogique : Benoît Goyeau (CentraleSupélec, EM2C)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable d'identifier les mécanismes de base des transferts en milieu poreux, de les comprendre et d'en proposer des modélisations aux différentes échelles.

3EN2330 – Filière H2 et pile à combustible

Responsables : **Pierre Millet, Marie-Laurence Giorgi**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs du cours sont :

Présenter la problématique énergie

Faire quelques rappels généraux d'électrochimie (thermodynamique des chaînes galvanique et cinétique électrochimique)

Présenter de manière détaillée la filière hydrogène-énergie (aspects scientifiques et technologiques)

Présenter la problématique des carburants de synthèses et la chimie du CO₂

Décrire l'état de l'art et les perspectives en matière de procédés photo-électrochimiques

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Concepts de base de thermodynamique et d'électrochimie

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours 1 : Problématique énergie & procédés de transformation

Cours 2 : Thermodynamique des chaînes galvaniques

Cours 3 : Cinétique électrochimique

Cours 4 : Procédés de production d'hydrogène

Cours 5 : Procédés de purification d'hydrogène

Cours 6 : Procédés de stockage d'hydrogène

Cours 7 : Piles à combustibles. (I) principe

Cours 8 : Piles à combustibles. (II) technologie

Cours 9 : Perspectives (I) : carburants de synthèse

Cours 10 : Perspectives (II) : procédés photo-électrochimiques

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et travaux dirigés

Organisation de l'évaluation

Contrôle écrit individuel (1h30)

Support de cours, bibliographie

- J. O'M. Bockris, A.K.N. Reddy, Modern Electrochemistry, Plenum Rosetta, 1970
- C.H. Hamann, A. Hamnett, W. Vielstich, Electrochemistry, Wiley-VCH, 1998
- F. Barbir, PEM Fuel Cells, Elsevier, 2001
- G.A. Olah, A. Goeppert, G.K. Surya Prakash, Beyond Oil and Gas : the Methanol Economy, Wiley-VCH, 2009

Moyens

Equipe pédagogique : Pierre Millet (Université Paris-Saclay)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Relier la tension d'une cellule électrochimique à la variation d'enthalpie libre d'une réaction chimique
Exprimer la cinétique de transfert de charge en fonction de la densité de courant d'échange et des facteurs de symétrie
Connaître les principes et les caractéristiques technologiques de l'électrolyse de l'eau, de la perméation de l'hydrogène, de la formation d'hydrures métalliques, du fonctionnement des piles à combustible
Décrire les limitations des technologies actuelles et discuter des perspectives en termes de rendement, science des matériaux et procédés
Décrire le principe des procédés de fabrication de carburants de synthèse et celui des cellules photo-électrochimiques

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Possibilité de validation des compétences **C1** et **C2**

3EN2340 – Analyse de cycle de vie

Responsables : **Yann LEROY**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est une méthode incontournable de comptabilité des impacts environnementaux générés par un système (produit, procédé, services). Elle se définit par la caractérisation et la quantification des flux de matières et d'énergie entrants et sortants du système, et des impacts environnementaux potentiels sur l'ensemble de son cycle de vie. Cette approche standardisée se caractérise par une évaluation :

- quantifiée des flux et des impacts environnementaux,
- multicritère intégrant différents impacts et/ou dommages environnementaux (contribution au réchauffement climatique, consommation de ressources biotiques et abiotiques, eutrophisation, contribution à la dégradation de la couche d'ozone...)
- sur l'ensemble du cycle de vie considérant l'extraction des matières premières, la production, la distribution, la phase d'usage et les cycles de vie additionnels des consommables et la gestion de fin de vie du système.

L'ACV est aujourd'hui largement déployée et nourrit divers processus tel que l'éco-conception, la communication environnementale (labellisation notamment), les décisions d'investissement ou de choix technologiques, l'orientation et la définition des nouvelles réglementations et normes.

Le cours ACV/Eco-conception vise à introduire les concepts d'analyse de cycle de vie et ses applications. Le cours s'appuiera sur la réalisation d'une analyse de cycle de vie d'un système.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et travaux dirigés par petits groupes

Organisation de l'évaluation

Les cours sera évalué sur la base d'une présentation et d'un rapport de synthèse de l'Analyse de Cycle de Vie réalisée.

Moyens

Le cours alterne cours magistraux et travaux dirigés. Ces derniers porteront sur la réalisation d'une Analyse de Cycle de Vie d'un système en petits groupes d'élèves et ce à l'aide d'un logiciel ACV et des bases de données associées.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Savoir décrire et modéliser le cycle de vie d'un système
- Savoir dimensionner et mettre en œuvre une analyse de cycle de vie selon la norme ISO 14040
- Modéliser et simuler la performance environnementale d'un système à l'aide d'un logiciel d'ACV et des bases de données d'inventaire associées.
- Comprendre les résultats de simulations et formuler des recommandations.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C1.1 Analyser : étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc.

C1.2 Modéliser : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes

C1.3 Résoudre : résoudre un problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C2 Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C2.1 Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

C7 Savoir convaincre

C7.1 Sur le fond : Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

C9 Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

C9.2 Analyser et anticiper les conséquences possibles des organisations et modèles économiques des structures auxquelles on contribue

3EN2360 – Smart grid

Responsables : **Marc Petit**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les systèmes électriques poursuivent leur évolution pour contribuer à la transition énergétique, en particulier pour faciliter (i) l'intégration des sources d'énergies renouvelables, et (ii) le développement de la mobilité électrique, le tout dans un contexte de libéralisation du secteur.

Ces évolutions conduisent à exploiter les infrastructures physiques au plus proche de leurs limites physiques sans remettre en cause la sûreté du système.

Ces évolutions impactent en premier lieu les réseaux de distribution puisqu'une grande majorité des installations de production distribuées sont connectées sur les réseaux moyenne tension (parcs éoliens et fermes solaires au sol) et basse tension (installations solaires en toiture).

Les impacts de ces évolutions se font sentir à l'échelle du système global (problématiques de gestion de l'équilibre offre-demande du fait d'une production plus variable, ou de pointes de consommation) et à l'échelle plus locale avec des problèmes de chutes ou montées de tension (réseaux de distribution), et de congestions d'ouvrages (réseaux de transport et distribution)

Les opérateurs de réseau doivent donc, en lien avec les différents acteurs, exploiter l'ensemble des flexibilités disponibles pour assurer la sûreté d'exploitation du système dans le respect des règles techniques et dans un cadre réglementaire donné. Ces flexibilités concernent le pilotage des équipements qui servent à la gestion du réseau, mais aussi le pilotage de la demande par l'intermédiaires d'opérateurs d'agrégation, ou l'utilisation de systèmes de stockage (batteries stationnaires, volants d'inertie, batteries de véhicules électriques, ...). Pour exploiter les flexibilités des ressources distribuées, il s'agit de s'appuyer sur des systèmes de mesures (compteurs intelligents) et de contrôle-commande évolués.

Ce cours adopte la structure suivante :

- analyse des réseaux de distribution, au cœur des smart grids
- flexibilité des usages électriques et possibilités de pilotage
- gestion et valorisation des flexibilités par un agrégateur
- le cas particulier de la mobilité électrique
- les microgrids

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Une connaissance du fonctionnement des systèmes électriques est un plus (même si quelques rappels sont donnés)

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours adopte la structure suivante :

- analyse des réseaux de distribution, au cœur des smart grids
- flexibilité des usages électriques et possibilités de pilotage
- gestion et valorisation des flexibilités par un agrégateur
- le cas particulier de la mobilité électrique
- microgrids

Déroulement, organisation du cours

Enseignement de types conférences avec supports numériques

Organisation de l'évaluation

QCM et questions à réponses courtes

Support de cours, bibliographie

site web de la commission de régulation de l'énergie : <http://www.smartgrids-cre.fr/>
rapports de l'Ademe : "SYSTÈMES ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS LE SOUTIEN DE L'ADEME À L'INNOVATION DEPUIS 2010"
<https://www.ademe.fr/systemes-electriques-intelligents-soutien-lademe-a-linnovation-depuis-2010>
association Thinksmartgrids : <https://www.thinksmartgrids.fr/>

Moyens

Conférences avec supports, illustrations

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre les enjeux des smart grids dans le cadre de la transition énergétique
Donner des exemples concrets relatifs aux smart grids, sous un angle technique et économique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin de cet enseignement, l'élève connaîtra de manière plus concrète les déterminants des smart grids, et les solutions techniques, au-delà de quelques mots clés. L'élève appréhendera aussi la dimension économique de cette évolution des réseaux électriques. Connaissance des leviers de flexibilités pour la gestion du système électrique, ainsi que de quelques modalités de valorisation de ces flexibilités

C1.1 (milestone 3) Analyser le comportement global d'un système complexe (multi-agents, multi-échelles, etc.), avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc.,

C2.3 (milestone 3) Intégrer, consolider les nouvelles compétences acquises au sein d'un corpus de connaissances

3EN2370 – Turbomachines

Responsables : **Alexis GIAUQUE, Aymeric Vie**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise deux objectifs principaux.

Le premier est de fournir au futur ingénieur en énergétique/aéronautique les outils théoriques principaux permettant la compréhension des écoulements dans les turbomachines. Le second est de lui permettre de mettre en œuvre ces principes à travers une activité pratique de pré-dimensionnement d'un compresseur.

Quatre idées et principes clés pour la compréhension des écoulements dans les turbomachines structurent ce cours. Ces notions représentent des paliers dans la compréhension de ce type d'écoulement. Chacun peut être franchi de manière séquentielle et assure ainsi au futur ingénieur d'avancer toujours plus avant dans sa maîtrise du sujet.

Ces notions sont les suivantes :

- Vues méridienne et aube-à-aube. Ces vues sont intrinsèquement liées aux écoulements dans les turbomachines. Si la vue méridienne est associée à la conservation de la masse, la vue aube-à-aube permet quant à elle d'envisager les échanges d'énergie au sein du fluide.
- Triangle des vitesses. Dessiné dans la vue aube-à-aube, il permet de représenter directement les changements de direction du fluide sous l'effet du passage au travers du rotor et du stator. Comme nous le verrons, il s'agit d'un outil puissant d'analyse de ce type d'écoulements.
- Théorème d'Euler des turbomachines. Il s'agit du théorème fondamental permettant de relier les échanges d'énergie à l'aérodynamique dans les turbomachines.
- Equilibre radial. Les points précédents permettent d'analyser en détail l'écoulement au niveau du rayon moyen. L'équation de l'équilibre radial permet d'étendre cette analyse du pied à la tête de l'aubage.

Ces notions seront présentées en détail dans ce cours. Nous reviendrons également sur celles de rendement, de pertes et de similitude également très utiles à l'ingénieur. Ces idées et principes seront mis en œuvre au sein d'un bureau d'étude de pré-dimensionnement d'un compresseur axial. Au cours de ce bureau d'étude, les travaux seront menés sur Matlab, par groupe de 2 élèves afin de permettre une meilleure acquisition des compétences associées au dessin préliminaire dans le respect d'un cahier des charges réaliste. Les élèves devront rendre un rapport de conception évalué à l'issu du cours. Pour permettre aux futurs ingénieurs de s'assurer de leur progression, des quizz seront proposés au début des séances. Par ailleurs, en fin de séance un temps sera réservé à un échange informel entre les étudiants et l'enseignant sous forme de questions/réponses.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1 - Introduction - Thermodynamique

- Introduction : un peu d'histoire, les turbomachines aujourd'hui et dans un futur proche
- Flux compressibles : Un cours accéléré de remise à niveau, Les relations de flux isentropiques
- Quantités sans dimension et lois de similitude : Nombres sans dimension, lois de similitude
- Thermodynamique : Energies, travail effectif, Énergie cinétique / travail des forces internes, Énergie interne / dissipation mécanique, Entropie / équation de Gibbs

2 - Aéro-Thermodynamique 0D-2D

- Vues et surfaces d'analyse : Vues méridienne et aube-à-aube

- Thermodynamique : Variables relatives totales/stagnation
- Transformations : Types de transformation, Représentation de la transformation, Évolution des principales variables lors de la compression/expansion
- Efficacité : efficacité isentropique, exposant polytropique, efficacité polytropique, lien entre efficacité polytropique et isentropique, efficacité polytropique et aérodynamique

3 - Aéro-Thermodynamique 2D - Pertes

- Théorème d'Euler pour les turbomachines : Dérivation simple, Dérivation formelle, Rothalpie / Enthalpie relative totale
- Triangles de vitesse : Compresseurs, Turbines
- Caractéristiques de fonctionnement des turbines
- Pertes dans les compresseurs axiaux : Introduction, Pertes de profil, Effet de l'angle d'incidence, Autres types de pertes

4 - Aéro-énergétique 3D

- Équilibre radial : Dérivation simple, Dérivation formelle, Interprétation physique, Application
- Caractéristiques des turbomachines axiales : Caractéristiques des compresseurs axiaux
- Instabilités dans les compresseurs : Limite de stabilité, Décrochage, Surtension, Flottement
- Instabilités - Cas pratique : Détection d'anomalies

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et bureau d'études

Organisation de l'évaluation

Rapport de conception d'un étage de compresseur noté.
Examen de connaissances sous la forme d'un QROC (30 mins) en début de séance 4.

Moyens

Equipe enseignante : Alexis Giauque (Ecole Centrale Lyon)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :
- Comprendre l'organisation des écoulements dans les turbomachines.
 - Comprendre et analyser les instabilités dans les turbomachines.
 - Analyser le dimensionnement des aubes de turbomachines.
 - Réaliser le design préliminaire d'un compresseur.

3EN2380 – Stockage d'énergie

Responsables : **Marc Petit**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présentera les enjeux techno-économiques du stockage et les technologies associées aux trois vecteurs énergétiques (électricité, gaz et chaleur). Des cas d'usage seront présentés. Le stockage est au cœur de l'évolution des réseaux énergétiques dans le contexte d'une plus grande intégration de sources renouvelables, et avec un couplage plus fort des vecteurs énergétiques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le contenu du cours est le suivant :

- stockage électrochimique (batteries et H₂)
- intégration du stockage dans les réseaux électriques
- stockage de gaz
- stockage de chaleur/froid

Déroulement, organisation du cours

Conférences + cas d'applications

Organisation de l'évaluation

QCM + questions à réponses courtes

Support de cours, bibliographie

rapport de l'IRENA, "Electricity storage and renewables: costs and markets to 2030", <https://www.irena.org/costs/Electricity-Storage>

"Le stockage électrique : un défi pour la transition énergétique", EDF, Ed. Lavoisier

Moyens

Conférences avec supports numériques, illustrations avec cas d'usages

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Connaissance scientifique et technico-économique des principales technologies de stockage.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Être capable d'identifier les solutions de stockage adaptées à un problème/situation donné(e). Connaître les facteurs dimensionnants d'un système de stockage et ses modes de valorisation

C1.1 (jalon 3) : Analyser le comportement global d'un système complexe avec ses dimensions scientifiques, économiques, ...

C4.1 (jalon 3) : Définir des critères de choix de solutions en tenant compte de l'ensemble des paramètres identifiés

3EN2390 – Ingénierie thermohydraulique nucléaire

Responsables : **Marie-Laurence Giorgi**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Animé par deux ingénieurs de Framatome, ce cours présente le métier d'ingénieur d'études à partir de l'exemple de la thermohydraulique nucléaire. Peu d'équations sont présentées mais beaucoup de questions concrètes auxquelles un jeune ingénieur est confronté sont abordées : analyse physique, dimensionnement de systèmes, questions de sûreté, regard critique sur des résultats de codes de calcul, ...

L'objectif est d'inciter les étudiants à se questionner en continu sur la raison d'être de leurs choix techniques et à faire des "raisonnements d'ingénieurs", concrets et appliqués, mais rigoureux.

L'enseignement est largement interactif avec de nombreux exercices. Le contrôle final est une mise en situation, professionnelle, autour d'un problème industriel, à résoudre en équipe, en prenant en compte plusieurs contraintes techniques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Sciences des transferts

Plan détaillé du cours (contenu)

Déroulement, organisation du cours

Le cours sera divisé en séances de 3 h, dispensées par deux ingénieurs de Framatome (Victor Pépin et JérémY Guernonprez)

Organisation de l'évaluation

Une évaluation finale sous forme d'oral clôturera le cours.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Fonctionnement général d'une unité de production d'énergie nucléaire

Physique des réacteurs à eau pressurisée (REP)

Technologie des REP

Conduite d'un REP

Sûreté nucléaire et études d'accidents

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1, C2, C7

3EN2500 – Projet ENE RE

Responsables : **Marie-Laurence Giorgi**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) :

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet de synthèse est un travail effectué en binôme entre la mi-octobre et la fin avril. Le sujet de projet à caractère académique (activité de recherche proposée par un laboratoire) ou industriel (proposé par un de nos partenaires industriels) a pour objectif de s'immerger dans un sujet complexe d'ingénieur ou de chercheur. L'objectif est de mettre en œuvre les notions techniques et théoriques acquises pendant l'année pour résoudre un problème concret. Les notions techniques et théoriques peuvent être par exemple les différents modes de transfert de masse et de chaleur, la mécanique des fluides, les écoulements, le génie des procédés, les réacteurs, la science et le génie des matériaux, les géosciences. Les étudiants peuvent développer des outils, analyses théoriques, modélisation, simulations et/ou travaux expérimentaux (en dépassant, le stade de l'analyse documentaire, préalable indispensable mais insuffisant).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10, SG11

Prérequis

Cours de la mention Ressources Énergétiques

Organisation de l'évaluation

Un pré-rapport, une soutenance intermédiaire, un rapport final et une soutenance finale

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Possibilité de valider **C1, C2, C3, C4, C7, C8** et **C9** suivant les sujets

3EN3010 – Réseaux électriques

Responsables : **Trung-Dung Le, Martin Hennebel, Marc Petit**

Département de rattachement : **MENTION RÉSEAUX D'ÉNERGIE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **36,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

En constante évolution depuis plus de 100 ans, les réseaux électriques sont loin d'être figés : ils se développent pour répondre à une demande sans cesse croissante, se transforment peu à peu en un marché concurrentiel, s'adaptent à des contraintes environnementales nouvelles,...

C'est ainsi que des lignes de distribution sont enfouies, mais aussi que des moyens de production décentralisés y sont connectés : éoliennes, panneaux photovoltaïques, cogénération,...

Si les réseaux d'énergie se développent, les charges qu'ils alimentent se sont aussi beaucoup diversifiées au cours des dernières années. En particulier, le nombre croissant de charges non linéaires (comprenant des composants d'électronique de puissance) n'est pas sans répercussion sur le fonctionnement du réseau. Tout réseau d'énergie peut être perturbé par ces charges contraignantes, mais aussi par des incidents (foudre, courts circuits, ...) qu'il convient toujours de détecter et de parer. La maîtrise des régimes de fonctionnement perturbé et la conception de systèmes de protection rapides, sûrs et sélectifs contribuent à augmenter à la fois la fiabilité des réseaux d'énergie et la qualité du produit électricité. Ces objectifs passent aujourd'hui par le développement et l'application de techniques très variées liées bien sûr au génie électrique, mais aussi à la modélisation des systèmes, à la simulation numérique, au traitement du signal, etc.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Principalement en électrotechnique :

- Représentation dans le plan complexe des signaux électriques sinusoïdaux, diagramme de Fresnel.
- Puissances active, réactive et apparente. Systèmes électriques triphasés.
- Composition et fonctionnement des transformateurs électriques
- Fonctionnement de la machine synchrone en alternateur
- Électronique de puissance : composition et fonctionnement d'un onduleur

Mathématiques appliquées : méthode de Newton Raphson, calcul matriciel. Utilisation de Matlab et/ou Python

Plan détaillé du cours (contenu)

Transits de puissances (puissances en régime alternatif triphasé, modélisation des lignes, câbles et transformateurs, modélisation du graphe, résolution numérique du modèle)

Réglage de tension (impacts des flux de puissance réactive sur la tension, compensation statique, capacité des machines synchrones, écroulements de tension)

Réglage de fréquence (relation puissances-fréquence, équilibre production consommation, boucle de réglage, écroulement de fréquence)

Perturbations (courts circuits, harmoniques)

Stabilité dynamique (comportement d'un générateur en court-circuit, temps d'élimination d'un défaut, perte de synchronisme)

Protections

Organisation de l'évaluation

Examen écrit.

Moyens

Cours Magistraux
Séances de Bureau d'Étude avec étude de cas
Outils de simulation numérique : Matpower, Jpélec, Matlab-Simulink

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Organisation et l'architecture d'un système électrique
Répartition des flux : modèles des composants d'un réseau,
Calculer la répartition des flux de puissances dans un réseau maillé.
Calcul de tensions dans un réseau maillé
Calcul de variations de fréquence, et des réponses des réglages primaires et secondaire.
Calcul de courants de défaut.
Calcul de composantes harmoniques
Calcul de temps critique d'élimination de défaut.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

3EN3020 – Réseaux de fluides énergétiques

Responsables : **Marc Petit**

Département de rattachement : **MENTION RÉSEAUX D'ÉNERGIE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à élargir la connaissance des réseaux d'énergie, en complément des réseaux électriques. Pour cela seront abordés les réseaux de gaz et les réseaux de chaleur. Ces trois infrastructures ont vocation à être de plus en plus interconnectées pour venir en soutien l'une de l'autre. On trouve aux interfaces les centrales de production d'électricité au gaz, les centrales de cogénération (chaleur et électricité) ou tri-génération (chaleur, froid et électricité), ou les systèmes *power-to-gas*. L'objectif global est d'expliquer les architectures et modes d'exploitation de ces réseaux, en comparaison avec les réseaux électriques afin d'être en mesure de cerner les contraintes à prendre en compte dans les couplages.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Sciences des transferts thermiques et mécanique des fluides

Plan détaillé du cours (contenu)

Réseaux de gaz : présentation des systèmes gaziers (cartographie des ressources, consommations et usages du gaz naturel, nouveaux gaz). Puis des éléments des marchés gaziers.

Présentation des réseaux de transport et de distribution de gaz, avec un accent mis sur les lois physiques et les constantes de temps associées qui régissent l'exploitation et la conduite ; méthodes d'exploitation et conduite

Réseaux de chaleur/froid : définition d'un réseau de chaleur avec ces éléments essentiels (centrales de production de chaleur, canalisation de transport et points de livraison des clients) et architecture de ces réseaux. Ensuite, le réglage des réseaux au travers des grandeurs importantes (pression, température, débit) est explicité. Les critères de dimensionnement des pompes et centrales de production seront abordés, ainsi que la question des pertes. Une étude de cas sert d'illustration

Déroulement, organisation du cours

Conférences et cas d'application

Organisation de l'évaluation

Questions de cours et exercices

Moyens

Conférences et exemples d'application

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Architecture et fonctionnement des réseaux de gaz et de chaleur

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Savoir dimensionner un réseau de gaz et chaleur
Méthodes pour la conduite des réseaux de gaz et chaleur

C1.1 (jalon 3) : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2.3 (jalon 3) : Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

3EN3030 – Economie des réseaux

Responsables : **Marc Petit, Yannick PEREZ**

Département de rattachement : **MENTION RÉSEAUX D'ÉNERGIE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à présenter la structuration des marchés électriques dans un secteur qui est passé d'une structure monopolistique (un seul acteur pour la production, le transport, la distribution, et la fourniture) à une structure libéralisée avec des activités concurrentielle (la production et la fourniture) et des activités en monopole (la gestion des réseaux électriques). L'organisation des marchés électriques vise à permettre le respect fondamental de l'équilibre instantané entre l'offre et la demande qui est nécessaire pour garantir la sûreté du système. Ce cours traitera aussi des marchés du gaz

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Éléments de base sur le fonctionnement des réseaux électriques

Plan détaillé du cours (contenu)

Contenu du cours :

- rappel d'économie
- régulation du secteur électrique
- séquençement des marchés, marchés de gros
- mécanisme d'ajustement
- tarification et investissements dans les réseaux électriques
- régulation et marchés du gaz

Déroulement, organisation du cours

Conférences et cas d'application

Organisation de l'évaluation

Examen écrit

Support de cours, bibliographie

Énergie, Économie et politiques

[Jean-Pierre Hansen](#), [Jacques Percebois](#)

Avant-propos de : [Jean Tirole](#)

Avec la collaboration de : [Alain Janssens](#)

Préface de : [Marcel Boiteux](#)

3e Édition | Mai 2019 | 752 pages

Moyens

Conférences

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Maîtriser la structure des marchés électriques et leurs liens avec le comportement physique du système.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Être capable de comprendre et interpréter une réglementation liée aux marchés électriques

Être capable de valoriser un moyen de production (ou de stockage) sur les marchés électriques

Être capable de comprendre la construction d'une stratégie d'achat d'énergie électrique.

Compétences **C1**, **C2**, **C3**, **C4**

3EN3040 – Méthodes numériques

Responsables : **Philippe Dessante**

Département de rattachement : **MENTION RÉSEAUX D'ÉNERGIE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Introductions et compléments au calcul scientifique : modélisation et optimisation des systèmes d'énergies électriques.

Le cours est décomposé en deux parties, optimisation et méthodes de résolution des équations aux dérivées partielles.

La partie optimisation comprendra la construction des modèles pour l'optimisation, optimisation stochastique, optimisation sous contraintes, optimisation multi objectifs, l'estimation de paramètres.

La seconde partie sur le traitement et la résolution des équations aux dérivées partielles portera sur les méthodes des différences finies et éléments finis en statique et temporel.

Deux séances pratiques complèteront chaque partie : optimisation du placement de batteries sur un réseau de distribution ; modélisation éléments finis d'une machine électrique.

Domaines d'application : tous les domaines liés aux systèmes d'énergie électrique

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

S1 (3H) : Modèles pour l'optimisation

S2 (3H) : Optimisation stochastique

S3 (3H) : Optimisation multiobjectifs

S4 (3H) : Optimisation sous contraintes + Estimation de paramètres

S5 (3H) : Différences finies

S6 (3H) : Eléments finis

S7 (3H) : Optimisation du placement de batteries sur un réseau de distribution

S8 (3H) : Utilisation d'un logiciel de simulation pour la modélisation par éléments finis d'une machine électrique.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, TD, travail personnel sur projet

Organisation de l'évaluation

Examen écrit/Soutenance de projet / synthèse des TDs

Moyens

Cours magistraux, TD, travail personnel sur projet

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de l'enseignement, l'élève sera capable de :

Comprendre et mettre en place le traitement d'un problème d'optimisation.

Utiliser les méthodes les plus appropriées pour un problème donné.

Implémenter sur calculateur la résolution.

Avoir une bonne connaissance des problèmes des équations aux dérivées partielles, notamment leur résolution par différence finis. Compréhension du fonctionnement d'un logiciel de calcul par éléments finis. Maitriser les critères de stabilité des schémas de discrétisation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin de l'enseignement, l'élève sera capable de :

Comprendre et mettre en place le traitement d'un problème d'optimisation.

Utiliser les méthodes les plus appropriées pour un problème donné.

Implémenter sur calculateur la résolution.

Avoir une bonne connaissance des problèmes des équations aux dérivées partielles, notamment leur résolution par différence finis. Compréhension du fonctionnement d'un logiciel de calcul par éléments finis. Maitriser les critères de stabilité des schémas de discrétisation.

3EN3050 – Conférences et visites ENE PEG

Responsables : **Marc Petit**

Département de rattachement : **MENTION RÉSEAUX D'ÉNERGIE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans le cadre de la Dominante/Mention, des visites de sites sont programmées avec les partenaires de la mention.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Organisation de l'évaluation

Rédaction d'une note de recul individuelle

3EN3110 – Super grids et réseau à faible inertie

Responsables : **Trung-Dung Le**

Département de rattachement : **MENTION RÉSEAUX D'ÉNERGIE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les réseaux électriques à courant alternatif (AC) ont pris le dessus sur ceux à courant continu (DC) depuis la bataille des courants de la fin XIX^{ème} siècle. Mais ces derniers n'ont jamais totalement disparu et sont même de plus en plus plébiscités pour de multiples applications en haute tension (HVDC). C'est le cas notamment du transport de grande puissance sur de longues distances et le raccordement de parcs éoliens offshore. La solution HVDC s'affranchit des contraintes techniques de l'AC et permet une meilleure commande des flux de puissance.

La plupart des réseaux HVDC actuellement existants sont point-à-point. Mais dans le futur, ils pourront s'interconnecter entre eux pour former un réseau maillé à l'échelle continentale, souvent appelé supergrid. La gestion d'un tel réseau coexistant avec le réseau AC historique pose de nombreux défis, notamment la commande de système à faible inertie. En effet, cette dernière, traditionnellement fournie par les alternateurs synchrones, se réduit avec l'augmentation de la part de convertisseurs qui interfacent les sources d'énergies renouvelables avec le réseau.

Ce cours a pour l'objectif de se familiariser avec les réseaux HVDC, depuis la structure des stations de conversion jusqu'à la commande des réseaux et leur protection.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Electrotechnique, électronique de puissance réseaux électriques à courant alternatif :

- Représentation dans le plan complexe des signaux électriques sinusoïdaux, diagramme de Fresnel.
 - Puissances active, réactive et apparente. Systèmes électriques triphasés. Transformation de Park.
 - Composition et fonctionnement des transformateurs électriques
 - Fonctionnement de la machine synchrone en alternateur
 - Électronique de puissance : composition et fonctionnement d'un convertisseur
 - Réseaux électriques : loadflow, réglage de tension et de fréquence
- Mathématiques appliquées : méthode de Newton Raphson, calcul matriciel. Utilisation de Matlab et/ou Python

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 (3h) : L. Quéval (CentraleSupélec)

Introduction, guerre des courants, historique des réseaux à courant continu, types de valves (vapeur de mercure, thyristor, IGBT), vocabulaire, topologies de réseaux HVDC

Séance 2 (3h) : L. Quéval (CentraleSupélec)

Éléments d'une station de conversion HVDC-LCC, éléments d'une station de convertisseur HVDC-VSC (2-level VSC, MMC), comparaison HVDC-LCC et HVDC VSC, vers un supergrid ?

Séance 3 (3h) : T.D. Le (CentraleSupélec)

Défauts sur les réseaux HVDC, comportement des réseaux DC (convertisseurs de puissance, lignes) en cas de défaut DC, disjoncteurs DC

Séance 4 (3h) : T.D. Le (CentraleSupélec)
Stratégies et algorithmes de protection DC, simulation de défauts

Séance 5 (1,5h) : J. Dai (CentraleSupélec)
Commande réseaux HVDC, interaction of réseau HVAC, contribution des convertisseurs aux services système AC

Séance 6 (3h) : intervenant extérieur
Energie renouvelable et réseaux à faible inertie

Séance 7 (1h30) : Examen écrit

Organisation de l'évaluation

Examen écrit

Moyens

Cours magistraux
Séances de bureau d'étude avec étude de cas
Outils de simulation numérique : Matlab-Simulink, EMTP-RV

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Savoir effectuer une étude coût-bénéfice
Maîtriser la commande de convertisseurs à source de tension (VSC) dont les convertisseurs modulaires multi-niveau (MMC).
Maîtriser les lois de commande des réseaux DC, et leur interaction avec les réseaux AC
Maîtriser les solutions de protection des réseaux HVDC

3EN3120 – Stockage d'énergie

Responsables : **Marc Petit**

Département de rattachement : **MENTION RÉSEAUX D'ÉNERGIE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présentera les enjeux techno-économiques du stockage et les technologies associées à deux vecteurs énergétiques (électricité, gaz). Des cas d'usage seront présentés. Le stockage est au cœur de l'évolution des réseaux énergétiques dans le contexte d'une plus grande intégration de sources renouvelables, et avec un couplage plus fort des vecteurs énergétiques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le contenu du cours est le suivant :

- stockage électrochimique (batterie et H2)
- intégration du stockage dans les réseaux électriques, valorisation
- stockage de gaz
- valorisation d'une batterie stationnaire pour un service au système électrique

Déroulement, organisation du cours

Conférences + cas d'applications

Organisation de l'évaluation

QCM + exercice

Support de cours, bibliographie

rapport de l'IRENA, "Electricity storage and renewables: costs and markets to 2030", <https://www.irena.org/costs/Electricity-Storage>

"Le stockage électrique : un défi pour la transition énergétique", EDF, Ed. Lavoisier

Moyens

Conférences avec supports numériques, cas d'usages

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Connaissance scientifique et technico-économique des principales technologies de stockage

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Être capable d'identifier les solutions de stockage adaptées à un problème/situation donné(e). Connaître les facteurs dimensionnants d'un système de stockage.

Compétences **C1** et **C2**

3EN3130 – Commande des convertisseurs

Responsables : **Jing Dai**

Département de rattachement : **MENTION RÉSEAUX D'ÉNERGIE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours porte sur les convertisseurs d'électronique de puissance, qui interfacent les réseaux AC et DC ou raccordent des générateurs à sources d'énergie renouvelables aux réseaux AC. Des notions de base en automatique seront rappelées, qui seront utilisées ensuite dans la modélisation des convertisseurs de source de tension. Pour la commande de ceux derniers, seront abordées la commande classique « grid-following » et la nouvelle approche « grid-forming » indispensable pour un réseau à faible inertie.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Module de Commande des Systèmes Dynamiques (cours promotion complète de ST5)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Rappel de notions en automatique
- Modélisation des convertisseurs d'électronique de puissance
- Commande PI
- Commande Linéaire quadratique

Déroulement, organisation du cours

Cours et Travaux dirigés avec des applications issues du domaine de l'énergie et des réseaux électriques

Organisation de l'évaluation

Compte-rendu des TDs, 100%

Support de cours, bibliographie

Khalil, H.K., "Nonlinear Systems", 3ème édition, Pearson Higher Education, 2002.

Kailath, T., "Linear Systems", Ed. Prentice Hall, 1980.

Friedland, B., "Control System Design", Ed. Mc Graw-Hill, 1986.

de Larminat, Ph., "Commande des Systèmes Linéaires", Ed. Hermès, 1993.

Soderstrom, T., et Stoica, P., "System Identification", Prentice Hall, 1989.

Ljung, L., "System Identification – theory for the user", 2nd ed, PTR Prentice Hall, 1999.

Moyens

Equipe d'enseignants-chercheurs des Départements Automatique et Energie.

Maquettes disponibles aux Départements Automatique et Energie.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Modélisation et commande de convertisseurs d'électronique de puissance, commande PI, commande linéaire quadratique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le module permettra d'approfondir les compétences suivantes

- **C1.3** Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation
- **C1.4** Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe
- **C2.1** Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

3EN3140 – Réseaux embarqués

Responsables : **Marc Petit**

Département de rattachement : **MENTION RÉSEAUX D'ÉNERGIE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours aborde le sujet des infrastructures électriques dans les systèmes embarqués : aviation, automobile, marine.

L'électrification croissante dans ces systèmes embarqués amène à la conception de réseaux embarqués avec des contraintes fortes de disponibilité et dimensionnement.

Malgré une nature différente par rapport aux réseaux électriques terrestres, on retrouve des problématiques d'équilibre offre-demande, de chute de tension, de congestion, et de perturbations.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Bases d'électrotechniques

Plan détaillé du cours (contenu)

Avionique :

- introduction à l'électrification dans l'aviation
- structure des réseaux d'énergie dans un avion
- éléments de dimensionnement, comportement

Automobile :

- introduction à l'électrification dans l'automobile
- structure du réseau électrique dans une voiture
- éléments de dimensionnement, comportement

Marine :

- introduction à l'électrification dans la marine
- structure du réseau électrique dans un voiture
- éléments de dimensionnement, comportement

Déroulement, organisation du cours

Conférences et cas d'usage

Organisation de l'évaluation

Examen écrit (questions de cours et exercices)

Moyens

Conférences et études de cas

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Être en mesure de travailler sur un projet de dimensionnement d'une réseau embarqués

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Connaissance des éléments clés d'un dimensionnement
Compétences **C1** et **C2**

3EN3500 – Projet ENE PEG

Responsables : **Marc Petit, Martin Hennebel**

Département de rattachement : **MENTION RÉSEAUX D'ÉNERGIE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) :

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce projet est mené en parallèle avec les cours lors des séquences 9, 10 et 11.

Ce projet est réalisé en binôme ou trinôme, et vise à confronter les étudiants à une problématique d'ingénierie et/ou de recherche.

Les étapes du projet s'articulent autour de :

- une phase de bibliographie et analyse de l'état de l'art ;
- une phase de modélisation ou de conception ;
- une phase de simulation ou d'étude expérimentale ;
- une phase d'analyse des résultats (issus de simulations ou de mesures) .

Un rapport intermédiaire est attendu pour fin décembre, puis un rapport final début avril. Une soutenance orale est organisée la dernière semaine de cours (avant le départ en stage).

Des points d'avancement sont programmés régulièrement avec les encadrants du projet.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10, SG11

Prérequis

Bases en ingénierie électrique et énergétique ainsi qu'en automatique et optimisation. Langage de programmation Python ou Matlab.

Organisation de l'évaluation

Suivi pédagogique + rapport + soutenance :

Maîtrise du sujet,

Implication dans le projet,

Qualité des rapports,

Qualité des supports de présentation.

Moyens

Outils de modélisation et simulation, maquettes expérimentales.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Poser et formaliser un problème scientifique.

Réaliser une analyse des travaux antérieurs sur le sujet (état de l'art).

Construire une modélisation pour étudier un système, définir les hypothèses retenues.

Faire une analyse critique des résultats.

Faire une présentation claire (support ppt + exposé oral) du projet étudié.

Rédiger un rapport clair qui permet au lecteur de suivre la démarche scientifique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1** : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C2** : Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers.
- C3** : Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique.
- C4** : Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients.
- C7** : Savoir Convaincre.
- C8** : Mener un projet, une équipe

3EN4010 – Sciences numériques

Responsables : **Aymeric Vie, Anouar Soufiani**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Introduction au calcul scientifique ; équations de la mécanique des fluides avec transferts de chaleur ; classification des équations ; discrétisations en temps, problèmes de stabilité et de convergence. Différences et volumes finis : outils d'analyse de stabilité linéaire ; stabilité des schémas de discrétisation des termes de convection ; problèmes paraboliques à plusieurs dimensions (stabilité des méthodes explicites, méthodes ADI); problèmes elliptiques à plusieurs dimensions (méthodes itératives, méthodes ADI) ; notions sur les problèmes hyperboliques. Traitement des non-linéarités (méthodes itératives, méthode de Newton, méthode de Briley- McDonald). Traitement de la pression : fonction de courant et vorticité, méthodes itératives en variables primitives. Domaines d'application : tous les domaines où existent des problèmes liés au transferts thermiques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Pas de prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 (3H) : Nature des équations à résoudre et classification, implications numériques
Séance 2 (3H) : Introduction à différentes classes de méthodes numériques
Séance 3 (3H) : Techniques d'analyse de stabilité linéaire et premières applications
Séance 4 (3H) : Équations paraboliques à plusieurs dimensions d'espace
Séance 5 (3H) : Équations elliptiques, équations non-linéaires
Séance 6 (3H) : Algorithmes pour les équations de Navier-Stokes en incompressible
Séances 7 et 8 (6H) : Projet final

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, TD, travail personnel sur projet

Organisation de l'évaluation

Soutenance de projet

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Simuler sur ordinateur les problèmes de diffusion stationnaire et instationnaire, d'écoulements isothermes ou anisothermes, inertes ou réactifs.
- Maîtriser les problèmes et critères de stabilité des schémas de discrétisation

3EN4011 – Sciences numériques - Spécialité Electrique

Responsables : **Philippe Dessante**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours est décomposé en deux parties, optimisation et méthodes de résolution des équations aux dérivées partielles.

La partie optimisation comprendra la construction des modèles pour l'optimisation, optimisation stochastique, optimisation sous contraintes, optimisation multi objectifs, l'estimation de paramètres.

La seconde partie sur le traitement et la résolution des équations aux dérivées partielles portera sur les méthodes des différences finies et éléments finis en statique et temporel.

Deux séances pratiques complèteront chaque partie : optimisation du placement de batteries sur un réseau de distribution ; modélisation éléments finis d'une machine électrique.

Domaines d'application : tous les domaines liés aux systèmes d'énergie électrique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

S1 (3H) : Modèles pour l'optimisation

S2 (3H) : Optimisation stochastique

S3 (3H) : Optimisation multiobjectifs

S4 (3H) : Optimisation sous contraintes + Estimation de paramètres

S5 (3H) : Différences finies

S6 (3H) : Eléments finis

S7 (3H) : Optimisation du placement de batteries sur un réseau de distribution

S8 (3H) : Utilisation d'un logiciel de simulation pour la modélisation par éléments finis d'une machine électrique.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, TD, travail personnel sur projet

Organisation de l'évaluation

Soutenance de projet / synthèse des TDs

Moyens

Cours magistraux, TD, travail personnel sur projet

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de l'enseignement, l'élève sera capable de :

Comprendre et mettre en place le traitement d'un problème d'optimisation.

Utiliser les méthodes les plus appropriées pour un problème donné.

Implémenter sur ordinateur la résolution.

Avoir une bonne connaissance des problèmes des équations aux dérivées partielles, notamment leur résolution par différence finis. Compréhension du fonctionnement d'un logiciel de calcul par éléments finis. Maîtriser les critères de stabilité des schémas de discrétisation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin de l'enseignement, l'élève sera capable de :

Comprendre et mettre en place le traitement d'un problème d'optimisation.

Utiliser les méthodes les plus appropriées pour un problème donné.

Implémenter sur ordinateur la résolution.

Avoir une bonne connaissance des problèmes des équations aux dérivées partielles, notamment leur résolution par différence finis. Compréhension du fonctionnement d'un logiciel de calcul par éléments finis. Maîtriser les critères de stabilité des schémas de discrétisation.

3EN4020 – Méthodologies et optimisation en transfert énergétique

Responsables : **Mehdi Ayouz**

Département de rattachement : **MENTION RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de confronter les étudiants à des problèmes ouverts de transfert thermique, inspirés de procédés industriels, de phénomènes naturels, de la vie quotidienne, ... Les élèves travaillent par groupe sur différentes études de cas et développent ainsi des outils méthodologiques et numériques, sur la base de leurs connaissances acquises et avec l'aide d'encadrants.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Divers problèmes seront traités, en lien avec l'efficacité énergétique : Refroidissement d'une plaque, isolation d'une station météo, dimensionnement du moteur Vulcain, chauffage d'un appartement, ...

Déroulement, organisation du cours

Les étudiants sont répartis en groupe d'environ 6 élèves. Chaque groupe est supervisé par un enseignant. Cinq séances de 3h sont prévues.

Organisation de l'évaluation

Les étudiants, en binôme ou en trinôme, plancheront pendant deux heures en salle sur un problème ouvert. Dans un second temps, ils restitueront leur travail à l'oral à leur encadrant (présentation de 15 minutes de leurs résultats sous forme de planches).

Moyens

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Identifier les phénomènes physiques limitant le transfert (calcul de temps caractéristique, ordres de grandeur) ;
- Développer un modèle simple, couplant différents modes de transferts de chaleur ;
- Formuler des hypothèses simplificatrices adaptées au problème et estimer l'erreur commise ;
- Choisir l'échelle de modélisation pertinente (temps, espace...).
- Confronter le modèle simple qui a été développé à un modèle numérique ou des expérimentations, selon les cas d'étude

3EN4021 – Méthodologies et optimisation en transfert énergétique - spécialité thermique

Responsables : **Sean MCGUIRE**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de confronter les étudiants à des problèmes ouverts de transfert thermique, inspirés de procédés industriels, de phénomènes naturels, de la vie quotidienne, ... Les élèves travaillent par groupe sur différentes études de cas et développent ainsi des outils méthodologiques, sur la base de leurs connaissances acquises et avec l'aide d'encadrants.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Divers problèmes seront traités, en lien avec l'efficacité énergétique : Refroidissement d'une plaque, isolation d'une station météo, dimensionnement du moteur Vulcain, chauffage d'un appartement, ...

Déroulement, organisation du cours

Les étudiants sont répartis en groupe d'une dizaine d'élèves. Chaque groupe est supervisé par un enseignant. Cinq séances de 3h sont prévues.

Organisation de l'évaluation

Les étudiants, en binôme ou en trinôme, travailleront pendant trois heures en salle sur un problème ouvert. Ils rendront un compte rendu de leur travail au début de la prochaine séance.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Identifier les phénomènes physiques limitant le transfert (calcul de temps caractéristique, ordres de grandeur) ;
- Développer un modèle simple, couplant différents modes de transferts de chaleur ;
- Formuler des hypothèses simplificatrices adaptées au problème et estimer l'erreur commise ;
- Choisir l'échelle de modélisation pertinente (temps, espace...).

3EN4022 – Méthodologies et optimisation en transfert énergétique - Spécialité électrique

Responsables : **Tanguy Phulpin**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Il s'agit de méthodologie de conception permettant de mettre en place des solutions simples de conversion d'énergie de manière optimale. L'évaluation se fait sur les 3 séances de projet final à travers un rapport.

8-12 ; 3h cours : modélisation petits signaux pour la commande (AV)

15-12 ; 3h projet : commande et régulation d'un convertisseur PV-batterie ou onduleur-machine (AV – AS)

22-12 ; 3h projet : choix des convertisseurs dans un système type véhicule électrique (TN Renault - TP)

12-01 ; 3h cours : dimensionnement inductance (Würth SL)

19-01 ; 3h projet : dimensionnement de filtre avec inductance (Würth-SL- TP)

26-01 – 2-02 – 9-02 ; 9h projet : centrale photovoltaïque PV-hacheur-onduleur-(batterie). (TP-YB-AV et on tourne)

Projet noté à l'écrit

Prérequis

Cours de conversion d'énergie électrique

Moyens

Il faut venir à toutes les séances, et apporter son ordinateur lors des projets

3EN4040 – Combustion

Responsables : **Benoît Fiorina**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La combustion est une science pluridisciplinaire qui regroupe notamment la mécanique des fluides, la cinétique chimique, la thermodynamique, les transferts thermiques et éventuellement les écoulements diphasiques. Bien que la maîtrise du feu par l'homme soit très ancienne, le début de la compréhension des phénomènes fondamentaux de la combustion date du 18ème siècle. Représentant environ 80% des modes de conversion de l'énergie primaire, la combustion est présente dans de nombreuses applications industrielles dans le secteur de l'énergie (centrales thermiques, turbines à gaz), des transports (moteurs à combustion interne, turboréacteurs, etc...) et des procédés (métallurgie, verrerie, cimenterie, incinérateurs, ...). Elle est également au cœur de nombre de problématiques de sécurité (incendies, explosions, prévention, lutte, ...) La compréhension et la maîtrise de la combustion sont donc particulièrement importantes pour les ingénieurs travaillant dans les domaines de l'énergie, des transports, des procédés ou de la sécurité.

Les objectifs du cours sont d'introduire les fondements théoriques de la combustion tout en enseignant des méthodes de dimensionnement utiles pour un ingénieur. En particulier, les thématiques scientifiques suivantes sont abordées :

- Caractérisation thermodynamique d'un système réactif : bilan, richesse, calcul de température adiabatique de fin de combustion, équilibre
- Cinétique chimique de la combustion
- Auto-inflammation
- Structure des flammes laminaires (déflagration, détonation, stabilisation des flammes prémélangées et des flammes non-prémélangées)
- Introduction à la combustion turbulente

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 (3h00)

- Introduction à la combustion : contexte énergétique, environnemental et industriel
- Rappel de thermodynamique chimique
- TD : calcul de la température adiabatique de fin de combustion

Séance 2 (3h00)

- Cinétique chimique de la combustion
- Formation des polluants
- Auto-allumage / théorie de Semenov
- TD : calcul de délais d'auto-allumage. Application de la théorie de Semenov (Matlab)

Séance 3 (3h00)

- Ondes de déflagration et détonation
- Flammes prémélangées
- TD : Détermination des vitesses de flammes laminaires par le calcul théorique et par l'expérience

Séance 4 (3h00)

- Flammes non-prémélangées
- Introduction à la combustion turbulente (partie 1)
- TD : application de la théorie de Burke et Schuman pour estimer la distribution de température dans une flamme non-prémélangée

Séance 5 (3h00)

- Introduction à la combustion turbulente (partie 2)
- TD : Application des concepts de modélisation de la combustion turbulente pour le pré-dimensionnement d'un foyer réactif.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et TD

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de deux heures

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Dans son futur milieu de travail, le futur ingénieur devra caractériser/dimensionner/optimiser des systèmes réactifs. Pour cela, il sera amené à faire des approximations et à calculer des ordres de grandeurs. Il devra faire des bilans de masse, d'espèces chimiques et d'énergie. Il devra déterminer l'équilibre thermo-chimique d'un système réactif. Dans ce contexte, le cours vise à l'acquisition des compétences suivantes :

- Savoir pré-dimensionner une chambre de combustion en fonction du contexte (secteur industriel, type de combustible/comburant, puissance visée)
 - o Etablir un bilan chimique global pour tout type de combustible/comburant
 - o Calcul des débits combustible/comburant pour assurer une puissance donnée
 - o Approximer la température de gaz brûlés
- Maîtriser l'état thermodynamique et chimique d'un système réactif dans des configurations opératoires variées
 - o Calculer un équilibre thermodynamique avec des outils numériques
 - o Connaître les leviers qui impactent la formation des polluants
 - o Connaître les limites des bilans globaux
- Comprendre les enjeux de la combustion en termes de stabilisation, d'allumage et de sécurité d'une chambre de combustion
 - o Établir les équations d'une flamme. Estimer des grandeurs fondamentales (vitesse de flamme, délai d'auto-allumage, ...)
 - o Comprendre les mécanismes de propagation d'une onde de détonation et de déflagration. Différencier une flamme de prémélange d'une flamme non-prémélangée.
 - o Être sensibilisé à l'impact de la turbulence sur la combustion

3EN4050 – Plasma

Responsables : **Aymeric Vie, Christophe Laux**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les plasmas vont jouer un rôle clé dans la transition énergétique. Leurs extraordinaires propriétés leur permettent de mettre en œuvre des procédés de conversion d'énergie plus efficaces et moins polluants.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Physique quantique et statistique

Déroulement, organisation du cours

Alternance de cours et d'applications

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de 1h30 avec documents et calculatrice

Moyens

- Cours sur les concepts de base
- Etudes d'applications en énergétique : conversion d'énergie électrique en énergie mécanique, production ou transformation de produits (valorisation du CO₂), amélioration de l'efficacité des méthodes de production d'énergie (combustion assistée par plasma)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- compréhension physique des mécanismes thermochimiques générés par les plasmas
- capacité à appliquer les équations de base pour analyser des applications énergétiques et développer de nouvelles méthodes de conversion.

3EN4060 – Systèmes de conversion électronique

Responsables : **Adrien Voldoire**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Enseignement autour de la conversion de l'énergie électrique par l'électronique de puissance
Applications à la mobilité électrique et à l'intégration des énergies renouvelables

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction : Nécessité et intérêt des convertisseurs de puissance
Topologies des convertisseurs continu/continu : hacheurs
Topologies des convertisseurs continu/alternatif : onduleurs pleine onde et MLI
Topologies des convertisseurs alternatif/continu : redresseurs et PFC
Dimensionnement de composants actifs, calcul de pertes et calculs thermiques

Déroulement, organisation du cours

Cours : 9h00

TD et simulation : 7h30

Conférence d'industriels : 1h30

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu : 25%

Examen écrit (1h30) : 75%

Support de cours, bibliographie

Supports de cours disponibles sur Edunao

Bibliographie :

Alimentations à découpage, Convertisseurs à résonance
par Jean-Paul Ferrieux et François Forrest

Électronique de puissance - 10e édition
par Guy Séguier

Autres sources

•Techniques de l'ingénieur

•HAL : publications en français

•IEEE : éditeur international

Moyens

Cours PDF
Exercices corrigés
Simulations numériques

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Comprendre la conversion d'énergie électrique
- Déchiffrer une nouvelle structure
- Réaliser une conception basique de convertisseur
- D'utiliser la simulation numérique dédiée à l'électronique de puissance

3EN4070 – Systèmes à vitesse variables (Modélisation/Régulation/commande moteur électrique)

Responsables : **Amir Arzandé**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif d'exposer le fonctionnement d'un système de motorisation électrique permettant le fonctionnement à vitesse variable avec la commande vectorielle. Il présente les structures pour réaliser un système de motorisation à vitesse variable avec des moteurs électriques. Il se généralise au cas des générateurs à vitesse variable (éoliennes). Les principes des moteurs sont d'abord rappelés puis appliqués à la motorisation à base de moteurs à courants alternatifs qui sont principalement utilisés pour les solutions modernes de motorisation électrique. La physique de base des structures est présentée et les principes de fonctionnement sont décrits. Une modélisation est ensuite développée pour établir les principes de commande vectorielle pour réaliser des entraînements à vitesse variable. C'est essentiellement l'association aux onduleurs de type source de tension (VSC) qui est proposée pour étudier en détail deux types de motorisation, la motorisation synchrone et la motorisation asynchrone.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Connaissance en électrotechnique : Puissances

Connaissance de base en électronique de puissance :

Plan détaillé du cours (contenu)

Description d'un système à vitesse variable

Fonctionnement d'un onduleur, sa commande et son modèle pour la commande

Machine synchrone, Modèle en régime permanent, Transformation de Park, modèle dynamique et la commande vectorielle.

Cours d'application sur la commande de la machine synchrone

Machine asynchrone, Modèle en régime permanent, Transformation de Park, modèle dynamique et la commande vectorielle

Cours d'application sur la commande de la machine asynchrone

Moteur DC Brushless, la structure et la commande

Moteur à réluctance variable, la structure et la commande

Déroulement, organisation du cours

CM(1-2) // CA(3) // CM(4-5) // CA(6)

Organisation de l'évaluation

Les élèves seront évalués sur un examen écrit

Examen écrit surveillé de 2h

Support de cours, bibliographie

Polycopier de l'école **Jean-Claude Vannier**

Moyens

Salle de cours avec vidéo projecteur et Wifi
Salle de TP informatiques, programmation en Simulink

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Principes de fonctionnement des principaux moteurs : synchrone, asynchrone
Principes utilisés pour les variations de vitesse : convertisseurs électroniques
Associations des moteurs aux différentes charges ;
Principes généraux : constitution d'une chaîne de motorisation ; Rappels de cinématique ; Charges
Convertisseurs : modèles pour la commande vectorielle
Moteur synchrone - Moteur asynchrone -DC Brushless, Moteur à réluctance variable
Applications

Description des compétences acquises à l'issue du cours

À la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :
Comprendre le principe de fonctionnement et commande d'un système à vitesse variable
Modélisation dynamique et base de commande vectorielle
Associer le moteur ou le générateur à son convertisseur

3EN4080 – Activités expérimentales

Responsables : **Laurent Zimmer, Amir Arzandé**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif général du cours est de confronter les élèves à des problématiques réelles de systèmes énergétiques complexes. Le but est d'être capable de décomposer un système multi-échelles / multi-physiques en sous-ensembles plus élémentaires. Ceux-ci sont étudiés à travers différentes expériences en vue d'en comprendre les principes fondamentaux et d'en permettre une modélisation. L'ensemble des acquis est ensuite mis en commun afin de proposer l'optimisation d'un système, optimisation qui n'est pas forcément obtenue par optimisation des sous-ensembles individuels. Le cours s'appuie sur une connaissance disciplinaire en sciences de l'ingénieur. Différents systèmes pourront être optimiser en fonction des compétences et intérêts des élèves, allant de la production électrique par modèle d'éolienne (en conditions de vent variable), l'optimisation de puissance thermique par combustion de gaz, l'optimisation de transferts thermiques, incluant les trois modes d'échange de la chaleur ; permettant de toucher un ensemble élargi de systèmes énergétiques réels, tout en étant à une échelle permettant une expérimentation détaillée et paramétrique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Après une présentation générale de la thématique, les élèves sont répartis en groupes de travail en fonction de leurs choix et compétence. Leur mission est de se spécialiser dans un sous-ensemble bien défini du problème global pour en comprendre le fonctionnement. Cette compréhension se basera essentiellement sur des résultats expérimentaux, dont le protocole exact est à déterminer. L'élaboration de ce protocole constitue une phase importante et doit être rigoureusement établie. En complément de ces expériences, des approches analytiques ou numériques seront adoptées pour mieux interpréter les données. L'optimisation avec une cible précise sera ensuite effectuée. Lors des dernières séances, le travail de plusieurs groupes sera réuni pour optimiser un système global. Les différents groupes auront d'abord un travail de restitution sur leur thématique avant d'appréhender le système avec un groupe élargi.

Déroulement, organisation du cours

Les salles nécessaires seront à la fois des salles permettant des expérimentations (souffleries - expériences de combustion) mais aussi des salles informatiques et une salle permettant la projection de document à un grand nombre. Le cours commencera par un cours magistral permettant de bien expliquer les différentes étapes et processus. Ensuite, les élèves effectueront des travaux pratiques, avec une étroite interactions avec les personnels encadrants.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation comporte 3 phases différentes. La première consiste en l'évaluation durant les différentes séances de réalisations d'essais et d'analyses. Une seconde note sera attribuée à la qualité de restitution orale du travail : un esprit de synthèse et de rigueur est attendu. Enfin, le travail d'optimisation du système sera à restituer sous forme de rapport, où le travail des différents sous-groupes devra aussi apparaître. Les deux dernières évaluations concernent l'ensemble des membres des groupes et sous- groupes ; cependant la première note sera individuelle

en fonction de la motivation, l'autonomie, la rigueur et l'esprit d'initiative démontrés durant les différentes séances.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

Mettre en place un protocole expérimental permettant de comprendre un système, en se basant aussi sur des connaissances fondamentales

Être capable d'optimiser sous contrainte des systèmes élémentaires.

Être capable de restituer un travail sous forme d'exposé

Être capable d'intégrer de nouvelles compétences pour appréhender un système plus complexe.

3EN4090 – Conférences ENE

Responsables : **Aymeric Vie, Christophe Laux**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) :

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cycle de conférences complète les enseignements de la Dominante Energie et de ses mentions. L'objectif est de donner une ouverture sur de nombreuses thématiques techniques, scientifiques, économiques, sociétales qui entrent en jeu dans la transition énergétique. Ces conférences couvrent un large spectre de thématiques : enjeux environnementaux, stratégies de transition énergétique, marchés de l'énergie, précarité énergétique, innovation technologique, avancées en recherche. Elles sont également l'occasion de rencontrer et d'échanger avec les enseignants de la dominante.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10 et SG11

Prérequis

Aucun

Organisation de l'évaluation

Cette activité est évaluée en Pass/Fail. Pour valider, il est nécessaire d'assister à au moins 5 des 6 conférences de la séquence.

3EN4210 – Turbulence

Responsables : **Ronan Vicquelin**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les écoulements turbulents sont retrouvés dans la majeure partie des applications industrielles. La turbulence favorise en effet les différents types de transferts : quantité de mouvement, énergie, espèce. Ces propriétés peuvent être appréciées (amélioration du mélange par exemple) ou pénalisantes (augmentation de la traînée et des pertes de charge). La compréhension et la modélisation de la turbulence est, de plus, reconnue comme l'un des problèmes les plus difficiles de la physique classique.

Le cours aborde plusieurs traits caractéristiques des écoulements turbulents : mécanismes fondamentaux, cascade de Kolmogorov, équations-bilans, cas des écoulements en configuration simple. Les différentes approches (RANS, LES, DNS) liées à la nécessaire description et modélisation de la turbulence sont également présentées et contextualisées dans le cadre d'applications industrielles et académiques.

Le projet démarré en séance permet également de se former rapidement à la mise en données d'un calcul RANS sous le logiciel Ansys Fluent.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 : Mécanismes fondamentaux, Cascade de Kolmogorov

- Cours : Introduction & Généralités ; Production, Dissipation, Transfert entre échelles ; Echelles énergétiques et dissipatives ; Cascade de Kolmogorov ; Approches RANS LES et DNS
- TD : Coût DNS, décroissance THI

Séance 2 : Equations-bilan moyennées

- Cours : Simulation numérique directe (DNS) ; Décomposition de Reynolds ; Equations bilan moyennées (RANS) ; Problème de fermeture, Tenseur de Reynolds ; Flux de transfert turbulent (chaleur, espèces)
- TD : Jet turbulent bidimensionnel + Démarrage projet, partie I

Séance 3 : Modèles de fermeture RANS

- Cours : Propriétés tenseur de Reynolds ; Hypothèse de Boussinesq, Diffusion turbulente ; Viscosité turbulente et totale/effective ; Hypothèse diffusion gradient ; Nombres de Prandtl et Schmidt turbulents ; Modèles algébriques, à une équation, à deux équations ; Modèle k- ϵ standard
- TD : Suite projet, partie II

Séance 4 : Ecoulements turbulents pariétaux

- Cours : Ecoulements de canal (Régime établi ...) ; Structure couches limites mécanique et thermique ; Contrainte et flux totaux ; Vitesse et température de frottement ; Zone externe/interne ; Sous-couche visqueuse/Zone Tampon/ Zone Logarithmique ; Loi de frottement $cf(Re)$ implicite
- TD : Suite projet, partie III

Séance 5 : Analyse spectrale et Simulation aux grandes échelles

- Cours : Spectre d'énergie cinétique turbulente, de dissipation, de production ; Zone inertielle du spectre ; Transfert entre échelles ; Simulation aux grandes échelles (LES) ; Définitions de filtres ; Equations

filtrées, modèles de sous-maille ; Modèle de Smagorinsky ; Avantages/Inconvénients LES, modèles de paroi et approches hybrides

- TD : Support au projet

Déroulement, organisation du cours

La note est liée à un rapport sur le projet réalisé en binôme.

Organisation de l'évaluation

La note est liée à un rapport sur le projet réalisé en binôme.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Faire un dimensionnement grossier de quelques grandeurs-clé d'un écoulement turbulent
- Mener des simulations numériques (RANS) d'écoulements turbulents
- Analyser de telles simulations numériques et juger de la pertinence d'une approche de modélisation de la turbulence

3EN4220 – Rayonnement

Responsables : **Laurent Soucasse, Anouar Soufiani**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **15**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Introduction aux transferts radiatifs dans les milieux semi-transparents. Domaines d'application visés : sûreté nucléaire, industries gazières et des hautes températures (verre, acier, métallurgie, ...), propulsion aéronautique et aérospatiale, météorologie, climatologie, ...

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Rappels de rayonnement des corps opaques : luminance, rayonnement de corps noir, grandeurs thermoradiatives (émissivité, absorptivité, réflectivités). Transferts entre corps opaques à travers des milieux transparents (aspects géométrique et spectral). Exercices d'application.
- Absorption, émission, diffusion volumiques ; auto-absorption ; épaisseur optique ; équation de transfert du rayonnement (différentes formulations); conditions aux limites; flux radiatif et puissance radiative; couplage avec le milieu matériel.
- Transfert radiatif sans diffusion en géométrie unidimensionnelle plane (solution analytique): milieu homogène isotherme, milieu hétérogène et anisotherme.
- Limite du milieu optiquement épais ; conductivité radiative ; limite du milieu optiquement mince; méthode d'évaluation de Hottel.
- Propriétés radiatives des gaz : phénomène de corrélation spectrale, modèle statistique à bandes étroites, autres modèles de propriétés radiatives des gaz. Propriétés radiatives des particules (théorie de Mie). Applications simples avec diffusion.
- Principe de réciprocité. Méthodes générales 3D de transfert (lancer de rayons, interpolation, Monte Carlo, ...).

Déroulement, organisation du cours

Le cours prendra la forme de cinq séances de 3h, alternant cours et exercices d'applications. Une seule salle sera nécessaire.

Organisation de l'évaluation

L'examen consistera en un oral de 15 minutes. Les étudiants disposeront de 30 minutes pour préparer leur sujet avant d'être interrogés.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Identifier les situations où les transferts radiatifs jouent un rôle (calculs d'ordre de grandeur)
- Proposer des modèles simples de transfert radiatif

3EN4230 – Ecoulements diphasiques

Responsables : **Aymeric Vie**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les écoulements diphasiques sont à la base de nombreuses applications industriels notamment dans les moteurs aéronautiques ou automobiles. Dans ces moteurs, le carburant est injecté sous forme liquide et s'atomise en fines gouttelettes qui vont pouvoir alimenter la combustion après s'être évaporées. La description, la modélisation et la simulation de tels écoulements est un point très important pour caractériser finement le comportement des chambres de combustion.

Dans le cadre de ce cours, nous nous attachons à décrire un ensemble de méthode de modélisation et simulation de tels écoulements, sur toutes les étapes physiques le caractérisant. Seront ainsi présentées les méthodes permettant de simuler les écoulements à interface, nécessaire pour décrire la phase initiale d'atomisation du jet liquide, ainsi que celles permettant de décrire les sprays de carburant, qui se concentrent alors sur la dynamique de gouttes évaporantes qui alimenteront ainsi la combustion.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 : Physique de l'injection et de l'atomisation

- Phase séparée / phase dispersée
- Atomisation primaire / atomisation secondaire
- Principaux nombres sans dimension, exemples de fragmentation de jets liquides

Séances 2-3-4 : Méthodes de type interface infiniment mince

- Aperçu des principales méthodes de résolution d'interface
- Equations-bilan en diphasique
- Méthode Level-Set
- Méthode Volume-Of-Fluid

Séance 5-6-7 : Méthodes de type interface diffuse

- Méthodes de moyenne
- Obtention des équations bi-fluide
- Hyperbolicité
- Hiérarchie des modèles bi-fluides et physique associée

Séance 8-9-10 : Description des sprays de carburant

- Approche lagrangienne
- Approche eulérienne
- Méthodes de moments d'ordres élevés

Organisation de l'évaluation

L'évaluation sera effectuée sur la base d'une lecture d'article en groupes d'un ou deux élèves. Ce travail sera évalué sous la forme d'une présentation orale et d'une séance de questions.

Moyens

5 séances de cours

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Comprendre la hiérarchie des méthodes disponibles pour décrire un écoulement diphasique
- Choisir la méthode de modélisation adaptée au problème diphasique rencontré

3EN4240 – Composants pour convertisseurs de puissance

Responsables : **Tanguy Phulpin**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

- Familiariser les élèves avec l'électronique de puissance
- Avoir un ordre de grandeur du choix des composants dans un convertisseur
- Apporter des compléments d'ordre technologique aux élèves motivés par l'électronique de puissance

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Il faut avoir suivi le cours de conversion d'énergie du semestre précédent car pour choisir un composant, il est nécessaire de connaître sa tension efficace, son courant moyen et son courant efficace et la fréquence de fonctionnement désirée

Plan détaillé du cours (contenu)

- Généralités sur les composants utilisés en électronique de puissance
- Les composants actifs : Diodes, Thyristors, Mosfets, IGBT, SiC et GaN
- Les composants magnétiques : Transformateurs et inductances
- Autres composants utilisés : Condensateurs, Circuits électroniques de commande, Capteurs...

Déroulement, organisation du cours

Les semi-conducteurs de puissance : 3h (CM)

Les composants magnétiques : 3h (CM)

Les circuits de commandes, le PCB et les autres composants tels que les condensateurs : 3h (CM)

La fiabilité en électronique de puissance

Dimensionnement d'un convertisseur (choix des composants nécessaires) : 3h

Évaluation des performances de composants 3h

Organisation de l'évaluation

- Examen écrit (1h30)

Support de cours, bibliographie

"Evolution des concepts et composants magnétiques", Daniel Sadarnac, ed Technosup, Ellipses

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Comprendre et utiliser les composants de l'électronique de puissance
- Déchiffrer les caractéristiques d'une fiche technique de composant
- Choisir les composants optimaux pour dimensionner un convertisseur
- Assurer une certaine fiabilité à un système électrique

3EN4250 – Perturbations et fiabilité des systèmes électriques

Responsables : **Mohamed Bensetti, Tanguy Phulpin**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Cette unité d'enseignement fournit aux élèves un ensemble de connaissances et des outils de modélisation permettant la compréhension des problématiques liées à la compatibilité électromagnétique des composants et des convertisseurs de puissance. Elle vise à sensibiliser les élèves sur les perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées générées par les convertisseurs de puissance et les solutions à apporter pour les réduire.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Avoir suivi le cours conversion électrique

Plan détaillé du cours (contenu)

- Concepts de base de la CEM : sources, couplages, victimes et normes
- Modèles CEM des sources et des chemins de propagation pour les systèmes d'électronique de puissance
 - Analyse d'un cas d'école : hacheur Buck, paramètres influents de la CEM
- Étude du rayonnement électromagnétique des composants de puissance - modèles d'émissions rayonnées
- Bureau d'étude : Dimensionnement d'un blindage en champ proche en utilisant un outil logiciel de modélisation électromagnétique.

Organisation de l'évaluation

- *Examen écrit d'une durée 30mn (50%) + compte rendu étude de cas (50%)*

Support de cours, bibliographie

Supports de cours en forme ppt

Moyens

- 8 séances de cours magistraux de 1,5h
- 2 séances de TD de 1,5h

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Savoir identifier un problème CEM
- Proposer des solutions adaptées pour réduire les perturbations générées par les convertisseurs
- Utiliser des outils de modélisation (circuits et 3D) pour résoudre un problème CEM.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1: Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines.

C1.2: Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème.

C2.1: Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

3EN4260 – Systèmes à vitesse variables avancés

Responsables : **Marc Petit, Aymeric Vie**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à présenter trois grandes familles d'applications de systèmes électriques à vitesse variable : la traction ferroviaire, l'industrie et la marine.

Ces applications reposent sur des associations convertisseurs électroniques de puissance et machines électriques. Il est fondamental de bien comprendre chacune des fonctions, leur association, et leurs principes de commande.

Ce cours aborde ces systèmes avec une vision industrielle au travers de nombreux exemples d'application, et avec des approches orientées vers le dimensionnement.

Ce cours complète le cours 3EN4070 « Systèmes à vitesse variable » qui adopte une approche plus académique de la modélisation et la commande des systèmes à vitesse variable.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Cours sur les éléments des systèmes à vitesse variable, convertisseurs et machines

Plan détaillé du cours (contenu)

- Structure détaillé d'un Power Drive System (PDS)
- Classification des moteurs
- Classification des Convertisseurs
- Convertisseur LCI (avec Thyristor)
- Convertisseur VSI (avec IGBT)

- éléments de conception des navires
- les différents systèmes de propulsion
- concept de navire tout électrique

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et travaux dirigés

Organisation de l'évaluation

Les élèves seront évalués sur la réalisation d'un dossier travaillé en petit groupe pour traiter l'un des sujets proposés par les intervenants industriels.

Support de cours, bibliographie

Supports des présentations

Moyens

Equipe enseignante :

Henri Baerd - Directeur Technique Projet - GE Energy Conversion

Pierrick Guilloux - Directeur Green Traction - Alstom Tarbes

Xavier Delannoy - Directeur Domaine Technique Propulsion - Naval Group

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Maîtriser les différentes associations convertisseur-machine et avoir une bonne connaissance des avantages et inconvénients de chacune.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 (jalon 3) Analyser : étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire

C2.4 (jalon 3) Proposer une démarche globale pour répondre à un besoin de connaissances, intégrant analyse de l'état de l'art, hypothèses, modèles, expérience (réelle ou numérique), interprétation, conclusion

C7.1 (jalon 3) Maîtriser son sujet pour imposer son argumentation

3EN4270 – Energétique du bâtiment et bâtiment à énergie positive

Responsables : **Aymeric Vie, François Cointe**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de ce cours est de présenter les enjeux liés à la conception des bâtiments à énergie positive, à travers de nombreux exemples et études de cas internationaux, ainsi que les outils de calcul et de modélisation propre à la conception thermique des bâtiments, tout en familiarisant l'usage à travers l'application directe de ces outils à l'analyse énergétique du bâtiment Eiffel où ont lieu les cours.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Les transferts thermiques dans le bâtiment :

- Conduction, convection, rayonnement solaire et infrarouge, psychrométrie : modélisation et mesure des échanges thermiques dans les bâtiments. Ventilation : modélisation et règles d'hygiène.

Confort thermique — Construire avec le climat :

- Équations d'équilibre thermique de l'organisme. Température effective ressentie.
- Construire avec le climat : diagrammes bioclimatiques d'Olgay et de Givoni. Climat tropical humide, climat désertique, climat méditerranéen.
- Adaptation au climat de l'habitat traditionnel et exemples contemporains : rectorat de la Martinique, Eastgate Center à Harare, Pearl Academy à Jaipur, école de filles de Gournay, ...

Concevoir les bâtiments à énergie positive :

- Logements : isolation thermique, ventilation, confort d'été et protection solaire. Études de cas : logements étudiants cité Vert Bois à Montpellier, quartier Bedzed à Londres, écoquartier de Fribourg...
- Bureaux et tertiaire : climatisation et free-cooling, ventilation double-flux, éclairage. Études de cas : bureaux France Avenue à Paris, collège de Mäder au Voralberg, Federal Building à San Francisco, tour Elithis à Dijon, Green Office à Meudon, Sonnenschiff à Fribourg, The Edge à Amsterdam...
- Production et stockage d'énergie. Études de cas : Dymaxion house, Autonomous house project d'Alexander Pike, Maison de l'île de France à Paris, Smart green Tower à Fribourg, Réseau urbain Cappel-la-Grande à Dunkerque...
- Phénomènes complexes et modélisations thermiques :
 - Les façades double peau : murs Trombe et pariétodynamiques, double peau ventilée.
 - Transfert thermique dans un mur en régime variable, inertie thermique et temps de réponse, modélisations thermiques dynamiques.

Déroulement, organisation du cours

Alternance de cours magistraux et films enregistrés & de TD d'application sur les 10 séances d'une heure trente du cours.

Organisation de l'évaluation

Projet d'étude : À l'aide des outils présentés en cours et des fichiers météo RE2020, rendu d'un mémoire sur l'analyse du bilan thermique été/hiver et des choix constructifs pour un corpus de bâtiments emblématiques, dont le bâtiment Eiffel (architectes OMA) à Saclay.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

À la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Connaître les outils de calcul en thermique du bâtiment, et être capable de les utiliser pour une analyse préliminaire rapide des besoins énergétiques d'un bâtiment.
- Connaître et analyser les contraintes climatiques d'un site, et leur implication sur la conception d'un bâtiment.
- Connaître et se repérer parmi les techniques de construction, de ventilation, de chauffage et de climatisation, ainsi que de production et de stockage d'énergie utiles à la conception des bâtiments à énergie positive, et leur adaptation au programme d'un bâtiment (logement, tertiaire ou autres)
- Connaître les principaux exemples de construction durable et énergétiquement efficace dans l'histoire de l'architecture.

3EN4280 – Energétique industrielle

Responsables : **Philippe Degand, Aymeric Vie**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Exposés sur les principales composantes de l'utilisation d'énergie thermique et électrique dans l'industrie : les centrales, les fluides thermiques, les chaudières, les réseaux de vapeur, les échangeurs de chaleur, les réseaux de chauffage industriel par vapeur d'eau, eau surchauffée ou fluides organiques.

Focus particulier sur l'évaporation multiple effet (concentration et production d'eau adoucie) avec comparatif énergétique et économique entre dessalement d'eau de mer par osmose et par évaporation.

Focus sur les grands cycles de cogénération avec mise en évidence des paramètres de choix (ratio électricité / chaleur et coût de l'électricité produite). Exercice dirigé permettant de faire le comparatif chiffré entre les 2 principaux types de cycles.

Plusieurs exercices dirigés sur les différents chapitres

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. But du cours
2. Domaine d'application et généralités
3. Fluides thermiques
4. Générateurs de fluides thermiques
5. Traitement d'eau
6. Chauffage industriel par la vapeur d'eau
7. Chauffage industriel par eau surpressée et fluides organiques
8. Échangeurs de chaleur
9. Évaporation multiple effet
10. Production combinée chaleur/électricité
 - 10.1. Par turbine à vapeur
 - 10.2. Par turbine à gaz

Déroulement, organisation du cours

Quatre sessions en cours magistral entrecoupées de petits exercices.
Dernière session sous forme d'exercice dirigé.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit, durée 3 heures, sous forme d'exercice d'application, avec tous documents.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Maîtriser les critères de choix technico/économiques entre les différentes filières de production d'énergie pour l'industrie
- Maîtriser le dimensionnement de ces filières, et les ordres de grandeur de leurs principaux indicateurs de fonctionnement
- En connaître les principaux équipements.

3EN4290 – Scénarios européens de décarbonation de l'énergie

Responsables : **Nicolas Minesi**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans ce cours, les étudiants proposeront un scénario de décarbonation de l'Europe. Les étudiants s'appuieront sur les besoins de chaque pays (électricité, chaleur industrielle, carburants, etc.) et devront choisir un mix énergétique capable de prendre en compte ces besoins à l'année. Ce scénario doit prendre en compte la réalité géographique de chaque pays (surface finie pour les installations, solaire peu rentable au nord, pas d'éolien offshore pour la Suisse, ...) et pourra s'appuyer sur des échanges intra-Europe. Enfin, en utilisant des approximations, les étudiants estimeront le coût de leur scénario, ce qui ajoutera une contrainte supplémentaire à leur rendu.

Déroulement, organisation du cours

- Travail en groupe
- Utilisation d'outils informatiques partagés

Organisation de l'évaluation

- Rapport écrit
- Présentation orale

Moyens

- Support documentaire

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Analyse et traitement d'un problème global
- Application des connaissances en énergie du cursus

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1, C3, C6

3EN4500 – Projet ENE EE

Responsables : **Sean MCGUIRE, Aymeric Vie**

Département de rattachement : **MENTION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) :

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce projet est un travail effectué en petite équipe entre début octobre et début avril. Le sujet du projet est en lien avec les thèmes de la mention Efficacité Énergétique. Il peut être à caractère industriel (proposé par une entreprise partenaire ou non de l'option) ou académique (activité de recherche proposée par un laboratoire). Il correspond à **240 heures de travail pour chaque étudiant**. Environ 42 demi-journées sont réservées au projet dans l'emploi du temps des élèves.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10, SG11

Prérequis

Aucun

Organisation de l'évaluation

La note finale attribuée à l'équipe pour son travail de projet est une note globale ; elle prend en compte la qualité des résultats obtenus, du rapport final (40 pages max, hors annexes) et de la soutenance finale (20 minutes d'exposé + 10 minutes de discussion).

Moyens

Le **suivi régulier** du travail de projet est assuré par un(e) encadrant(e), en général la personne qui a soumis le sujet, et à qui l'équipe d'élèves doit rendre compte. Les **différentes étapes du suivi du travail de projet par l'équipe pédagogique de la mention** sont les suivantes :

- **Vers la mi-janvier** : chaque binôme fait une soutenance orale à mi-parcours du travail accompli et dans laquelle il s'engage sur un programme de travail jusqu'à la fin du projet. La soutenance dure 20 minutes en tout (15 minutes d'exposé + 5 minutes de discussion avec le jury) ; elle n'est pas notée ; la présence de l'encadrant(e) de l'entreprise à cette épreuve orale est appréciée mais pas obligatoire ; aucun document écrit n'est demandé pour accompagner cette soutenance.
- **Vers la mi-mars** : chaque binôme rédige un rapport final décrivant la totalité de son travail de projet, incluant les outils utilisés, les méthodes mises en œuvre et les résultats obtenus. Ce document ne doit pas dépasser 40 pages hors annexes éventuelles ; sa qualité est prise en compte dans la note finale de l'équipe.
- **Vers la mi-avril** : environ une semaine après la remise du rapport final, chaque équipe fait une soutenance orale sur la totalité du travail accompli. La soutenance dure 30 minutes en tout (20 minutes d'exposé + 10 minutes de discussion avec le jury) ; la présence de l'encadrant(e) de l'entreprise à cette épreuve orale est vivement souhaitée mais pas obligatoire ; et la qualité de la soutenance est prise en compte dans la note finale de l'équipe.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de mener un projet technique. L'élève sera capable de poser le problème, de comprendre les enjeux et les contraintes de son projet, d'obtenir des résultats et de présenter son travail. Le projet permet d'appliquer la théorie acquise pendant les cours et de développer ses compétences en les appliquant à un problème réel. A ce niveau d'étude, l'élève devra montrer qu'il peut travailler sur son projet de façon autonome – il devra montrer qu'il sait s'organiser, faire une étude bibliographique, aller chercher de l'information pertinente pour son projet et faire des progrès au sein de son équipe.

3EN5010 – Défis techniques, économiques et sociétaux du secteur de l'énergie

Responsables : **Herve Gueguen**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **10**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La transition énergétique est un enjeu avec de nombreuses composantes. L'objectif de ce module est de présenter certains de ces aspects au travers d'exposés complémentaires des sujets abordés dans les autres unités d'enseignements de la mention SES.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Déroulement, organisation du cours

Conférences et rencontres

Organisation de l'évaluation

Contrôle de présence

Moyens

Conférences

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Ces conférences apporteront aux étudiants des éléments pour appréhender la complexité de la transition énergétique.

3EN5020 – Réseaux électriques et intégration d'énergies renouvelables

Responsables : **Pierre Haessig**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **65**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'électricité est le vecteur d'énergie le plus versatile et celui qui peut fournir des services énergétiques de façon très efficace. Ainsi, sa part va croissante dans la consommation d'énergie finale (près de 20% en 2020 au niveau mondial, un doublement en 50 ans). Au 20^e siècle, le développement des réseaux d'électricité jusqu'à l'échelle continentale a permis de fournir cette énergie de façon fiable et économiquement efficace, via la construction de grandes unités de production centralisées (centrales nucléaires, à charbon ou grands barrages), au moins dans les parties du monde dites développées.

Au 21^e siècle, cette organisation est remise en question par le développement des énergies renouvelables (solaire et éolien) qui sont des ressources par nature dispersées. Les programmes politiques de dérégulation économique sont également à l'origine de grands changements d'organisation des systèmes électriques. Cependant, et peut-être paradoxalement, la variabilité temporelle et spatiale des sources renouvelables renforce l'intérêt des réseaux comme moyen de solidarité énergétique entre les régions. Certains contextes poussent plutôt au développement de micro-réseaux, mais, bien que d'envergure nettement plus petite, une grande partie de leur fonctionnement est similaire aux grands réseaux.

Les réseaux combinent des composants technologiques, de plus en plus complexes et performants, avec d'indispensables organes de contrôle (au sens large, qui inclut les fonctions de surveillance, coordination, optimisation...). C'est bien la bonne association du matériel et du logiciel qui permet aux réseaux de se maintenir dans un bon état de fonctionnement la plus grande partie du temps (la fiabilité des réseaux est cependant inégale entre les régions). En effet, un système électrique est un système de grande taille et fortement non linéaire. Le maintien de sa stabilité est donc un problème de contrôle complexe.

Dans le vaste ensemble de problématiques en lien avec les réseaux, ce cours propose d'aborder :

- la description matérielle des réseaux électriques : architecture, composants, principes physiques, effet des renouvelables
- l'analyse de la dynamique des systèmes non linéaires en général
- la régulation, l'optimisation économique du fonctionnement (marché) et l'estimation d'état des réseaux électriques

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Notions d'énergie électrique à connaître (par exemple en ayant suivi l'électif 1A « Énergie Électrique (ENE) ») :

- Analyse des circuits électriques en régime sinusoïdal : amplitudes et impédances complexes
- Puissances en régime alternatif : P (active), Q (réactive) et S (apparente)

Notions d'Automatique à connaître (par exemple en ayant suivi le cours commun de Commandes des systèmes dynamiques de ST5)

- Modélisation d'un système par les équations d'état
- Stabilité des systèmes linéaires
- Régulation d'un système linéaire par un contrôleur classique (ex. : PID)

Si certaines de ces notions n'ont pas été acquises précédemment, des ressources seront fournies pour une mise à niveau en autonomie.

Plan détaillé du cours (contenu)

Description matérielle des réseaux électriques

- Architecture des réseaux : transport, distribution
- Technologie des composants : lignes & câbles, machines, convertisseurs HVDC
- Principes physiques : modélisation, équation des flux de puissance
- Changements liés aux nouvelles énergies renouvelables

Analyse des systèmes dynamiques non linéaires

- Introduction aux systèmes non linéaires : types de systèmes non linéaires, phénomènes non linéaires (équilibres multiples, cycles limites, comportement chaotique, etc.)
- Analyse petit signal : linéarisations et approximations dans le domaine temporel
- Systèmes avec non-linéarités statiques (interconnexion de la dynamique linéaire avec les non-linéarités statiques)

Régulation, optimisation et estimation d'état des réseaux électriques

- Stabilité et régulations des réseaux : architecture de commande, effet de l'inertie (e.g. effet des renouvelables), régulation fréquence primaire et secondaire, régulation de tension
- Optimisation économique : marchés de l'électricité
- Estimation d'état des réseaux électriques : principes et application à des cas simples en statique

Déroulement, organisation du cours

L'enseignement est sous forme de cours et de séances d'exercices, dont une bonne partie sur ordinateur.
Cours : 16,5 heures, TD : 16,5 heures, TP : 4,5 heures, Évaluation (examen écrit) : 1,5 heures.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours se fait pour moitié (50 %) par contrôle continu des activités, en particulier les séances sur ordinateur, et pour moitié par un examen final de 1h30.

Support de cours, bibliographie

MATPOWER User's Manual <https://matpower.org/docs/MATPOWER-manual.pdf>

P. Jeannin et J. Carpentier, "Réseaux de puissance - Méthodes de résolution des équations", *Techniques de l'Ingénieur*, Réf : D1120 v1, 1994.

Moyens

Équipe pédagogique CentraleSupélec :

- Stanislav Aranovskiy : Analyse des systèmes dynamiques non linéaires
- Pierre Haessig : Réseaux électriques, responsable de cours
- Marie-Anne Lefebvre : Estimation d'état des réseaux électriques

Intervenant·e·s de l'industrie :

- RTE : technologies et évolutions des réseaux de transport d'électricité
- EDF R&D : marchés de l'électricité

Logiciels utilisés : Matlab, avec Simulink et la toolbox open source [Matpower](#).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Réseaux électriques

- connaître l'architecture des réseaux et leurs principaux composants
- connaître les principaux mécanismes de régulation du réseau et la physique qui les sous-tend
- connaître les principes des marchés de l'électricité
- effectuer une analyse de répartition des flux de puissance (power flow) et une estimation de l'état sur des exemples de réseaux simples, à l'aide de programmes informatiques

Analyse des systèmes dynamiques non linéaires

- connaître les phénomènes principaux des systèmes dynamiques non linéaires
- utiliser des techniques de linéarisation pour étudier le comportement des systèmes non linéaires autour des points d'équilibre
- analyser la dynamique des systèmes linéaires interconnectés avec une non-linéarité statique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les acquis décrits plus haut permettent de valider les compétences ingénieur CentraleSupélec suivantes :

- **C1.2** Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème
- **C1.3** Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation
- **C1.4** Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

Dans une moindre mesure, la partie estimation d'état touche à la compétence **C6.4** Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle.

3EN5030 – Sécurité énergétique

Responsables : **Nabil Sadou**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **36,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Depuis leur conception jusqu'à leur retrait du service et tout au long de leur exploitation les installations de production, de transport et de distribution d'énergie requièrent une attention particulière en matière de sûreté. En effet, une dégradation de cette dernière peut, au-delà d'altérer fortement la fourniture de l'énergie et la qualité de service, avoir des conséquences graves sur l'homme et son environnement. Ainsi beaucoup de ces installations sont soumises à une réglementation très stricte, nécessitant au quotidien une « culture sûreté ». Des études de sûreté sont menées pour garantir des installations fiables et résilientes et des systèmes de protection sont mis en place pour réduire voire éliminer les conséquences des défaillances identifiées.

L'infrastructure des systèmes énergétiques est de plus en plus numérisée apportant des bénéfices économiques liées à une meilleure gestion du réseau. Néanmoins ceci augmente sa vulnérabilité et devient facilement exploitable par les cyber-attaques pouvant mettre à défaut l'ensemble du réseau et remettre en cause son intégrité. Ainsi il est nécessaire de détecter et maîtriser ces attaques auxquelles le système pourra être confronté.

L'objectif de ce cours est de présenter la problématique d'analyse des risques et d'évaluation de la sûreté de fonctionnement. Il s'intéressera à la place de la sûreté tout le long du cycle de vie des systèmes énergétiques et abordera les différents systèmes de protection assurant la sécurité fonctionnelle et la disponibilité des installations et du réseau.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Probabilités et statistiques

Plan détaillé du cours (contenu)

Systèmes :

- Sûreté de fonctionnement et sécurité
 - Analyse des risques
 - Modélisation dysfonctionnelle des systèmes complexes
 - Modèles de fiabilité
 - Simulation de Monte Carlo pour la sûreté de fonctionnement
- Systèmes Instrumentés de Sécurité

Energie :

- Sûreté et protection des systèmes électriques
 - Équipements et Réseau
 - SI et Cybersécurité
- Sûreté des installations de production

Déroulement, organisation du cours

Cours - TD

Organisation de l'évaluation

Examen écrit

Moyens

Cours - TD

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- de mener une analyse de risque système
- de mettre en œuvre une démarche d'évaluation de la sûreté de fonctionnement d'un système
- de prendre en compte les exigences de sûreté sur l'ensemble du cycle de vie d'un système
- de définir les systèmes de protection à mettre en œuvre pour assurer la sécurité fonctionnelle et la disponibilité des installations.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

C1.2. Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

3EN5045 – Marchés de l'Energie

Responsables : **Herve Gueguen**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à présenter la structure et les enjeux stratégiques des marchés de l'énergie en France et en Europe au travers des cas de l'électricité et du gaz.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Concept de bases sur les systèmes énergétiques

Plan détaillé du cours (contenu)

Electricité

- structure des marchés d'électricité
- mécanisme de flexibilité et d'effacement

Gaz

- marchés du gaz
- nouveaux vecteurs
- défis géopolitiques

Organisation de l'évaluation

Examen final de 30 minutes sous forme de QCM sur l'ensemble des interventions

Moyens

Conférences

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Connaissance sur les mécanismes de marchés mis en place pour assurer l'équilibre offre-demande dans le domaine de l'énergie et les évolutions introduite par les contraintes environnementales et géopolitique.

3EN5050 – Analyses des données pour les prévisions énergétiques

Responsables : **Stanislav Aranovskiy**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présente les méthodes et approches basées sur les données pour relever le défi de la transition énergétique. Le cours aborde la manière dont les données peuvent être utilisées pour apprendre et prévoir la consommation/production d'énergie, à la fois hors ligne et en temps réel.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Commande des systèmes dynamiques (cours commun ST5)

Plan détaillé du cours (contenu)

Modèles de régression pour la prévision et la prédiction
Méthodes paramétriques et apprentissage des paramètres
Évaluation des performances d'apprentissage
Estimation des paramètres en ligne
Méthodes non paramétriques

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, TD.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu (80%) et contrôle final écrit (20%)

Support de cours, bibliographie

1. Les systèmes électriques de demain : Un défi pour la transition énergétique. Lavoisier, 2018.
2. T. Söderström, and P. Stoica. System identification. Prentice-Hall International, 1989.
3. Charu C. Aggarwal, Linear Algebra and Optimization for Machine Learning, Springer 2020

Moyens

Cours magistraux, TD. Outils logiciels : Matlab.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Construire des modèles de régression pour les problèmes de prévision énergétique
- Apprendre les paramètres des modèles à partir des données et évaluer la performance de l'apprentissage

- Appliquer des méthodes d'apprentissage non paramétriques pour la prévision de l'énergie
- Estimer et mettre à jour les paramètres du modèle sur la base de données en temps réel

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1

3EN5060 – Systèmes dynamiques et commande optimale

Responsables : **Romain Bourdais**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **55**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **33,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Au-delà de la technologie, une façon de réduire l'impact énergétique des systèmes, ou d'optimiser l'adéquation production/consommation, est de mieux piloter ces systèmes, individuellement et collectivement, en intégrant par exemple des sollicitations du réseau d'énergie. Les outils de l'automatique traditionnels sont insuffisants pour intégrer efficacement ces contraintes énergétiques. Ce cours présente des techniques de commande plus avancées, dont la commande prédictive, qui permettent ces intégrations. Le "prix" à payer est que ces outils impliquent de sortir du cadre simple des systèmes linéaires. Ce cours apporte ainsi des premiers éléments d'analyse de systèmes non linéaires.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- Modélisation (1A)
- Commande des systèmes dynamiques (2A)
- Optimisation (2A)

Plan détaillé du cours (contenu)

Rappel sur la commande des systèmes linéaires

- Commande LQ
- Reconstruction d'état

Partie Commande Prédictive

- Introduction à la commande prédictive
- Lien avec la commande LQ
- Intégration de contraintes énergétiques
- Relaxations

Partie non linéaire :

- Analyse
- Systèmes avec non-linéarités statiques (interconnexion de la dynamique linéaire avec les non-linéarités statiques)

Déroulement, organisation du cours

- Cours dirigés (27h)
- Etude de laboratoire (12h)

Organisation de l'évaluation

- Contrôle continu (50%), évaluation individuelle
- Etude de laboratoire (50%), évaluation en groupe

Moyens

Ce cours est assuré par l'équipe enseignante de la mention :

- Stanislav Aranovskiy
- Romain Bourdais

Les élèves pourront mettre en œuvre les stratégies à la fois dans un environnement de simulation mais aussi sur une maquette réelle mise à disposition en fin de module.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, les élèves seront en mesure :

- de mettre en œuvre des stratégies de commande avancées, en particulier la commande prédictive, qui prennent en compte des contraintes énergétiques
- d'intégrer les contraintes liées à certains phénomènes non linéaires : saturation des actionneurs, ou limite de puissance

3EN5210 – Décision dans un monde incertain

Responsables : **Pierre Haessig**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **33,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours « Décision dans un monde incertain » s'intéresse aux problématiques associées à une transition vers un monde plus juste et durable concernant l'accès à l'énergie. Il aborde plus particulièrement le **dimensionnement et la gestion de réseaux d'énergies** soumis à des **incertitudes** à deux échelles de temps. Il traite également la question des **objectifs contradictoires** (ex. : coût économique vs qualité de service).

Le temps long (de 1 à 25 ans) est en rapport avec les coûts d'investissement et de fonctionnements nécessaires pour construire et opérer un réseau d'énergie. Les incertitudes proviennent alors des fluctuations futures des prix, de la consommation annuelle.

Le temps court (1 heure à 1 semaine) est en rapport avec la gestion opérationnelle d'un réseau d'énergie, en particulier le pilotage des flux d'énergie entre les composants. Les incertitudes proviennent alors des variations de la météo et de la consommation sur une journée.

Le cours traite ainsi les problématiques suivantes :

- Quel est le principe de fonctionnement d'un microgrid intégrant des énergies renouvelables et du stockage ?
- Comment formuler le dimensionnement et la gestion d'un microgrid sous forme de problèmes d'optimisation ? En particulier :
 - Comment définir des critères quantitatifs pour prendre en compte le coût économique et l'impact environnemental *sur cycle de vie*, ainsi que la qualité de service ?
 - Comment prendre en compte la multiplicité et le caractère souvent *contradictoire* de ces critères ?
 - Comment intégrer l'aspect incertain dans l'optimisation ?
- Quel est le rôle des modèles énergétiques dans la prise de décision politique ? Comment prendre en compte la multiplicité des parties prenantes : usagers, collectivités, financeurs, normes... ?

Le cours offre les bases théoriques nécessaires pour aborder ces problématiques et les connaissances pratiques liées. Les élèves appliquent les connaissances obtenues sur des exercices et un grand TP sous MATLAB.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Cours d'optimisation de 2e année : savoir formaliser un problème d'optimisation (fonction objectif, contraintes)
- Statistiques et probabilités : variables aléatoires (fonction de répartition, quantile)
 - Principes de conversion des sources renouvelables éolienne et solaire

Plan détaillé du cours (contenu)

- Optimisation sous incertitude (9h)
 - Préférence au risque (neutre vs averse)
 - Formalisation d'un objectif et de contraintes incertaines (espérance, Value-at-Risk)
 - Variables de recours, Programmation stochastique à deux étapes, Contrainte de non-anticipativité
 - Application : Problème de vendeur de journaux (newsvendor)
 - Problèmes multitemporels (dynamique), Programmation dynamique stochastique
 - Applications : Gestion de stock

- Optimisation globale et multi-objectifs (4,5h)
 - Méthodes déterministes et métaheuristiques pour l'optimisation globale (sans gradient, boîte noire)
 - Optimalité de Pareto, front de Pareto
 - Méthodes multiobjectifs (ex. combinaison linéaire)
- Usage de la prospective énergétique dans la décision politique (3h)
- Mise en pratique : Optimisation des systèmes énergétiques (15h)

Déroulement, organisation du cours

Cours et petits exercices sur ordinateur
Grand TP d'optimisation de microgrid sur ordinateur

Organisation de l'évaluation

Présentation orale finale sur le projet d'optimisation de microgrid (environ 15 min de présentation + 10 minutes de questions)

Support de cours, bibliographie

D. Bertsekas, *Reinforcement Learning and Optimal Control*, Athena Scientific, 2019.
Edwin K. P. Chong and Stanislaw H. Zak, *An Introduction to Optimization*, 4th Edition, John Wiley & Sons, 2013

Moyens

Équipe pédagogique :

- Pierre Haessig (CS) : Optimisation face à l'incertain
- Nabil Sadou (CS) : Optimisation globale, Optimisation multiobjectif
- Claire Lucas (Artelys) : Prospective énergétique pour la planification politique

Logiciels utilisés : Matlab avec l'Optimization Toolbox, la Global Optimization Toolbox, ainsi que la toolbox gratuite [YALMIP](#).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, les élèves sauront :

- Comprendre le besoin de techniques d'optimisation globale et comment certaines de ces techniques fonctionnent.
- Comprendre la formulation mathématique de certains problèmes d'optimisation sous incertitude et savoir quelles techniques on peut appliquer pour les résoudre.
- Reconnaître les défis spécifiques aux systèmes énergétiques.

En plus, ils/elles seront capables de :

- Choisir, adapter et appliquer des techniques d'optimisation globale et des techniques d'optimisation sous incertitude à des problèmes pratiques.
- Faire de décisions sur des systèmes énergétiques en combinant des considérations pratiques et des méthodes d'optimisation appropriées.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1 Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

3EN5220 – Accompagnement du changement pour la transition énergétique

Responsables : **Marie-Anne Lefebvre**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La conduite d'une transition écologique et solidaire met en oeuvre des choix de politique environnementale dont il convient de comprendre les fondements et les leviers économiques sans négliger la question de leur impact sociétal et de leur acceptabilité par les diverses parties prenantes.

L'objectif du cours est de présenter dans un premier temps les concepts-clés en économie de l'environnement et des ressources naturelles, permettant de comprendre et d'analyser les problèmes économiques liés aux questions environnementales.

Dans une seconde partie, seront abordées plusieurs notions fondamentales issues des sciences humaines et sociales permettant l'accompagnement de ce type de projet en vue de son acceptabilité.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Économie de l'environnement et des ressources naturelles

1. Dimension économique des problèmes environnementaux
2. Fiscalité environnementale
Externalité et imperfections de marché
Les différents instruments de politique environnementale
Politique fiscale de l'environnement et redistribution
3. Évaluation économique des politiques environnementales
Évaluation économique de l'environnement
Analyse coût-bénéfice
Quelques autres méthodes d'évaluation des politiques environnementales
4. Les ressources naturelles en économie de l'environnement
Classification des ressources naturelles en économie
Fonctionnement des marchés des ressources naturelles

Acceptabilité, médiation et concertation

1. Notions fondamentales issues des sciences humaines et sociales
(pensée rationnelle/pensée sociale, représentation sociale, apprentissages de connaissances, acceptabilité sociale, engagement des parties prenantes, concertation, controverses)
2. Identification des points de blocages non-techniques à l'implémentation d'un projet relatif à la transition énergétique.
3. Construction des connaissances pour une compréhension de ces oppositions, conflits et controverses (individus, groupes constitués, société).
4. Proposition de modalités d'engagement des parties-prenantes et de gouvernance des projets, adaptées aux différentes phases (de la conception aux opérations, et à la fermeture), dans une perspective de résolution des conflits.

Déroulement, organisation du cours

Conférences
Ateliers de mise en situations

Organisation de l'évaluation

Examen écrit / QCM

Support de cours, bibliographie

Des articles publiés dans des revues académiques en sciences économiques seront distribués en cours.
Bontems, P. & Rotillon, G. (2013). *L'économie de l'environnement*. Paris : La Découverte.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants seront en mesure de comprendre et d'analyser les problèmes économiques liés aux questions environnementales.

Ils auront acquis les bases pour la négociation et la conduite d'un projet relatif à la transition énergétique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 - Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines.

C2.3 - Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres.

C4.1 - Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socioéconomiques

3EN5230 – Analyse de Cycle de vie et empreinte carbone

Responsables : **Herve Gueguen**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présente les principes et méthodologies de l'analyse en cycle de vie et en particulier le calcul des empreintes carbonées

3EN5240 – Modélisation des systèmes énergétiques et études stratégiques

Responsables : **Herve Gueguen**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de présenter les principes et les outils de modélisation et d'analyse pour les études prospectives d'évolution des systèmes énergétiques

Prérequis

NA

Moyens

Cours et conférences

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Compréhension des mécanismes de modélisations et simulation

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1

3EN5500 – Projet ENE-SES

Responsables : **Herve Gueguen**

Département de rattachement : **MENTION SYSTÈMES & ÉNERGIE DURABLE (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10, SG11

Prérequis

Aucun

Organisation de l'évaluation

L'évaluation sera basée sur :

- la prise en compte et la formalisation de la problématique
- l'organisation générale du projet et la communication au sein de l'équipe
- la précision et la rigueur des échanges techniques avec les encadrants
- la qualité du travail, des résultats et des livrables du projet.

Celles-ci seront formalisées par

- une évaluation intermédiaire en fin de séquence 10 (25 %)
- une évaluation finale en fin de séquence 11(75%)

DOMINANTE GRANDS SYSTEMES EN INTERACTION (GSI)

3GS1010 – Ingénierie des systèmes complexes

Responsables : **Marija JANKOVIC**

Département de rattachement : **DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La complexité grandissante des systèmes actuels ne permet pas de résoudre les problèmes ad hoc. Il est nécessaire d'organiser la résolution systématique de ces problématiques en se basant sur une approche système. L'ingénierie système apporte une démarche résolution collaborative et conjointe des problèmes complexes. Elle se base sur la prise en compte de cycle de vie des systèmes ainsi que les contraintes relatives à ces évolutions.

Ce cours a pour objectif d'initier les élèves aux méthodologies avancées d'analyse de systèmes et se base sur les connaissances et les compétences acquises dans le cours de « Modélisation système » en ST5. Ainsi, les techniques les plus avancées seront discutées dans le cadre de ce cours. L'objectif est de préparer les élèves à être aux frontières des connaissances de l'ingénierie système et d'être les vecteurs de changements dans les entreprises.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

A travers d'une mise en situation, un projet complexe, les élèves seront amenés à déployer les démarches constitutives de l'ingénierie des systèmes complexes. Le principe des classes inversé va être mis en place pour aider l'apprentissage des méthodes et des outils de l'ingénierie des systèmes complexes.

Les sujets abordés seront :

1. Introduction à l'ingénierie système, le processus de l'IS,
2. Introduction à l'architecture système, la définition, le lien avec la notion du concept, la modélisation de l'architecture fonctionnelle, organique et la gestion des interfaces
Introduction à la notion de l'architecture, Introduction à la notion de la fonction et les modélisation fonctionnelles, Introduction à la notion de la structure et les modélisation « organiques », Définition des interfaces et leurs gestion, Introduction à la notion de la standardisation & modularité, Faire le lien avec l'ingénierie des exigences
3. Prise de décision et management des compromis
Introduction à la notion de management des compromis des performances (Trade space exploration),
4. Introduction à la branche remontante du modèle en « V », la définition de l'intégration et des notions de Validation et la Vérification dans l'IS
Introduction à la notion de la Validation et la Vérification, Lien avec l'ingénierie des exigences, Introduction à la notion de Plan de Validation

Organisation de l'évaluation

Évaluation basée sur le Projet

Support de cours, bibliographie

- INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, 2016
- NASA Systems Engineering Handbook, 2016

- “Trade-space exploration”, Crawley, MIT Press.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Maîtrise et déploiement de l'ingénierie système
- Compréhension des processus de développement, des phases et des activités
- Compréhension des métiers et l'appui de ces derniers à la mise en place d'ingénierie système
- Maîtrise de la notion d'architecture systèmes et les différentes modélisations permettant de capturer les informations relatives aux architectures, en lien avec les cadres d'architectures (NAF, DAF, TOGAF, etc.)
- Maîtrise des techniques de l'analyse et l'optimisation des systèmes
- Maîtrise des techniques de base d'aide à la décision relatif à l'architecture système

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C4 - Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C7 - Savoir convaincre

C8 - Mener un projet, une équipe

3GS1030 – Introduction au management des opérations et à la supply chain

Responsables : **Bruno Croizat, Evren SAHIN**

Département de rattachement : **DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours initie les élèves au Management des Opérations et Supply Chain en développant un panorama d'enjeux et de problématiques liés à la conception, au pilotage et au management de systèmes de production et de distribution de biens et de services :

- Comprendre les enjeux et problématiques des opérations de production et de distribution de biens et de services (des plus stratégiques aux plus opérationnels)
- Développer la connaissance des systèmes de production de biens et de services, types et particularités, vision, objectifs, pilotage, structure et organisation, management, aujourd'hui et tendances Industrie 4., Supply Chain Digitale, omnicanal...
- Montrer la diversité des dimensions à intégrer : santé, sécurité, finance, environnement, social et humain
- Identifier le besoin d'amélioration des systèmes pour s'adapter aux évolutions de l'environnement (social, réglementaire, médiatique, ...) et les attentes des clients, du personnel
- Comprendre comment s'articulent les décisions/processus permettant de concevoir et piloter des systèmes de production et de distribution pour répondre aux enjeux et problématiques identifiées- les dimensions organisations et processus du SCM

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Avoir suivi un cours électif ou une séquence thématique en lien avec le Management des Opérations et Supply Chain serait un plus.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction à la supply chain orientée clients
- Typologie de supply chains, produits, services et clients
- Processus, décisions, organisation et management
- Indicateurs de performances
- Organisations et processus, management
- Compte d'exploitation type, OPEX / CAPEX
- Besoin d'amélioration
- Conception d'une supply chain agile et résiliente
- Réseau industriel - Réseau de fournisseurs
- Réseau de distribution
- Planification et pilotage de flux dans une supply chain
- Industrie du futur, 4.0, transformation numérique et sociale
- Technologies et usages

Déroulement, organisation du cours

Cours Magistraux et témoignages industriels
Exercices et Etudes de cas

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu et projet en groupe en fin de cours

Support de cours, bibliographie

- Lee Krajewski, Larry Ritzman, Christopher Townley, Jacky Renart, *Management des opérations*, 2e éd., Pearson, 2010.
- Stephen Robbins, David DeCenzo, Mary Coulter, Charles-Clemens Rüling, « Le management des opérations », dans : *Management. L'essentiel des concepts et pratiques*, Pearson, 2014, p. 507-539.
- [Management Industriel et Logistique : Concevoir et piloter la Supply Chain](#), Baglin et al.

Moyens

Une équipe de professeurs CS experts en Management des Opérations, des intervenants industriels

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Avoir compris les enjeux et problématiques liés à la conception, au pilotage et au management de systèmes de production et de distribution de biens et de services
- Savoir identifier les différentes dimensions à intégrer : économique, environnemental, social et humain
- Comprendre l'articulation des décisions et des processus qui permettent de concevoir, piloter et optimiser les performances d'un système de production et de distribution

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le cours permettra en particulier de développer les compétences suivantes :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C5- Evoluer et agir dans un environnement international, interculturel et de diversité

C9- Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS1050 – Modélisation technico économique

Responsables : **Yannick PEREZ**

Département de rattachement : **DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce module est double : dans un premier temps, les différents outils de modélisation technico-économiques seront présentés. Ces outils seront ensuite appliqués dans plusieurs cas pratiques (modèles technico-économiques du développement de réseaux de transport d'électricité, des coûts de déploiement des bornes 4G, des choix d'investissements dans différentes technologies de production électrique, de niveau sureté des centrales de production électriques...).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Pas de prérequis.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction et retour sur les notions de base
 - a. La mesure de la valeur : l'approche par les prix
 - b. La mesure de la valeur : l'approche par les coûts
 - c. L'impossible consensus sur les mesures des coûts : Gravité et système métrique
 - d. Panorama des modèles technico-économiques : quelle quadrature du cercle
2. La modélisation technico-économique des réseaux de transport
 - a. Le problème économique : l'exercice du bilan prévisionnel du Réseau de Transport Electrique (RTE) a pour finalité de prévoir les besoins du réseau électrique en France à 2035-2050 pour le financer efficacement
 - b. La logique de construction des scénarios pour prévoir-préparer le futur
 - c. Quelles pistes de perfectionnement du modèle utilisé et quelles limites ?
3. La modélisation technico-économique des investissements en production électrique
 - a. Le problème économique : dans quelle technologie de production électrique les entreprises doivent-elle investir ?
 - b. Les paramètres techniques : volumes d'investissement, production, disponibilité...
 - c. Les paramètres économiques : taux d'actualisation, part de financement propres, risque de signature, incertitude de marché...
 - d. La sensibilité au risque et la prise de décision
4. La modélisation technico-économique des infrastructures de téléphonie mobiles
 - a. Le problème économique : qui des opérateurs ou de l'Etat pour réaliser les investissements ? Quels effets de substitution – de création de zones blanches et quelle contrainte de service public ? Comment les coûts sont-ils pris en compte dans cette situation
 - b. Remboursement au coût déclaré par les opérateurs ou contrat incitatif ?

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et études de cas

Organisation de l'évaluation

Contrôle final sous la forme d'un examen écrit de 45 minutes, consistant en une analyse de projet industriel à commenter en fonction des notions vues en cours

Support de cours, bibliographie

1. ARCEP (2017) les enjeux de la 5G : https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/rapport-enjeux-5G_mars2017.pdf
2. MIT (2003), The future of Nuclear Power. <http://energy.mit.edu/research/future-nuclear-power/>
3. MIT (2007), The future of Coal Power. <http://web.mit.edu/coal/>
4. MIT (2011), The future of Natural Gas power. <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2011/06/MITEI-The-Future-of-Natural-Gas.pdf>
5. MIT (2012), The Future of Electrical Grid. <http://energy.mit.edu/publication/future-electric-grid/>
6. RTE (2017), Bilan prévisionnel de l'équilibre offre demande d'électricité en France. https://www.rte-france.com/sites/default/files/bp2017_complet_vf.pdf
7. Worldbank (1998), Handbook on Economic analysis of Investment decision <http://siteresources.worldbank.org/INTCDD/Resources/HandbookEA.pdf>
8. Worldbank (2006), Handbook for evaluating infrastructure regulation <http://siteresources.worldbank.org/EXTENERGY/Resources/336805-1156971270190/HandbookForEvaluatingInfrastructureRegulation062706.pdf>

Moyens

Équipe enseignante : Yannick Perez, Vincent Rious

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

1. Réaliser un calcul économique et en comprendre les principales hypothèses
2. Analyser des projets d'investissements et en déterminer les conditions de validité

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences validées :

C1
C9

3GS1060 – Projet de fin de séquence

Responsables : PIERRE ALEXANDRE PHELIPOT, Marija JANKOVIC, Evren SAHIN, François CLUZEL, Guillaume Sandou

Département de rattachement : DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 40

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 24,00

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce projet de fin de séquence SD9 est d'ancrer les enseignements dispensés pendant la séquence de la dominante GSI et de permettre aux élèves de se confronter aux défis réels d'ingénierie des systèmes complexes. En lien avec des problématiques industrielles dans le périmètre de la dominante, les élèves devront proposer des scénarios ou des solutions de façon à répondre aux spécifications imposées pour la conception de différents systèmes : pilotage de systèmes complexes, conception de systèmes technologiques, gestion et opérations des systèmes. Dans ce contexte de l'exploration d'un sujet concret, les élèves pourront mettre en œuvre les méthodes et les approches vues en cours.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Pas de prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

Les élèves auront la possibilité de choisir un des trois projets qui reflète le périmètre d'une des trois mentions. Les choix ne sont pas conditionnés par les mentions que les élèves suivront en séquences 10 et 11. L'objectif de ce projet est de permettre aux élèves de travailler sur des systèmes très variés leur permettant d'acquérir une vision transversale de l'ingénierie des systèmes complexes.

L'organisation du projet suivra les étapes suivantes :

- Présentation du sujet et des livrables attendus,
- Travail par groupe en autonomie avec l'appui de l'équipe enseignante,
- Présentation des solutions retenues et développées aux membres du jury.

Déroulement, organisation du cours

Projet

Organisation de l'évaluation

Remise d'un rapport et soutenance du projet devant un jury.

Support de cours, bibliographie

NA

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 - Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C4 - Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C7 - Savoir convaincre

C8 - Mener un projet, une équipe

3GS2010 – Commande des systèmes non linéaires

Responsables : **Pedro Rodriguez-Ayerbe**

Département de rattachement : **MENTION CONTROL ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **85**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **51,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de présenter les méthodes et concepts permettant d'analyser un cahier des charges concernant la commande d'un système dynamique, de concevoir une loi de commande pour un système complexe à partir d'un modèle dynamique nominal non linéaire, et d'implémenter une loi de commande se fondant notamment sur les algorithmes d'optimisation. Ce cours aborde et compare ainsi en particulier différentes approches de détermination de lois de commande basées soit directement sur le modèle non-linéaire soit sur une approximation linéaire : commande optimale (programmation dynamique, principe de Pontryagin, commande Linéaire Quadratique / LTR), commande prédictive et commande par mode de glissement.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- SG1 : Convergence, Intégration, Probabilités, Equations aux dérivées partielles
- ST2 : Modélisation
- ST4 : Traitement du signal
- ST5 : Commande des systèmes dynamiques
- SD9 : Commande des systèmes complexes.

Plan détaillé du cours (contenu)

Partie 1 : Commande linéaire quadratique gaussienne (LQG) (CM : 6h, TD 3h, TP 3h)

Cette première partie introductive aborde la commande linéaire quadratique à partir d'une représentation d'état linéaire. La loi de commande est obtenue par minimisation d'un critère quadratique qui considère un compromis entre la performance souhaitée et l'effort de commande. La loi de commande peut être complétée si besoin par la synthèse d'un observateur. Les outils de synthèse et analyse étudiés dans cette partie sont nécessaires pour aborder ensuite les techniques de commande non linéaires.

- Commande Linéaire Quadratique (LQ)
- Cas des perturbations mesurables et leurs rejets
- Commande LQ avec action intégrale
- Commande par retour d'état avec observateur
- Filtre de Kalman (dualité avec la commande LQ)
- Commande Linéaire Quadratique Gaussienne (LQG)
- Théorème de séparation
- Analyse des performances et de robustesse d'une loi de commande
- Définition des marges de stabilité dans le cas multivariables.
- Cas particulier des marges de stabilité dans le cas monovariables
- Cas particulier des lois LQ et LQG - Loop Transfer Recovery (effet LTR)

Partie 2 : Commande non linéaire (CM : 4,5h, TD 3h, TP 3h)

Cette première partie aborde dans un premier temps l'analyse de la stabilité des systèmes non-linéaires par la première et deuxième méthode de Lyapunov, c'est-à-dire, par linéarisation et à travers des fonctions de Lyapunov. Elle introduit également l'étude des trajectoires autour des points d'équilibre dans le plan de phase

pour les systèmes d'ordre 2. Ensuite la liaison entre linéarité et non-linéarité est étudiée, avec notamment la linéarisation par bouclage des systèmes non-linéaires. Finalement, une commande à structure variable est présentée : la commande par mode de glissement. Cette technique sera étudiée pour la synthèse de lois de commande et la synthèse des observateurs.

Partie 3 : Commande optimale (CM : 6h, TD 3h, TP 3h)

Cette deuxième partie a pour but de présenter et appliquer des méthodes de calcul de lois de commande optimale à partir d'une représentation d'état. Premièrement les résultats principaux liés à la commande optimale d'un système non-linéaire sont présentés via la programmation dynamique. Le principe du maximum de Pontryagin définissant les conditions d'optimalité est présenté et des méthodes numériques pour la résolution de la commande optimale sont traitées : la résolution du problème aux deux bouts par les méthodes de tir et l'étude des arcs singuliers. Après on aborde le cas particulier de la commande LQ, correspondant à la commande optimale à critère quadratique pour les systèmes linéaires. Elle présente enfin la commande en boucle ouverte et la génération des trajectoires.

- Programmation Dynamique
- Principe du maximum de Pontryagin
 - Résolution du problème aux deux bouts par les méthodes de tir
 - Etude des arcs singuliers
- Open-loop control et génération de trajectoire

Partie 4 : Commande prédictive (CM : 4,5h, TD 3h, TP 3h)

La partie "commande prédictive" a pour objectif de présenter les idées de base de la stratégie prédictive. Dans le cas général non-linéaire sous contraintes, les méthodes d'optimisation sous contraintes permettant l'élaboration de la loi de commande sont plus spécifiquement analysées en termes de faisabilité et de charge de calcul temps réel. Dans le cas particulier linéaire sans contrainte, aboutissant à l'élaboration du régulateur sous une forme RST équivalente, deux méthodes (GPC et PFC) sont plus spécialement développées et comparées, sous l'aspect performances et choix des paramètres de réglage. Des extensions à une structure cascade sont envisagées.

- Aspect anticipatif
- Contraintes
- Optimalité

Intervention industrielle (4,5h)

Déroulement, organisation du cours

Ce cours est constitué de cours magistraux (CM), de TD et de TP.

Organisation de l'évaluation

La note finale est calculée à partir de l'évaluation des rapports du travail réalisé dans 4 TP. La note prend en compte le travail de préparation, d'analyse et les résultats expérimentaux lors des séances de TP de 3h.

Support de cours, bibliographie

- H. K. Khalil, "Nonlinear systems" (3rd ed), Prentice Hall, 2002.
- V. Utkin, J. Guldner et J. Shi, "Sliding Mode Control in Electromechanical Systems", Deuxième édition, CRC Press, 2009.
- P. Boucher, D. Dumur, "La commande prédictive", Collection Méthodes et pratiques de l'ingénieur, Editions Technip, Paris, 1996.
- J. M. Maciejowski, "Predictive control with constraints", Ed. Prentice Hall, Pearson Education Limited, Harlow, 2002.
- B. D. O. Anderson and J. B. Moore, Optimal Control - Linear Quadratic Methods, Prentice Hall, 1989.
- Bryson, A. E., Ho, Y. C., "Applied optimal control: optimization, estimation and control". CRC Press, 1975.

Moyens

L'équipe enseignante constituée par :

M. Didier Dumur - Commande Prédictive (Cours/TD) - Département Automatique
Mme. Sihem Tebbani - Commande Optimale (Cours/TD/TP) - Département Mécanique Énergétique Procédés
M. Pedro Rodriguez-Ayerbe - Commande non linéaire (Cours/TD/TP) - Commande Prédictive (TD/TP) - Commande Optimale (TP) - Département Automatique

Salle de TP dédiée bâtiment Eiffel.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable d'analyser un cahier de charges concernant la commande d'un système dynamique. A partir d'un modèle éventuellement non-linéaire du système dynamique ils seront aussi capables de choisir le modèle de synthèse, linéariser autour d'un point de fonctionnement ou non-linéaire, et la méthode de commande la plus appropriée pour vérifier le cahier des charges. Ils seront enfin capables de synthétiser la loi de commande et d'analyser les caractéristiques de performance et de robustesse obtenues avec cette commande.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours est donc l'occasion pour les étudiants d'approfondir leurs compétences **C1.2**, **C1.3**, **C1.4**, **C2.1** et **C2.2**.

- Concevoir une loi de commande à partir d'un modèle dynamique nominal.
- Analyser un cahier de charges concernant la commande d'un système dynamique
- Implémenter une loi de commande à base d'optimisation

3GS2020 – Modélisation et commande de systèmes hybrides

Responsables : **Giorgio Valmorbida**

Département de rattachement : **MENTION CONTROL ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les systèmes de transport, les réseaux d'énergie ou d'eau, les procédés industriels et agro-alimentaires, les systèmes de production, la robotique, les réseaux de communication, les systèmes biologiques, sont des systèmes dynamiques dont la maîtrise est vitale pour le développement de nos sociétés. Dans ces classes de systèmes nous trouvons des processus à temps continu commandés et supervisés numériquement par des processus dont l'évolution s'exprime en temps discret. Pour atteindre les niveaux de performance et de sécurité requis pour ces systèmes il est impératif de tenir compte des phénomènes liés à cette évolution à la fois en temps continu et en temps discret.

Les systèmes dynamiques hybrides (SDH) constituent le cadre théorique et méthodologique qui permet la prise en compte explicite et simultanée des phénomènes continus et événementiels pour assurer efficacement leur l'analyse et la la conception des lois de commande.

L'objectif de ce cours est de sensibiliser l'ingénieur à la problématique spécifique des systèmes dynamiques hybrides. Seront traités les diverses composantes allant de la description mathématique (modélisation, outils d'analyse de la stabilité, stratégies de commande) aux aspects méthodologiques (simulation, analyse numériques) avec des illustrations sur des applications.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Cours de la dominante Grand Systèmes en Interaction

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours sera divisé en deux parties de 6 heures chaque. Les définitions et résultats présentés seront illustrés par des exemples pratiques dans différents domaines d'application (véhicules automobiles, électronique de puissance)

Partie 1 : Modélisation et simulation (3 heures de cours - 3 heures de TD)

Représentations mathématiques de systèmes hybrides et leur simulation temporelle. Les points abordés seront

- Caractérisation des phénomènes hybrides,
- Automates hybrides,
- Systèmes à commutations,
- Systèmes affines par morceaux,
- Simulation hybride.

Partie 2 : Analyse et Commande (3 heures de cours - 3 heures de TD)

Analyse du comportement des systèmes et synthèse de lois de commande

- Modèle bien posés, phénomènes Zeno,
- Stabilité
- Temps de séjour,
- Commande stabilisante

Déroulement, organisation du cours

Cours avec tableau et transparents. TD sur machine.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours sera composée d'une liste d'exercices individuelle et de comptes-rendus de TD à être fait en binôme.

Liste d'exercices (40%), Comptes-Rendus des séances de TDs (60%)

Support de cours, bibliographie

Switching in Systems and Control. Daniel Liberzon. Birkhauser, 2003

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Giorgio VALMORBIDA
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : Groupe de la mention Control Engineering.
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Simulink, Stateflow et Matlab, Outils de programmation semi-définie (Yalmip, SeDuMi, Mosek)
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : Salles de TP à consulter dans l'EDT.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de

- Reconnaître le comportement hybride du système étudié
- Choisir un modèle adapté pour représenter et simuler le caractère hybride du système
- Analyser le comportement du système hybride, en particulier de vérifier des conditions pour sa stabilité
- Mettre en œuvre une commande hybride stabilisante

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les compétences visées dans cet enseignement sont :

C1.2 : Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème.

C2.2 : Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

3GS2030 – Analyse globale des systèmes dynamiques non-linéaires

Responsables : **Antoine Chaillet**

Département de rattachement : **MENTION CONTROL ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Parmi les sources de complexité d'un système figurent la non-linéarité des équations qui le régissent et l'interaction de multiples sous-systèmes qui le constituent. Les cours de Modélisation 1A et d'Automatique 2A, ainsi que nombre de cours proposés en 3A dans la mention « Control engineering », permettent de modéliser, d'identifier, de commander et de quantifier la robustesse de systèmes autour d'un point de fonctionnement donné. Le but de ce cours est d'offrir des outils permettant d'analyser le comportement global d'un système : non plus seulement au voisinage du point de fonctionnement considéré, mais en prenant en considération sa dynamique dans son entièreté, et notamment ses éventuelles composantes non-linéaires. Une telle approche permet non seulement de garantir que les non-linéarités ne compromettent pas les prévisions théoriques de performances obtenues à partir du système linéarisé (ou au moins de déterminer leur domaine de validité), mais également d'étudier des systèmes évoluant sur un cycle limite. Ce cours se focalise volontairement sur les techniques d'analyse et n'aborde donc pas de techniques de commande spécifiques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- ST2 : Modélisation
- ST4 : Traitement du signal
- ST5 : Commande des systèmes dynamiques
- Ensemble des cours de la mention 3A « Control engineering ».

Plan détaillé du cours (contenu)

Chapitre 1 : Problématiques spécifiques aux systèmes non-linéaires (CM : 1.5h)

Ce premier chapitre introduit les difficultés propres à l'analyse de systèmes dont la dynamique est non-linéaire. Il aborde en particulier de potentielles problématiques de robustesse vis-à-vis de perturbations externes, malgré une bonne stabilité interne. Il aborde également des problèmes liés à l'interconnexion de systèmes en montrant notamment que l'interconnexion en série de systèmes stables peut conduire à l'instabilité (ce qui n'est pas le cas pour les systèmes linéaires). Il évoque enfin la complexité des solutions pouvant être générées par des dynamiques non-linéaires, telle que l'existence de cycles limites ou de phénomènes chaotiques.

Chapitre 2 : Outils pour l'analyse de systèmes autonomes (CM : 6h, TD : 1.5h)

Ce deuxième chapitre rappelle brièvement les techniques d'analyse de la stabilité par linéarisation et propose, au travers des fonctions de Lyapunov, une méthode permettant d'évaluer la taille du domaine d'attraction d'un équilibre stable. Il approfondit également l'analyse de la stabilité par fonctions de Lyapunov au travers du principe d'invariance de LaSalle. Il introduit ensuite la représentation dans le plan de phase des solutions d'un système bidimensionnel ainsi que la notion de cycle limite, qui peut être attractif ou non. Il présente enfin le critère du cercle et la méthode du premier harmonique, permettant notamment d'analyser la stabilité de systèmes bouclés affectés par un organe non-linéaire.

Chapitre 3 : Outils pour l'analyse de systèmes perturbés (CM : 4.5h)

Ce chapitre introduit la notion de stabilité entrée-état, qui garantit une certaine robustesse au système vis-à-vis de perturbations externes, ainsi que des outils permettant de garantir cette propriété en pratique.

Chapitre 4 : Outils pour l'analyse de systèmes interconnectés (CM : 3h)

Ce dernier chapitre utilise la propriété de stabilité entrée-état pour étudier la stabilité de systèmes constitués de sous-systèmes interconnectés. Il se focalise en particulier sur l'interconnexion en série et sur l'interconnexion feedback.

Déroulement, organisation du cours

Ce cours est constitué de cours magistraux et de TD.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est faite sur la base d'un examen écrit en fin de cours (1,5h).

Support de cours, bibliographie

- Nonlinear systems, by Hassan K. Khalil, Prentice Hall, 2002
- Nonlinear Dynamics and Chaos, with applications to physics, biology, chemistry, and engineering, by Steven Strogatz, CRC Press, 2015
- Régulation Industrielle, Chapitre 17 : Analyse des systèmes non linéaires, by E. Godoy et coll., 3ème Ed., Dunod, 2019.

Moyens

L'équipe enseignante est constituée de deux professeurs du département d'Automatique.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables d'analyser un système dynamique dans sa globalité (c'est-à-dire sans se limiter à sa linéarisation autour d'un point de fonctionnement) et de garantir sa robustesse vis-à-vis de perturbations externes, d'incertitudes paramétriques ou de dynamiques négligées. Ils seront également capables d'étudier des systèmes ne convergeant pas vers un point d'équilibre, mais dont les trajectoires évoluent de manière périodique. Ils seront enfin capables de prédire si l'interconnexion de sous-systèmes stables ne compromet pas la stabilité du système complet.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours est l'occasion pour les étudiants d'approfondir leurs compétences **C1.2**, **C1.3**, **C1.4**, **C2.1** et **C2.2**.

3GS2040 – Architectures de commandes de systèmes complexes

Responsables : **Cristina-Nicoleta Maniu**

Département de rattachement : **MENTION CONTROL ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Lorsque les systèmes contiennent de nombreux composants pour lesquels il est intéressant de conserver une certaine autonomie ou confidentialité (Smart Grid, Industrie 4.0) ou lorsque leur structure est amenée à évoluer dynamiquement (essaim de drones, autoroute intelligente), il est important de structurer la commande afin qu'elle puisse s'adapter tout en garantissant le niveau de performance attendu. L'objectif de ce cours est de présenter les approches de commande décentralisée/distribuée/hierarchisée/à base de consensus et les conditions pour qu'elles permettent d'atteindre les performances des commandes centralisées enseignées dans les autres cours pour des systèmes complexes, en gardant des temps de calculs raisonnables.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Commande des systèmes dynamiques (2A)

Plan détaillé du cours (contenu)

Partie 1 : Modélisation et commande des systèmes complexes (3h CM & 3h TD)

- Modélisation des systèmes complexes

- Commande prédictive centralisée/décentralisée/distribuée

Partie 2 : Commande par consensus (3h CM & 3h TD)

- Graphe de communication

- Commande par consensus

- Application à la commande des systèmes multi-véhicules en formation

Partie 3 : Etude de cas (6h)

- Scénario, état de l'art, simulations, expérimentations (travail en petits groupes tutorés)

Partie 4 : Soutenance (3h)

- Posters interactifs : voir, par exemple, la soutenance de 2022 sur ce lien

https://twitter.com/centralesupelec/status/1513506223416651781?s=20&t=OkQQpLLgULxJ4TNN56_YnQ

Déroulement, organisation du cours

- Cours interactifs

- TD avec Matlab

- Etude de cas

- Expérimentations sur des systèmes multi-véhicules

- Travail en petits groupes tutorés

- Evaluation par les pairs

Des expérimentations sur des formations des robots mobiles sont envisagées (financement via les projets : 1. *MEECOD – Moderniser l'Enseignement par l'Expérimentation sur la Coordination de Drones*, avec le soutien de

l'UPSaclay pour les projets *Initiatives Pédagogiques – Oser !* ; 2. *DAReTeach – Drone Arenas-based Remote International Teaching, avec le soutien de la Fondation FACE – French-American Cultural Exchange in Education and the Arts* ; 3. *(Re)CreativeRobot – (Re)Creative Mobile Robotics for Kids, avec le soutien de la Fondation International Federation of Automatic Control*).

Organisation de l'évaluation

La note finale est calculée à partir de l'évaluation du rapport (50%) et l'évaluation du poster interactif, tant sur sa réalisation que sur sa présentation orale (50%).

Une évaluation par compétences est également envisagée. Les compétences C1, C7 et C8 seront évaluées.

Support de cours, bibliographie

- I. Alvarado, D. Limon, D. Muñoz De La Peña, J.M. Maestre, M.A. Ridao, H. Scheu, W. Marquardt, R.R. Negenborn, B. De Schutter, F. Valencia, J. Espinosa, "A comparative analysis of distributed MPC techniques applied to the HD-MPC four-tank benchmark", *Journal of Process Control*, 21 (5), 800-815, 2011.
- V. Baillard, A. Goy, N. Vasselín, C. Stoica Maniu, "Potential field based optimization of a prey-predator multi-agent system", *Preprints of the 9th Vienna International Conference on Mathematical Modelling*, Vienna, Austria, pp. 725-726, February 21-23, 2018.
- L. Bakule, "Decentralized control: An overview", *Annual Reviews in Control*, 32, pp. 87–98, 2008.
- T. Chevet, C. Vlad, C. Stoica Maniu, Y. Zhang, "Model Predictive Control techniques for UAVs formation deployment and reconfiguration", *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, Springer, Special Issue on "Unmanned Aerial Systems", pp. 1-16, 2019.
- G. Cohen, "Optimisation des grands systèmes", *polycopié CERMICS-Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et INRIA*, 2004.
- A. J. Conejo, E. Castillo, R. Mínguez, R. García-Bertrand, "Decomposition Techniques in Mathematical Programming", *Engineering and Science Applications*, Springer, 2006.
- M. Farina, G. Ferrari Trecate, "Decentralized and distributed control", *EECI-HYCON2 Graduate School on Control*, Gif-sur-Yvette, 2015.
- F. Fele, J.M. Maestre, E.F. Camacho, "Coalitional control: Cooperative game theory and control", *IEEE Control Systems Magazine*, 37 (1), 53-69, 2014.
- J. Lunze, "Feedback control of large scale systems", Upper Saddle River, NJ, USA: *Prentice Hall, Systems and Control Engineering*, 1992.
- J. M. Maestre, R. Negenborn, "Distributed Model Predictive Control Made Easy", *Springer*, 2014.
- M.T. Nguyen, "Commande prédictive sous contraintes de sécurité pour des systèmes dynamiques Multi-Agents", *thèse de doctorat*, Université Paris-Saclay, 2016.
- K.K. Oh, M.C. Park, H.S. Ahn, "A survey of multi-agent formation control", *Automatica*, vol. 53, pp. 424-440, 2015.
- I. Prodan, "Commande des systèmes dynamiques Multi-Agents en présence de contraintes", *thèse de doctorat*, Supélec, 2012.
- J.B. Rawlings, D. Q. Mayne, "Model predictive control: theory and design", *Nob Hill Pub.*, Madison, WI, USA, 2009.
- Y. Rochefort, H. Piet-Lahanier, S. Bertrand, D. Beauvois, D. Dumur, "Model predictive control of cooperative vehicles using systematic search approach", *Control Engineering Practice*, vol. 32, pp. 204-217, 2014.
- D.D. Siljak, "Decentralized control of complex systems", *Mathematics in Science and engineering*, vol. 184, Academic Press, 1991.
- S. Wilson, P. Glotfelter, L. Wang, S. Mayya, G. Notomista, M. Mote, M. Egerstedt, "The Robotarium: Globally Impactful Opportunities, Challenges, and Lessons Learned in Remote-Access", *Distributed Control of Multirobot Systems*, *IEEE Control Systems Magazine*, 40(1), 26-44, 2020.
- A. Zafra-Cabeza, J.M. Maestre, M.A. Ridao, E.F. Camacho, L. Sánchez, "A hierarchical distributed model predictive control approach to irrigation canals: A risk mitigation perspective", *Journal of Process Control*, 21 (5), 787-799, 2011.

Moyens

Equipe enseignante : Cristina Stoica, Cristina Vlad, Sylvain Bertrand (ONERA)

Des expérimentations sur des robots mobiles dans la volière de CentraleSupélec sont prévues.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce module, les élèves seront capables de :

1. Décrire et reconnaître un système complexe (de grande taille, multi-agents, etc.) en effectuant une étude

- bibliographique de travaux précédemment effectués sur le sujet ;
2. Modéliser et structurer un système complexe (de grande taille, multi-agents, etc.) en proposant une représentation dynamique appropriée ;
 3. Analyser et traduire un cahier des charges, ainsi que proposer une structure de loi de commande pour un système complexe (de grande taille, multi-agents, etc.), en suivant une démarche d'analyse à base du modèle considéré ;
 4. Identifier les limites d'une commande centralisée d'un système complexe (de grande taille, multi-agents, etc.) en analysant le comportement du système corrigé par rapport au cahier des charges ;
 5. Synthétiser une loi de commande décentralisée/distribuée/hierarchisée/à base de consensus pour un système complexe (de grande taille, multi-agents, etc.) et la valider en simulation ;
 6. Appliquer la loi de commande proposée à un système réel de multi-véhicules, en ajustant l'algorithme de commande développé.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 – Analyser : étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc.

C1.2 – Modéliser : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes

C1.4 – Concevoir : spécifier, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

C2.3 – Identifier et acquérir de façon autonome les nouvelles connaissances et compétences nécessaires

C5.3 – Analyser les enjeux globaux et/ou locaux à l'international et adapter des projets ou solutions à ceux-ci

C7.1 – Savoir convaincre sur le fond : Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

C7.3 – Savoir convaincre sur soi : Être à l'aise et se montrer convaincu, manifester de l'empathie et gérer ses émotions

C8.1 – Construire le collectif pour travailler en équipe

C8.2 – Mobiliser et entraîner un collectif en faisant preuve de leadership

3GS2050 – Modélisation, identification et analyse des systèmes

Responsables : **Guillaume Sandou**

Département de rattachement : **MENTION CONTROL ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **65**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **39,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La modélisation d'un système et la détermination de valeurs numériques pour les paramètres du modèle est une étape préalable cruciale pour le pilotage des systèmes complexes. Elle permet, entre autres, d'analyser les propriétés structurelles du système.

Ce cours aborde tout d'abord les méthodologies permettant de représenter un système et d'étudier les concepts de stabilité, commandabilité, observabilité dans le cadre de systèmes multivariables. Le cas des systèmes non linéaires est également abordé. Les techniques d'identification sont ensuite présentées (méthodes à erreur de prédiction) en insistant sur la conception de l'expérience.

L'objectif général de ce module est ainsi de donner aux étudiants les concepts, outils et méthodologies permettant de modéliser et représenter un système, d'identifier des valeurs numériques pour le ou les modèles obtenus, d'analyser ses propriétés structurelles (stabilité, pôles, zéros, commandabilité...), et de le simuler dans un contexte multi-physique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Cours CentraleSupélec :

- Modélisation : représentation et analyse des modèles (ST2)
- Commande des Systèmes Dynamiques (ST5)

Prérequis généraux :

- Calcul matriciel, notions d'intégration numérique des équations différentielles

Plan détaillé du cours (contenu)

A. Représentation et analyse des systèmes, Structuration des systèmes, réduction d'ordre : 24 HPE (15 HPE cours + 9HPE TD)

Cette partie du module revient sur des notions abordées dans le cours de commande des systèmes dynamiques en ST5 en les complétant en adoptant le point de vue des systèmes multi-variables. Les concepts de normes de système et de réduction d'ordre sont également présentés.

- Compléments sur la représentation d'état des systèmes linéaires (7,5 HPE cours, 1,5 HPE TD, 1,5 HPE TD récapitulatif)
- Commandabilité, observabilité, Grammiens, représentation minimale, pôles et zéros multivariables
- Norme de systèmes (1,5 HPE cours)
- Norme H2, norme Hinfini, norme de Hankel
- Analyse des systèmes non linéaires (4,5 HPE cours, 3 HPE TD)
- Fonctions de Lyapunov, théorème de stabilité, commandabilité et observabilité des systèmes non linéaires, linéarisation par bouclage
- Réduction d'ordre (1,5 HPE cours ; 3 HPE TD)
- Méthodes fondées sur la décomposition en valeurs singulières, méthode de décomposition propre orthogonale (POD), méthode des grammiens équilibrés

B. Identification des systèmes : 13,5 HPE (7,5 HPE cours + 3 HPE TD + 3 HPE TP)

Cette troisième partie aborde les méthodes permettant de déterminer les valeurs numériques d'un modèle du système. La démarche proposée cherche à aller au-delà des algorithmes proprement dits pour insister sur l'importance de la conception de l'expérience et du choix du modèle. L'accent est porté sur les modèles exprimés sous forme de fonctions de transfert à temps discret.

- Généralités sur l'identification d'un processus générateur d'un système (linéaire)
Généralités objet/Modèle. Modèles candidats : modèles à erreur de sortie, à erreur d'équation (AR, MA, ARMA... ARX, ARMAX, OE...). Protocole expérimental : choix d'un signal analyse, utilisation de SBPA, précautions opératoires, Prétraitement de données.
- Identification non paramétrique de modèle linéaire
Traitement par corrélation. Application à la détermination d'une réponse impulsionnelle à l'aide d'une SBPA.
Analyse harmonique : utilisation de la TF, de l'estimation des dsp. Influence du bouclage.
- Identification paramétrique de modèle linéaire
Principes. Distance objet/modèle. Méthode à erreur de prédiction (Prédicteur à passé infini, principe). Cas des modèles ARX, ARMAX.
Cas général : Méthode à erreur de prédiction, analyse asymptotique, recherche itérative, calcul de gradients. Interprétation fréquentielle du critère minimisé.
Régression linéaire : Méthode des moindres carrés. Analyse asymptotique, mise en œuvre QR, moindres carrés récursifs. Méthode de la variable instrumentale. Recherche et validation d'une structure. Analyse des résidus. Variantes des moindres carrés : Moindres carrés étendus, moindres carrés généralisés.
- Etude de laboratoire de 3h

Déroulement, organisation du cours

- Cours et Tds illustrés par des exemples tirés de problématiques industrielles réelles.
- Etude de laboratoire illustrant la thématique d'identification.

Organisation de l'évaluation

- Examen écrit (1,5 HPE, 2/3 de la note du module) sur la partie A. Documents et calculatrices autorisées
- Evaluation de la partie B – Identification à partir du compte-rendu de l'Etude de Laboratoire (1/3 de la note du module).
- La compétence C1 sera évaluée lors de l'examen écrit et la compétence C6 sera évaluée lors du TP Identification

Support de cours, bibliographie

- William S. Levine. The Control Handbook. CRC Press. ISBN 9781420073669
- OpenModelica User's Guide, Release v1.16.0
- Lennart Ljung. System Identification: Theory for user. Prentice Hall, Information and system sciences series.
- Torsten Söderström, Peter Stoica. System Identification. Prentice Hall International series in Systems and Control Engineering.

Moyens

- Équipe enseignante : Guillaume SANDOU, Stéphane FONT
- Outils logiciels : Matlab
- Salles de TP et maquettes du Département Automatique, 10 postes

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :

- Choisir et manipuler la représentation d'un modèle de système multivariable éventuellement de grande dimension
- Analyser les propriétés structurelles d'un modèle
- Réduire l'ordre d'un modèle en fonction du but recherché pour ce modèle
- Proposer une structure de représentation de l'expérience au vu des données, à partir de modèles à temps continu, à temps discret

- Mettre en œuvre l'identification des paramètres des transferts (à temps discret) intervenant dans la structure de représentation d'un objet
- Analyser la pertinence du modèle déterminé, notamment en prenant en compte l'analyse des résidus de l'identification.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le module permettra de travailler sur les compétences suivantes :

- **C1.2** Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème
- **C1.3** Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation
- **C2.2** Transposer à d'autres champs disciplinaires, généraliser des connaissances.
- **C3.2** Remettre en cause ses hypothèses de départ, ses certitudes. Surmonter ses échecs. Prendre des décisions
- **C6.1** Identifier et utiliser au quotidien les logiciels nécessaires pour son travail (y compris les outils de travail collaboratif). Adapter son "comportement numérique" au contexte.
- **C8.1** Travailler en équipe/en collaboration.

3GS2210 – Modélisation et analyse des systèmes incertains

Responsables : **Guillaume Sandou**

Département de rattachement : **MENTION CONTROL ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Un système complexe est toujours soumis à des incertitudes (paramètres mal connus, phénomènes négligés, perturbations). Ce cours présente des méthodologies de modélisation et d'analyse permettant de traiter le cas de systèmes incertains et de garantir des propriétés de stabilité et de performance vis-à-vis de ces incertitudes. Ce cours aborde ainsi l'analyse de robustesse par une approche probabiliste (simulations de type Monte Carlo, propagation d'incertitudes) puis par une approche ensembliste (mu-analyse).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Modélisation : représentations et analyse des modèles (cours de ST2)
- Modélisation, identification et analyse des systèmes (module de SG10 de la mention Control Engineering)

Plan détaillé du cours (contenu)

A. Analyse de robustesse par approche probabiliste (6 HPE : 3 HPE cours + 3 HPE TP (EL avec compte-rendu))

Cette partie revient sur des notions qui ont été abordées brièvement dans le cours de Modélisation (ST2). Des rappels sur les indices de sensibilité sont effectués, et un focus particulier est fait sur les méthodes de type Monte Carlo pour investiguer de façon probabiliste la robustesse d'un système asservi.

- Modélisation probabiliste des incertitudes
- Analyse par Monte Carlo
- Analyse de sensibilité, propagation d'incertitudes

B. Analyse de robustesse par approche ensembliste, mu-analyse (10,5 HPE : 6 HPE cours + 1,5 HPE TD + 3 HPE TP (EL avec compte-rendu))

Cette partie traite d'une méthode d'analyse de robustesse particulièrement efficace, reposant sur la norme Hinfini. Le cours aborde la représentation des systèmes sous forme standard, puis décrit l'analyse de robustesse non structurée (théorème du petit gain) puis l'analyse de robustesse structurée (mu-analyse).

- Modélisation ensembliste des incertitudes (intervalle, ellipsoïde, par la norme Hinfini)
- Mise sous forme standard
- Analyse non structurée de la robustesse, théorème du petit gain
- Mu-analyse pour la robustesse de la stabilité : incertitude paramétrique, dynamique négligée
- Ouverture à l'analyse de la robustesse en performances

C. Intervention industrielle (1,5 HPE cours)

Déroulement, organisation du cours

- Cours et Tds illustrés par des exemples tirés de problématiques industrielles réelles.

- Étude de laboratoire et mise en situation pour l'implémentation de méthodes d'analyse de robustesse
- Conférence industrielle

Organisation de l'évaluation

- Compte rendu d'Étude de Laboratoire sur l'analyse de robustesse par Monte Carlo (50% de la note)
- Compte rendu d'Étude de Laboratoire sur la mu-analyse (50% de la note)
- Les compétences C1 et C6 sont évaluées durant ces Etudes de Laboratoire

Support de cours, bibliographie

- Gilles Duc, Stéphane Font, Commande H infini et mu-analyse. Hermès.
- Kemin Zhou, John C. Doyle, Keith Glover, Robust and optimal control. Prentice Hall, 1996, ISBN 0134565673, 9780134565675
- Johnathan Mun, Modeling risk, third edition: applying Monte Carlo Risk simulation, strategic real options, stochastic forecasting, and portfolio optimization. Wiley

Moyens

- Équipe enseignante : Guillaume SANDOU, Stéphane FONT
- Outils logiciels : Matlab
- Salles de TP et maquettes du Département Automatique, 10 postes

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce module, les étudiants seront capables de :

- représenter les incertitudes par une approche probabiliste ou ensembliste
- analyser et garantir les propriétés de stabilité d'un système asservi en dépit des incertitudes
- implémenter numériquement les méthodes d'analyse de robustesse

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le module permettra de travailler sur les compétences suivantes :

- **C1.2** Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème
- **C1.4** Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe
- **C6.5** Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.
- **C8.1** Travailler en équipe/en collaboration.

3GS2220 – Commande des systèmes incertains

Responsables : **Maria Makarova**

Département de rattachement : **MENTION CONTROL ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours aborde la commande des systèmes par des outils méthodologiques faisant appel à des outils théoriques plus avancés que ceux introduits en 2^{ème} année à l'occasion du cours d'Automatique et en séquence 9 de la dominante GSI. Il traite en particulier les aspects incertitude, observation dans un contexte stochastique et robustesse.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Cours de séquences 9 (GSI) et 10 (Control Engineering)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Commande par optimisation Hinfini (2 cours x 1,5 HPE ; 2 TDs x 1,5 HPE)
 - Notion de problème standard, résolution par équations de Riccati, par LMI
 - Prise en compte des performances et de la robustesse par introduction de pondérations fréquentielles
- Commande des systèmes à paramètres variant (2 cours x 1,5 HPE ; 1 TDs x 1,5 HPE)
 - Introduction aux systèmes LPV
 - Analyse de stabilité et performance : système polytopique, système sous forme LFT
 - Calcul d'un correcteur : système polytopique, système sous forme LFT
- Estimateurs avancés (3 cours x 1,5 HPE ; 2 TDs x 1,5 HPE)
 - Rappels : Filtre de Kalman à temps continu, filtre asymptotique dans le contexte de la commande par variables d'état
 - Filtre de Kalman à temps discret
 - Extensions du filtre de Kalman (variantes) : termes mesurés, bruits de mesure et d'état corrélés, bruits non blancs
 - Contexte non linéaire : filtre de Kalman étendu (EKF), filtre sans parfum (UKF)
- Etude de cas (intervention industrielle)
 - 1 BE x 3 HPE

Les notions du cours seront appliquées à l'occasion d'un TP de 3h dans le cadre du module "Mise en œuvre expérimentale".

Déroulement, organisation du cours

Les cours magistraux illustrés par des exemples seront alternés avec des séances de TD sur ordinateur (en binôme/trinôme) pour mettre en pratique les notions présentées sur des cas d'étude représentatifs. Les séances de TD/TP en présentiel pourront nécessiter un travail personnel préparatoire hors classe.

Une mise en œuvre expérimentale sur maquette des notions vues dans le cours est prévue (module "Mise en œuvre expérimentale").

Organisation de l'évaluation

Les acquis d'apprentissages seront évalués à partir du travail réalisé en TP de 3h "Mise en œuvre expérimentale" (évaluation du travail réalisé en préparation et lors de la séance, et du compte-rendu).

Support de cours, bibliographie

Y. Bar-Shalom, X.-Rong Li, Thiagalingam Kirubarajan, Estimation with Applications to Tracking and Navigation: Theory, Algorithms and Software, Wiley 2002

R. G. Brown, P. Hwang, Introduction to random signals and applied Kalman filtering. Wiley, 1997

Jean-Marc Biannic, Variations autour de la commande LPV, cours ISAE : http://jm.biannic.free.fr/PDF/coursISAE_LPV.pdf, 2014.

G. Scorletti, V. Fromion. Automatique Fréquentielle Avancée, polycopié Centrale Lyon, : http://cel.archives-ouvertes.fr/docs/00/42/38/48/PDF/cours_Hinf_Lyon.pdf, 2009.

O. Sename, P. Gaspar, J. Bokor (Eds.), Robust Control and Linear Parameter Varying Approaches – Application to Vehicle Dynamics, Springer, 2013.

S. Skogestad, I Postlethwaite, Multivariable feedback control – Analysis and design (2nd edition). John Wiley and Sons, 2005.

K. Zhou, J.C. Doyle, K. Glover, Robust and Optimal Control. Prentice Hall, 1996.

Moyens

Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) :

- Commande par optimisation Hinfini: Stéphane Font
- Commande des systèmes à paramètres variants : Cristina Stoica
- Estimateurs avancés : Maria Makarov
- Etude de cas (intervention industrielle) : Philippe Feyel (Safran)

Taille des TD : 15 élèves max par groupe (mise en œuvre sous Matlab)

Outils logiciels et nombre de licences nécessaire : Matlab (avec a minima les boites à outils Control et Robust Control)

Salles de TP : Salles du Département Automatique

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de mettre en place des méthodes d'estimation dans diverses situations et notamment pour des systèmes non linéaires et/ou incertains, et de faire la synthèse de commandes robustes pour des systèmes linéaires et linéaires à paramètres variant (ou non linéaires traités comme tels).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours est l'occasion pour les étudiants d'approfondir leurs compétences **C1.2**, **C1.3**, **C1.4**, **C2.1** et **C2.2**.

- Concevoir et implémenter une loi de commande tenant compte des incertitudes du modèle ou de paramètres variants
- Concevoir des estimateurs dans le contexte de systèmes non linéaires et/ou incertains.

Compétence évaluée à l'issue du cours : **C1** jalon 3

3GS2230 – Sûreté de fonctionnement et maintenance prédictive

Responsables : **Anne BARROS**

Département de rattachement : **MENTION CONTROL ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **32**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **19,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

La sécurité des systèmes de production et des infrastructures est une préoccupation majeure des industriels et des pouvoirs publics. Les systèmes électroniques programmables, et en particulier les systèmes de contrôle commande, sont largement impliqués dans les processus de réduction des risques et peuvent même être considérés comme critiques. A ce titre, une norme a été créée par la Commission électrotechnique internationale (norme IEC61508) traitant de la sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables (E/E/EP) relatifs à la sécurité. De très nombreux secteurs d'activité comme le ferroviaire, le nucléaire, l'automobile, la production pétrolière et gazière, la pétrochimie et la chimie, le secteur manufacturier utilisent des versions déclinées par métier de cette norme. L'objectif est d'évaluer, via des outils d'analyse quantitatifs et qualitatifs, la fiabilité ou la disponibilité des systèmes de contrôle commande utilisés pour assurer la sécurité d'une installation.

Ce cours reprend d'abord les concepts et méthodes classiques de la sûreté de fonctionnement (arbres de défaillance, diagrammes de fiabilité, chaînes de Markov, simulation Monte-Carlo...) couramment utilisés pour évaluer la fiabilité ou la disponibilité des systèmes de contrôle commande et répondre aux exigences normatives en termes de sécurité. L'accent est mis ensuite sur le développement de stratégies de maintenance prédictive en intégrant les problématiques de diagnostic et de contrôle adaptatif spécifiques aux systèmes de contrôle commande.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Connaissances de bases en probabilité, statistiques et simulation de Monte Carlo.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Sûreté de fonctionnement, modèles statistiques, machine Learning et modèles probabilistes (3h)
2. Analyse qualitative des systèmes de contrôle commande : analyse fonctionnelle/dysfonctionnelle, arbres de défaillance, diagrammes de fiabilité, graphes (3h)
3. Calcul de disponibilité des systèmes à architecture fixe (capteurs - contrôleur - actionneurs) à partir d'arbres de défaillance et de modèles booléens (calculs exacts et approchés), facteurs d'importance et lien avec les problématiques de diagnostics (3h)
4. Calcul de disponibilité des systèmes à architecture ou commande variables à partir de chaînes de Markov et simulation de Monte Carlo (3h)
5. Application à la maintenance prédictive I : modélisation et prévision de la dégradation d'un système. Lien avec les problématiques de diagnostic et reconfiguration (3h)
6. Application à la maintenance prédictive II : mise en œuvre de stratégies de maintenance. Lien avec les problématiques de diagnostic et reconfiguration (3h)
7. Etude de cas (6h)

Déroulement, organisation du cours

9h de cours, 9h de travaux dirigés, 6h de travaux pratiques sur un cas d'étude qui servira d'évaluation

Support de cours, bibliographie

Bibliographie :

- Isermann, R. (2011). "Fault-Diagnosis Applications: Model-Based Condition Monitoring: Actuators, Drives, Machinery, Plants, Sensors, and Fault-tolerant Systems". Springer Berlin Heidelberg.
- Rausand, M.: "Reliability of Safety-Critical Systems: Theory and Applications," Wiley, Hoboken, NJ ,2014.
- Cocozza Thivent, C. "Processus stochastiques et fiabilité des systèmes", Springer, 1997
- Norme IEC61508
- Rausand, M. Barros, A. and Høyland, A.: "System Reliability Theory: Models, Statistical methods, and Applications" (3rd ed.), Wiley, 2020.

Support de cours :

Polycopié de cours, recueil de transparents.

Moyens

- Equipe pédagogique
 - Chargée de cours : Anne Barros
 - Chargée de TD : Anne Barros, Yiping Fang, Zhiguo Zeng
- Outil logiciel : Matlab ou Python

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les objectifs de ce cours sont de donner une culture de base sur :

- les méthodes d'analyse qualitative de la sûreté de fonctionnement des systèmes de contrôle commande, ou des systèmes industriels dans lesquels sont impliqués les systèmes de contrôle commande (compréhension de leur fonctionnement et de leur dysfonctionnement avec un haut niveau d'abstraction dans les phases de conception et d'utilisation).
- les méthodes d'analyse quantitative de la sûreté de fonctionnement qui permettent de calculer des indicateurs de performances de type fiabilité, disponibilité dans les phases de conception et en opération pour les systèmes de contrôle commande. On s'intéressera en particulier aux approches statistiques et aux approches de type machine learning pour les problèmes d'estimation, aux calculs de lois de probabilité et à l'utilisation de modèles probabilistes ou de techniques de simulation de type Monte Carlo pour l'évaluation de quantités moyennes.
- l'utilisation des méthodes sus mentionnées pour la mise en œuvre de politiques de maintenance prédictive dans la phase opérationnelle.

A l'issue de ce cours, l'étudiant sera capable de:

- comprendre les problématiques de sûreté de fonctionnement en phase de conception et d'utilisation pour les systèmes de contrôle commande et les systèmes les intégrant,
- réaliser ou spécifier une étude de sûreté de fonctionnement en phase de conception et d'utilisation pour les systèmes de contrôle commande,
- comprendre les problématiques de maintenance prédictive et de contrôle adaptatif pour les systèmes de contrôle commande,
- évaluer le risque encouru pour un choix de conception ou d'utilisation des systèmes de contrôle commande et prendre des décisions sous incertitude.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences validées

- "comprendre les problématiques de sûreté de fonctionnement en phase de conception et d'utilisation" ainsi que "comprendre les problématiques de maintenance prédictive et de contrôle adaptatif" s'inscrivent dans **C2.1**
- "réaliser ou spécifier une étude de sûreté de fonctionnement", "évaluer le risque encouru pour un choix de conception ou d'utilisation des systèmes de contrôle commande" s'inscrivent dans **C2.2** et **C2.3**
- le mode d'évaluation s'inscrit dans **C2.4** et **C8.1**

3GS2240 – Diagnostic et reconfiguration

Responsables : **Sorin Olaru**

Département de rattachement : **MENTION CONTROL ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **37**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **22,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours de Diagnostic et reconfiguration représente la deuxième partie du module de "Supervision des systèmes complexes" et suit le cours dédié à la "Sûreté de fonctionnement".

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- ST2 : Modélisation
- ST4 : Traitement du signal
- ST5 : Commande des systèmes dynamiques

Plan détaillé du cours (contenu)

Partie I : Diagnostic basé sur les données : Tests statistiques

Partie II: Diagnostic basé sur les données: Apprentissage supervisé : modèle de régression et classification, arbres de décisions, réseaux de neurones, k-nn.

Partie III: Les principes de diagnostic à base de modèle. Modélisation des défauts, caractérisation des défauts. Détection et isolation des défauts.

Partie IV: Génération de résidus, évaluation de résidus et diagnostic. Questions de robustesse. Application à la génération résiduelle pour les systèmes LTI.

Partie V: L'approche ensembliste pour l'estimation et l'isolation du défaut basée sur la séparation des ensembles. La génération de résidus et la caractérisation des ensembles via des ensembles invariants.

Partie VI: Les observateurs (à entrée inconnue) comme outil de diagnostic. Application du diagnostic à la reconfiguration d'une boucle de régulation. Commande tolérante aux défauts.

Déroulement, organisation du cours

Le cours correspond à un volume horaire de 18 heures et sera construit sur une structure cours magistraux + travaux dirigés (9h de cours et 9h de TD). Les TDs s'appuieront sur de nombreux cas d'étude issus du monde de l'industrie.

Organisation de l'évaluation

Deux études de cas de 3h seront proposées pour chacun de modules ("Sûreté de fonctionnement" et "Diagnostic et reconfiguration") avec des comptes rendus séparés pour évaluer les compétences C1 et contribuer à hauteur de 1/3 de la note finale. Pour 2/3 de la note finale, l'évaluation se fera lors de l'examen écrit final.

Support de cours, bibliographie

Blanke, M., Kinnaert, M., Lunze, J., Staroswiecki, M., & Schröder, J. (2006). *Diagnosis and fault-tolerant control* (Vol. 2). Berlin: Springer.

Varga, A. (2017). Solving fault diagnosis problems. *Studies in Systems, Decision and Control, 1st ed.*; Springer International Publishing: Berlin, Germany.

Stoican, F., & Olaru, S. (2013). *Set-theoretic fault-tolerant control in multisensor systems*. John Wiley & Sons.

Moyens

Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) :

- Mme. Anne Barros
- M. Sorin Olaru

Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 35 élèves

Outils logiciels et nombre de licence nécessaires : Matlab/Simulink, 18 licences

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

L'objectif de ce cours est d'aborder les problématiques de détection de défauts (ou pannes) et la reconfiguration pour pallier aux pertes de performances et garantir la sécurité. Savoir détecter un comportement défectueux du système ou de l'un de ses composants (capteur, actionneur, sous-composant du système), l'isoler et l'identifier (signature des défauts) réagir en conséquence (reconfiguration, commutation dans un mode dégradé de fonctionnement...) est en effet un point clé de la résilience des systèmes permettant de limiter les interruptions de fonctionnement ou les pertes du système. Les méthodologies de pointe liées à ces questions seront présentées dans le cadre du cours et les participants acquerront les capacités nécessaires pour analyser et concevoir des systèmes tolérants aux défauts.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours est donc l'occasion pour les étudiants d'approfondir leurs compétences **C.1.1, C1.2**

- Concevoir un mécanisme de diagnostic en partant de la description d'un scénario de défaillance et en connaissant le modèle dynamique nominal.
- Analyser un cahier de charges concernant la commande tolérante aux défauts d'un système dynamique
- Implémenter et adapter les méthodes de diagnostic et reconfiguration en fonction de l'application

3GS2250 – Robotique et innovation

Responsables : **Maria Makarova**

Département de rattachement : **MENTION CONTROL ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

A travers l'exemple de la robotique, ce cours aborde l'innovation technologique visant à construire des projets collaboratifs d'innovation.

Les sujets suivants sont abordés :

- expression du besoin, et réponse par une solution robotisée,
- émergence et structuration du projet de développement du système,
- impacts (dimensions économiques, environnementales, sociales, sociétales, production scientifique et technique)

De la recherche amont à la mise en œuvre dans un contexte industriel, ces problématiques sont évoquées au travers de l'état de l'art, défis et perspectives associés. Des exemples et retours d'expérience pratiques illustrent les concepts présentés.

En plus d'une vision transverse sur la construction de projets d'innovation en robotique, deux thématiques scientifiques seront plus particulièrement détaillées en raison de leur fort développement actuel, à savoir la certification de l'IA et la prise en compte de l'humain dans les systèmes robotiques interactifs.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Cours de séquences 9 (GSI) et 10 (Control Engineering)

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Robotique et innovation (cours 2 x 3h, étude de cas 3h)
2. Certification de systèmes robotiques intelligents (cours interactif 3h)
3. Interaction physique humain-robot (cours 3h, étude de cas 3h)

Déroulement, organisation du cours

Série de cours avec experts invités issus des mondes académique et industriel, étude de cas

Organisation de l'évaluation

L'évaluation sera réalisée par chaque professeur à partir d'études de cas, traités en séance en petits groupes, et menant à la production de présentations orales et rendus écrits.

Note finale = (note étude de cas 1 [Guy Caverot] + note atelier 2 [Guillaume Bernard] + note atelier 3 [Pauline Maurice]) / 3

Moyens

Série de cours avec experts invités issus des mondes académique et industriel, étude de cas

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre et élaborer les différentes étapes et aspects de la construction d'un projet collaboratif d'innovation technologique
- Appréhender la complexité de systèmes robotiques innovants, les contraintes liées à leurs intégrations et les métiers de l'ingénieur associé
- Approfondir les aspects scientifiques liées à des développements en cours

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours est l'occasion pour les étudiants d'approfondir leurs compétences **C1**, **C3**, **C9**
Compétences évaluées : **C3** et **C9**

3GS2500 – Projet Control Engineering

Responsables : **Guillaume Sandou**

Département de rattachement : **MENTION CONTROL ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet de la mention Control Engineering couvre toute la période académique de la 3^{ème} année (SD9 - SG10 - SG11) pour un volume horaire de 240HEE.

Ce projet a pour but de mettre en application les méthodes de modélisation, identification et commande de systèmes complexes qui forment le cœur du programme de la mention Control Engineering. Réalisé en binômes ou en trinômes, ce projet pourra prendre la forme :

- D'un projet réalisé en partenariat avec une entreprise, avec un encadrement important de l'équipe enseignante du Département Automatique, appelé "Convention d'Etude Industrielle » ;
- D'un projet réalisé en partenariat avec une entreprise, avec une autonomie plus importante des étudiants, appelé "projet immersion" ;
- D'un projet réalisé en partenariat avec une autre institution académique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10, SG11

Prérequis

Cours de Commande des Systèmes Dynamique de ST5 et cours de la mention Control Engineering

Plan détaillé du cours (contenu)

240 HEE d'octobre à avril regroupant :

- Prise en main du sujet et de la problématique, recherche d'information
- Développement de solutions
- Expérimentation et validation
- Réunions de travail
- Rédaction de rapport
- Présentation orale des résultats

Déroulement, organisation du cours

Projet de 240 HEE

Organisation de l'évaluation

- Rapport et soutenance intermédiaire (25% de la note)
- Rapport et soutenance finale (75% de la note)

Support de cours, bibliographie

Dépendra des sujets proposés

Moyens

En fonction du type de projet et du partenaire :

- Encadrement et expertise des enseignants du Département Automatique ;
- Utilisation des logiciels et des maquettes du Département Automatique ;
- Base de recherche bibliographique disponibles à CentraleSupélec ;
- Mise à disposition de données d'étude et moyens d'essais par le partenaire.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce projet, les étudiants seront capables de :

- Conduire un projet sur une durée relativement importante en respectant les jalons et les livrables ;
- Mettre en œuvre les techniques d'analyse et de pilotage de systèmes complexes ;
- Exercer un regard critique sur les résultats obtenus ;
- Proposer des solutions innovantes et fonctionnelles en réponse à une problématique industrielle.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Le projet sera l'occasion d'approfondir tout ou partie des compétences :
 - **C1** Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
 - **C2** Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers
 - **C3** Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique
 - **C4** voir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
 - **C7** Savoir convaincre
 - **C8** Mener un projet, une équipe

3GS3010 – Management de la R&D et de l'innovation

Responsables : **Bernard YANNOU**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le management de la R&D (recherche et développement) et de l'Innovation est le cœur d'une entreprise. Le cours effectue un panorama des connaissances (théories et méthodologies) allant de la stratégie de R&D d'une entreprise à l'ingénierie de développement d'une offre de valeur (produit ou service accompagné de son modèle économique) en passant par la définition de *roadmaps* marchés et technologies, de plans produits, de la maîtrise des coûts de R&D et des projets de développement, ainsi que des processus et problématiques d'innovation (incluant la protection de l'innovation, la gestion des compétences, les stratégies de partenariat et d'innovation ouverte).

Les objectifs sont de :

1. **Découvrir tous les étages de l'entreprise innovante** : son écosystème, sa stratégie, sa R&D, sa gestion de l'innovation et ses projets de développement de produits / services / modèles économiques nouveaux.
2. **Préparer aux métiers de l'innovation et de l'intraprenariat** qui sont des métiers récents en France et en Europe : métiers de directeur innovation, manager-ingénieur de l'innovation durable, aux rôles d'interfaces sur la chaîne de la valeur (comme responsable projet innovant, responsable du développement de l'innovation ouverte...).
3. **Articuler la stratégie de l'entreprise avec les théories et méthodologies** du management de l'innovation, du management des technologies, des ingénieries de développement, conception et lancement de produits.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

- **Découvrir le système de management de l'innovation par le jeu, Bernard Yannou**

Faire bouger les lignes, développer de nouvelles pratiques managériales, adopter une nouvelle organisation, faire naître une culture résolument tournée vers l'innovation, voilà autant d'objectifs poursuivis par les responsables innovation en entreprise et par les conseillers mandatés pour les accompagner. Mais par où commencer ? Dans quel ordre mener les actions ? Faut-il agir d'abord sur la capacité de l'entreprise à générer les idées ou sur sa capacité à porter des projets ? Faut-il privilégier l'engagement d'un noyau dur ou au contraire chercher à engager toute l'entreprise ? Faut-il passer des mois à penser à sa stratégie ou faire en sorte de réussir un premier projet même s'il n'est pas exceptionnel ?

Les activités permettant de développer la capacité à innover en entreprise sont nombreuses et la récente norme internationale ISO 56002 – Système de Management de l'Innovation – en présente un ensemble assez complet. L'année de l'innovation® est un jeu sérieux développé pour faire découvrir l'ISO 56002 et permettre d'équilibrer toutes les facettes de l'entreprise innovante. Au travers de la pratique du jeu et de l'analyse de la partie et d'une conceptualisation, vous vous formerez et simulerez l'impact de chaque action que vous pourriez mettre en place ou conseiller pour améliorer la capacité à innover d'une organisation.

- **Gérer la recherche et l'innovation au niveau national et européen, Arnault Leservot**
Pourquoi et comment piloter la recherche en France et en Europe ? Pourquoi et comment s'assurer que la France et l'Europe soient en mesure de faire la course sur des technologies clés ? Pourquoi et comment valoriser cette recherche en essayant de favoriser la création de champions industriels par la création d'un tissu de startups deeptech ?
- **Bilan des pratiques d'innovation et des modèles organisationnels dans les grandes entreprises - Nouvelles formes d'innovation, Emilie Vallet.** L'entrée en matière se fait à partir d'un bilan des modèles d'organisations innovantes (où en sont les entreprises ?), les 6 grandes forces qui poussent les entreprises à innover et les formes d'innovation qui sont en train d'émerger.
- **Comprendre les missions d'un directeur de l'innovation et l'intérêt de l'innovation ouverte, Stéphane Martinot.** Générer des innovations en interne, capter les innovations à l'extérieur, les faire mûrir, le tout en les alignant au sein de roadmaps répondant aux objectifs du marché et aux contraintes économiques de la société, tel est le challenge proposé au Directeur de l'Innovation qui doit savoir regarder loin dans le temps tout en gérant le quotidien.
- **Piloter l'innovation : Stratégie, Innovation Amont et Exécution. Patrick Ternier.** Dans le monde entier, la capacité à innover est l'une des 3 priorités absolues des CEO's. Les entreprises se professionnalisent plus ou moins sur les méthodologies de pilotage de l'Innovation. Il s'agit de faire un tour d'horizon des meilleures pratiques et des technologies sous-jacentes utilisées aux US, en Europe et au Japon en faisant ressortir les points forts et faibles respectifs.
- **Utiliser les roadmaps technologique et business, Michel Guiga.** Comment pour une entreprise construire, dans son environnement concurrentiel, sa feuille de route technologique et sa feuille de route marchés ? Puis « cascader » ces feuilles de routes en projets d'innovation puis de développement.
- **Découvrir Radical Innovation Design par le jeu, Bernard Yannou**
Radical Innovation Design® est une méthodologie d'innovation de rupture tirée par les usages inventée par B. Yannou à CentraleSupélec. Compatible avec les méthodes classiques d'innovation (Design Thinking, Théorie CK, Stratégie Océan Bleu), elle s'en différencie en apportant des concepts puissants et un processus structurant uniques qui répondent à des écueils constatés en innovation. Ces apports sont (i) une structuration systématique (activités, usages, usagers, performances clés et "pain points"), (ii) -une segmentation des problèmes permettant de définir le besoin réel, (iii) une intégration de métriques (quantité de douleurs) et de concepts uniques (poches de valeur, périmètre d'ambition), (iv) une mise à disposition d'outils de visualisation et d'aide à la décision. La pratique du jeu sérieux RID permet de se familiariser très rapidement avec ces notions.
- **Réaliser des partenariats de R&D collaborative, Eléonore Venin.** Comment s'associer pour être plus fort ? Quelles stratégies de R&D collaboratives ? Quelles alliances stratégiques ? Quels pièges et comment les éviter et sécuriser la R&D ? Quelle place pour le financement public ?
- **Investir et maîtriser les coûts des projets, programmes et de la R&D, Michel Guiga.** Quels sont les indicateurs financiers aux 3 niveaux suivants : la R&D d'une entreprise, la gestion d'un programme ou d'une business line/unit, d'un projet innovant ou de développement ? Comment bien investir, contrôler et se retirer à temps ?
- **Comprendre le management des technologies, Vincent Boly.** Comment gère-t-on les projets de R&T (recherche et technologie) ? Comment définit-on et appréhende-t-on une technologie ? Quels sont les enjeux et les choix effectués sur les technologies ? Comment mesure-t-on la maturité des technologies, choisit-on ses technologies clés, gère-t-on ses investissements, sa propriété intellectuelle, ses partenariats ?

Déroulement, organisation du cours

Le cours est composé de 10 séances thématiques de 3h. Chaque séance inclut un TD d'une durée de 30 minutes à 1h30.

Organisation de l'évaluation

L'examen est un examen continu (compté comme 10 HPE) qui s'appuie sur un cas d'étude, dans le contexte d'une entreprise, qui est fourni aux étudiants, par groupes de 5 élèves, en début du cours. Il s'agira pour eux de réaliser une mini-étude pour comprendre le contexte et structurer une stratégie et des processus de management de la RDI en se servant des approches successives qu'ils verront.

Support de cours, bibliographie

- Cantamessa M., Montagna F., 2016. Management of innovation and product development - Integrating business and technological perspectives, London: Springer.
- Boly V., 2004. Ingénierie de l'innovation : Organisation et méthodologies des entreprises, Paris : Hermes Lavoisier.

- Cuisinier, C., Vallet, E., Bertoluci, G., Attias, D. & Yannou, B., 2012. Un nouveau regard sur l'innovation - un état des pratiques et des modèles organisationnels dans les grandes entreprises, Paris : Techniques de l'Ingénieur, ISBN 978-2-85059-130-3.
- Yannou, B. & Farel, R. eds. 2011. Déployer l'innovation : Méthodes, outils, pilotage et cas d'étude, Paris : Techniques de l'Ingénieur, ISBN 978-2-85059-129-7. Accès direct à ces fiches pratiques à <http://www.techniques-ingenieur.fr/fiche-pratique/genie-industriel-th6/deployer-l-innovation-dt30/> de Centrale
- Yannou B., Bigand M., Gidel T., Merlo C., Vaudelin J.-P., 2008. La conception industrielle de produits - Volume I : Management des Hommes, des projets et des informations, Paris : Hermès Sciences, Lavoisier, ISBN 2-7462-1921-2.
- Yannou B., Robin V., Micaelli J.-P., Camargo M., Roucoules L., 2008. La conception industrielle de produits - Volume II : Spécifications, déploiement et maîtrise des performances, Paris : Hermès Sciences, Lavoisier, ISBN 2-7462-1922-0.
- Yannou B., Christofol H., Troussier N., Jolly D., 2008. La conception industrielle de produits - Volume III : Ingénierie de l'évaluation et de la décision, Paris: Hermès Sciences, Lavoisier, ISBN volume 3 978-2-7462-1923-6, ISBN général 978-2-7462-1920-4.
- Boly V., "Ingénierie de l'innovation : Organisation et méthodologies des entreprises", Hermes Lavoisier, Paris, 2004.
- Villemeur A., David E., Langrognet E., Massip S., Payonne J., Yannou B., Zebrowski A., Zimmer B., "Innovation Ouverte : 10 recommandations pour plus d'innovation et de compétitivité". Hors-série de la revue Centraliens, Centraliens, 2015.
- ISO 56002 - Innovation Management System

Moyens

Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) :

- **Vincent Boly** est Professeur des Universités à l'INP Lorraine. Il travaille sur l'ingénierie de l'innovation et le management des technologies.
- **Michel Guiga** est Directeur de l'activité conseil en innovation et performance de la R&D de Sogeti High Tech (Groupe Capgemini).
- **Arnault Leservot** est chargé des partenariats industriels pour les infrastructures de recherche au ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI). A ce titre, il est chargé de l'impact socio-économique et industriel des infrastructures de recherche françaises, au sein du ministère français de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. A ce titre, il anime des équipes en lien avec les industriels pour qu'elles fournissent des technologies ou mènent des recherches avec les infrastructures de recherche. Il était auparavant responsable des partenariats industriels au CEA, et y a occupé des postes à différents niveaux de responsabilité dans la recherche et l'innovation.
- **Stéphane Martinot** est Directeur Recherche et Innovation chez Valeo Powertrain Systems.
- **Patrick Ternier** est Fondateur et PDG de Innovation Framework Technologies, précédemment PDG d'une entreprise américaine cotée au NASDAQ.
- **Emilie Vallet** accompagne depuis plus de 15 ans les stratégies d'innovation et de transformation des grands groupes internationaux.
- **Eléonore Venin** est Présidente de Innovation & Strategy Partners (I&SPartners).
- **Bernard Yannou** est Professeur des Universités en Ingénierie de la Conception, Directeur du Laboratoire Génie Industriel (LGI) de CentraleSupélec et Directeur-adjoint de la Recherche en charge de développer l'entrepreneuriat deeptech.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Connaître tous les étages de l'entreprise innovante : son écosystème, sa stratégie, sa R&D, sa gestion de l'innovation et ses projets de développement de produits / services / modèles économiques nouveaux.
- Comprendre les métiers de l'innovation et de l'intrapreneuriat : métiers de directeur innovation, manager-ingénieur de l'innovation durable, rôles d'interfaces sur la chaîne de la valeur comme responsable projet innovant, responsable du développement de l'innovation ouverte...
- Comprendre les articulations entre la stratégie de l'entreprise et les théories et méthodologies du management de l'innovation, du management des technologies, des ingénieries de développement, conception et lancement de produits.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

De manière générale, à partir du référentiel de compétences de CentraleSupélec :

- **C3** – Jalon 3 Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique
- **C4** – Jalon 3 Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- **C8** – Jalon 3 Mener un projet, une équipe

3GS3020 – Ingénierie de la Conception

Responsables : **François CLUZEL**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La conception de produits au sens large (biens, services, modèles économiques) est une des missions principales de l'ingénieur depuis toujours (Eiffel, Michelin, Peugeot, Le Baron Jenney, Bouygues... sont des concepteurs). L'ingénierie de la conception est partie intégrante du génie industriel ; elle consiste à investiguer et définir le besoin d'un nouveau produit, et à mettre en œuvre un processus dit de conception pour aboutir à des spécifications techniques, des prototypes et des validations de performances dans un temps limité, avec un budget de projet limité et en aboutissant à un coût global du produit (incluant le coût d'achat, de possession, de maintenance et de fin de vie) adapté au consentement à payer des clients pour assurer une marge salubre à l'entreprise. Le cours Ingénierie de la Conception vise à présenter les méthodes et outils principaux permettant de couvrir les principales étapes d'un tel processus (définir le besoin, spécifier, générer, valider). Un focus particulier sera fait sur les méthodes et outils de conception durable tout au long des séances pour préparer le Challenge Conception Durable de la séquence de mention. Un ou plusieurs cas d'étude fil rouge permettront aux étudiants d'appliquer l'ensemble des méthodes et outils sur un même produit à reconcevoir.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

SD9 GSI

Plan détaillé du cours (contenu)

Un ou plusieurs projets fil rouge seront utilisés pour les TDs de chaque session. Les élèves travaillent en groupe. Le cas d'étude de l'année dernière était une lanterne LED solaire.

1. Introduction à l'Ingénierie de la Conception
2. Définir le besoin I : Ce cours aborde l'identification d'opportunité de création d'un nouveau produit, ainsi que la définition structurée d'objectifs de conception. Méthodes et outils : caractérisation des utilisateurs, situations d'usage, création de scénarios d'usage produit...
3. Définir le besoin II : Ce cours complète le précédent en apportant des méthodes et outils intégrant la dimension environnementale. Méthodes et outils : caractérisation en cycle de vie, évaluation environnementale d'un produit à reconcevoir, intégration de l'impact en phase d'usage.
4. Spécifier I : Ce cours aborde la caractérisation des fonctions d'un produit et la spécification de performances en vue de la satisfaction des exigences client. Méthodes et outils : Analyse Fonctionnelle, Quality Function Deployment.
5. Spécifier II : Ce cours complète le précédent en montrant comment intégrer l'environnement en analyse fonctionnelle. Méthodes et outils : Analyse Fonctionnelle et Eco-Conception, définition d'Unité Fonctionnelle
6. Générer I : Ce cours s'intéresse à la manière de générer des alternatives de conception pour un nouveau produit, tout en permettant d'élargir la recherche de solutions. Méthodes et outils : exploration d'architectures produit (matrice morphologique), diagramme FAST.
7. Générer II : Ce cours complète le précédent en abordant des outils d'éco-conception, de conception de services et de conception de modèles d'affaire soutenables. Méthodes et outils : outils d'éco-conception, outils de conception de service (service blueprinting), outils de représentation de modèles d'affaire durables.
8. Valider I : Ce cours traite de la création de prototypes illustrant des concepts, et des méthodes pour comparer des alternatives de conception sur la base des performances attendues. Méthodes et outils : prototypage, validation, évaluation subjective et sensorielle, évaluation multiobjectif, Analyse de la Valeur.
9. Valider II : Ce cours complète le précédent en montrant comment intégrer la dimension environnementale en Analyse de la Valeur, et comment réintégrer l'évaluation environnementale en phase de validation. Méthodes et

outils : Analyse de la Valeur et Eco-Conception, évaluation environnementale comparative.
10. Examen final : étude de cas en groupe

Déroulement, organisation du cours

Un cours introductif avec des exercices interactifs + 8 séances suivant un format CM + TD, et un contrôle final sous forme d'étude de cas.

Organisation de l'évaluation

Quiz individuels sur chaque module (50%, regroupés en 4 fois) + étude de cas en groupe (50%) ; l'étude de cas doit permettre à l'étudiant de construire un raisonnement scientifique de conception d'un produit ou d'un service en allant sélectionner et articuler de manière justifiée les approches qu'il juge pertinentes pour atteindre l'objectif fixé.

Support de cours, bibliographie

- Cross, N. (2008). Engineering Design Methods-Strategies for product design. Fourth ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Ulrich K.T., Eppinger S.D. (2016). Product Design and Development. Sixth ed. New-York: Mc Graw Hill Education.
- Yannou, B., Bigand, M., Gidel, T., Merlo, C. & Vaudelin, J.-P. eds. 2008. La conception industrielle de produits - volume i : Management des hommes, des projets et des informations, Paris : Hermès Sciences, Lavoisier, ISBN 2-7462-1921-2.
- Yannou, B., Robin, V., Micaelli, J.-P., Camargo, M. & Roucoules, L. eds. 2008. La conception industrielle de produits - volume ii : Spécifications, déploiement et maîtrise des performances, Paris : Hermès Sciences, Lavoisier, ISBN 2-7462-1922-0.
- Yannou, B., Christofol, H., Troussier, N. & Jolly, D. eds. 2008. La conception industrielle de produits - volume iii : Ingénierie de l'évaluation et de la décision, Paris : Hermès Sciences, Lavoisier, ISBN volume 3 978-2-7462-1923-6, ISBN général 978-2-7462-1920-4.

Moyens

Enseignants :

- François Cluzel, Maître de Conférences au LGI
- Un ou plusieurs doctorants du LGI

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de :

- Connaître les principales approches d'ingénierie de la conception, avec un focus particulier sur la conception durable
- Maîtriser et mettre en œuvre les différentes étapes d'un processus complet de conception
- Sélectionner et appliquer différents outils de conception de produits, services et modèles d'affaire dans une optique d'utilité (conception centrée utilisateur, Analyse de la Valeur) et de durabilité (conception durable)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- **C1.** Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- **C3** Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique
- **C4.** Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- **C9.** Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

3GS3030 – Challenge Conception durable

Responsables : **Yann LEROY, Franck MARLE**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le *Sustainable Design Challenge* a pour ambition d'immerger les élèves dans un projet de conception ou re-conception à forte dimension durable (Environnementale, Sociale, Sociétale, en plus d'Economique). Partant d'une problématique observée et qualifiée par un client, les élèves devront proposer une solution conceptuelle répondant à la problématique. Les élèves prendront soin de justifier l'ensemble des choix réalisés lors des phases d'exploration et de synthèse. La qualité de la justification des choix et en particulier la présentation, même rapide, des alternatives non retenues est aussi importante que la qualité de la solution retenue.

Les solutions devront être agrémentées d'une description détaillée, d'une étude de faisabilité et d'un premier prototype physique ou virtuel.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Présentation des sujets par les entreprises : problématiques et attentes
- Avancement du projet jusqu'à une présentation intermédiaire devant un jury (premières phases de la conception dont premiers éléments de solution).
- Avancement du projet jusqu'à une soutenance finale devant un jury incluant le client
- Des points intermédiaires en dehors des soutenances (nombre et positionnement à déterminer avec les encadrants et les clients), sous forme de revues d'avancement ou de réunions de travail.

Déroulement, organisation du cours

Réalisation de projet, mise en situation, soutien méthodologique et technique

Organisation de l'évaluation

Evaluation du travail par groupe avec ajustement individuel possible, sur la base des présentations et des livrables du projet. Ces éléments seront évalués par un collège composé des partenaires industriels et l'équipe pédagogique encadrante.

Support de cours, bibliographie

Néant sinon supports de cours déjà diffusés dans le cadre du cours Design Engineering

Moyens

Salles de TD, Tableau blanc, petits matériels de prototypage, matériel son/vidéo pour séances plénière (mini cours, conférences, soutenances intermédiaire et finale)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les compétences suivantes seront développées dans le SD challenge

- Comprendre un besoin client
- Savoir initier un projet de conception innovante
- Comprendre et savoir mesurer les enjeux de la conception durable (dont les Objectifs de Développement Durable)
- Savoir gérer un projet en mode agile
- Savoir convaincre (argumenter sa solution)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin de cet enseignement, l'étudiant.e sera évalué.e sur:

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C3 - Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C9 - Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales.

3GS3040 – Master Classes Design Science

Responsables : **François CLUZEL, Flore VALLET**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **15**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **9,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les Master Classes « Design Science » viennent en complément du cours d'Ingénierie de la Conception. Elles visent à faire découvrir aux étudiants des contextes professionnels et activités en lien avec l'ingénierie de la conception et pour lesquels ils ne sont pas familiers. Les étudiants seront au contact de professionnels de la recherche, du design industriel et de l'innovation en entreprise.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

SD9 GSI

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Atelier « Recherche en Science de la Conception » : atelier de 3h organisé au sein de l'équipe Ingénierie de la Conception du LGI ; les étudiants seront au contact des chercheurs (et oui, leurs professeurs sont aussi chercheurs !), incluant tout particulièrement les doctorants. Les étudiants organiseront (sur les HEE non présentielles en amont de l'atelier) et animeront une table ronde pour comprendre d'un côté le métier de chercheur, et également les objets et résultats types de la recherche dans ce domaine.
2. Atelier « Pratiques du design industriel » : atelier de 3h organisé par le studio de design UNITS (sur le campus ou hors les murs), avec un positionnement entre ingénierie et design ; cet atelier permettra aux étudiants de découvrir les facettes du métier de designer industriel trop méconnu des ingénieurs, et ses liens avec l'ingénierie.
3. Atelier « Monde du conseil en innovation » : atelier de 3h organisé avec le cabinet de conseil MEWS Partners. Adrien Gros (Centralien) fera une intervention interactive sur la manière dont les méthodes, outils et processus de conception peuvent aider l'innovation en entreprise, sur la base de ses nombreuses expériences de projets dans différents secteurs. Il abordera des sujets comme l'amélioration continue, l'agilité, le lean, l'usage des données, la R&D performance ; l'intervention vise à plonger les étudiants dans la réalité des projets d'innovation et conception sur le terrain, avec le regard d'un consultant. Il questionnera également le rôle des étudiants, futurs ingénieurs, dans cet écosystème.

Déroulement, organisation du cours

Trois ateliers thématiques organisés sur ou en dehors du campus selon les opportunités.

Organisation de l'évaluation

Validation sur présence + remise d'un rapport de projet professionnel

Moyens

Intervenants :

- Flore Vallet, enseignante-chercheuse au Laboratoire Génie Industriel (LGI) de CentraleSupélec et à l'IRT SystemX
- François Cluzel, Maître de Conférences au LGI
- Yoann Montenot, chargé de projet design au Design Sport de l'Université Paris-Saclay

- Adrien Gros, consultant senior chez Mews Partners, diplômé de l'Ecole Centrale Paris
- Chercheurs et doctorants de l'équipe Ingénierie de la Conception du LGI

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de :

- Connaître et prendre du recul sur différents contextes et acteurs industriels en lien avec la Science de la Conception
- Comprendre ce qu'est une activité de Recherche académique en Science de la Conception
- Comprendre le métier de designer industriel, ses spécificités et ses complémentarités avec celui de l'ingénieur
- Comprendre le rôle de l'Innovation dans différents contextes industriels

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- **C2.** Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

3GS3050 – Ingénierie de l'innovation

Responsables : **Marija JANKOVIC, Stéphane Savelli**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Innover sur un système technique nécessite à la fois (a) un paramétrage de projet clair et ambitieux (b) des outils d'analyse précis permettant d'ouvrir à des pistes d'innovation prometteuses et de déterminer les problèmes-clés à résoudre (c) des outils efficaces de résolution de problèmes (d) un outil d'évaluation des solutions conceptuelles. Cela nécessite donc d'adopter une approche d'ingénierie de l'innovation. Dans ce cours, une approche de ce type est présentée : TRIZ. L'application principale de cette méthode est d'améliorer significativement des produits ou procédés industriels existants ou d'en développer de nouveaux. De nombreuses entreprises globales l'utilisent, parmi lesquelles General Electric, Siemens, Samsung, Hyundai, Philips, Arcelor Mittal. L'objectif de ce cours est d'enseigner les outils de base de TRIZ, et de les mettre immédiatement en pratique sur un cas d'usage non trivial (si possible, un projet réel d'innovation technique soumis par une entreprise industrielle). Ceci de manière à pouvoir les réutiliser plus tard dans un contexte projet. Chaque élève pourra recevoir un certificat de niveau 1 MATRIZ (Association Internationale de TRIZ) offert par l'école, moyennant réussite à un test individuel.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

L'objectif du cours est de vous apprendre à innover sur des systèmes techniques (produits et procédés industriels) à l'aide de quelques outils de base de TRIZ que vous appliquerez directement sur des problèmes d'ingénierie réels.

TRIZ est un acronyme russe romanisé signifiant « théorie de résolution des problèmes inventifs ». Cette méthode a été inventée en URSS en 1948 par Genrikh Altshuller. Après une analyse initiale de 200000 brevets (big data !), celui-ci découvrit que les inventions techniques suivent des schémas universels, indépendants du domaine technique considéré. Le corollaire pratique de cette découverte est que connaissant ces schémas, on peut innover de manière plus efficace.

La version moderne de TRIZ vise désormais l'innovation technique : au-delà de la résolution de problèmes, elle permet de déterminer les problèmes-clés qu'il s'agit de résoudre. Face à une problématique technique difficile qui apparaît à une phase quelconque d'un projet de développement ou pour la phase particulière de « front end of innovation », TRIZ guide de manière structurée la réflexion des ingénieurs en direction des solutions conceptuelles innovantes qui ont le plus de valeur.

Le cours comprend les éléments suivants : introduction à TRIZ et historique, inertie psychologique, analyse des MPV (Main Parameters of Value), benchmark des technologies, analyse des fonctions, analyse de la valeur, analyse de la chaîne de causes et d'effets indésirables, directions de conception et problèmes-clés, analyse des ressources, recherche orientée par fonction, paires de contradictions techniques et matrice d'Altshuller, contradictions physiques et leurs principes de résolution, résolution des problèmes secondaires, évaluation des solutions conceptuelles.

Les élèves modéliseront une partie de leur projet sur le logiciel d'édition graphique gratuit yEd (<https://www.yworks.com/downloads#yEd>).

Déroulement, organisation du cours

Le cours sera équilibré entre la présentation des outils et concepts de TRIZ (assortis d'exemples et d'exercices didactiques) et leur application directe sur cas d'usage / projet.

Le professeur présentera deux cas d'étude non triviaux / projets qui seront choisis par les élèves. Les élèves formeront des groupes de quatre et appliqueront les outils de TRIZ pas à pas, sous la guidance du professeur. Les élèves effectueront aussi une partie de leurs travaux et rédigeront leur rapport/présentation hors présentiel (6h) sous PowerPoint.

A la fin du cours, chaque équipe présentera les résultats de son projet.

Organisation de l'évaluation

La note finale tiendra compte à 80% du rapport écrit et de la présentation orale sur leur projet, et à 20% du test de certification de niveau 1.

Support de cours, bibliographie

Courte biographie de Genrikh Altshuller : <https://matriz.org/about-matriz/about-founder/>

Une analyse rétrospective selon TRIZ d'une demande de brevet d'écran pliable de smartphone par Valeriy Prushinskiy, TRIZ Master : <https://www.youtube.com/watch?v=04GulCuHtcw>

Une conférence TEDx avec Sergei Ikovenko, TRIZ Master, qui introduit les tendances d'évolution des systèmes techniques : https://www.youtube.com/watch?v=cCLFJ_QxM4E&t=11s

Moyens

Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) :

Stéphane Savelli, fondateur et directeur de MP Solving, ingénieur ECP & Université de Stuttgart, docteur en sciences et génie des matériaux, praticien de TRIZ de niveau 3. 15 ans d'expérience préalable dans l'industrie (R&D, bureau d'études, industrialisation, support à la production). 10 ans d'expérience dans les services basés sur la méthode TRIZ.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Comprendre les principaux concepts et outils de base de TRIZ
- Mettre en pratique la résolution d'un problème d'innovation sur un système technique au travers des différentes étapes de la méthode TRIZ
- Construire des modèles de fonction et une chaîne de causes et d'effets indésirables pour des produits
- Formuler des paires de contradictions techniques et les résoudre à l'aide de la matrice d'Altshuller
- Formuler des contradictions physiques et les résoudre

Description des compétences acquises à l'issue du cours

De manière générale, à partir du référentiel de compétences de CentraleSupélec :

- **C3** - Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique
- **C4** - Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- **C8** - Mener un projet, une équipe

3GS3060 – Analyse de conception tirée par les données

Responsables : **Marija JANKOVIC, Walid Ben Ahmed, François CLUZEL**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce module est de doter les élèves de méthodes d'aide à la conception de systèmes (produits et services) performants, robustes et fiables. Un focus particulier est fait sur les méthodes utilisant comme input des données sur les produits/services à concevoir, leurs utilisateurs ainsi que leurs conditions d'usage.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Connaissances de bases en probabilité et en statistiques

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Data Minig for Design : Analyse en Composantes Principales, Classification, Classement, Réseaux Bayésiens, Arbre de décision, Règles d'association
2. Optimal Design : application des PLEX (Plans d'Expérience) pour 1) Etudier l'effet de multiples facteurs sur le comportement d'un système 2) Construire un modèle de comportement d'un système ; 3) Trouver le design optimum pour maximiser la performance d'un système
3. Robust Design : application des PLEX croisés (facteurs de conception x facteurs de bruit) pour : 1) étudier l'influence des paramètres de conception sur la performance et la robustesse d'un système ; 2) Trouver les choix techniques assurant la performance et la robustesse d'un système
4. Reliable Design : Lois de fiabilité/ Essai accélérés/ Dimensionnement d'essais pour l'évaluation de la fiabilité d'un système

Déroulement, organisation du cours

- 4h de cours + 2h de TD sur l'application des différentes techniques de Datamining pour la modélisation de produits et l'exploitation de ces modèles dans la conception
- 3h de cours + 1h de TD sur l'application des plans d'expériences dans l'optimisation des performances d'un système
- 3h de cours + 1h de TD sur l'application des plans d'expériences croisés dans la conception d'un système robuste
- 3h de cours + 1h de TD sur l'application des méthodes de fiabilité pour la conception d'un système fiable

Organisation de l'évaluation

- QCM : Evaluer si l'étudiant connaît le principe de chaque méthode de Datamining et son utilisation dans la conception de produits
- QCM : Evaluer si l'étudiant connaît le principe des Plans d'Expériences et leur utilisation dans l'optimisation de la conception
- QCM : Evaluer si l'étudiant connaît le principe des Plans d'Expériences croisés et leur utilisation dans la conception robuste

- QCM : Evaluer si l'étudiant connaît le principe des méthodes quantitatives pour évaluer la fiabilité d'un système

Support de cours, bibliographie

Formal engineering design synthesis, EK Antonsson, J Cagan - 2005

Data mining for design and manufacturing: methods and applications, D Braha - 2013

Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery, 2nd Edition, by George E. P. Box (Author), J. Stuart Hunter (Author), William G. Hunter

Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans and Data Analyses (Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics-Applied Probability), by Wayne Nelson, Published 1990

Moyens

Vidéoprojecteur

Ordinateur personnel

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Créer et utiliser des données pour le "Design Synthesis" : traduire des critères subjectifs exprimés par le client sous forme de critères physiques du produit/service à concevoir
- Créer et utiliser des données pour le "Design Analysis" : évaluer l'impact des caractéristiques physiques d'un produit/service sur la perception/satisfaction du client
- Créer et utiliser des données pour optimiser les performances d'un système : trouver le jeu de paramètres pour réaliser un design optimum permettant de maximiser les performances d'un système
- Créer et utiliser des données pour robustifier le fonctionnement d'un système : trouver le jeu de paramètres pour réaliser un design robuste permettant de réduire la sensibilité de ses performances vis-à-vis de son environnement d'utilisation
- Créer et utiliser des données pour fiabiliser un système : réalisation d'essais optimums en termes de nombre d'échantillons et de durée d'essai pour démontrer la fiabilité d'un système

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C6 Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

3GS3080 – Séminaire Design & System Sciences

Responsables : **François CLUZEL, Marija JANKOVIC**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **5**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **3,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Séminaire d'une demi-journée pour se retrouver tous ensemble
Donner les informations sur le déroulement de la mention, les stages, etc.
Team-building activity avec un des partenaires de la mention

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

SD9 GSI

Organisation de l'évaluation

Présence obligatoire

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

3GS3110 – Conception de systèmes résilients

Responsables : **Marija JANKOVIC, François CLUZEL, Yiping FANG**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le principal objectif de ce cours est d'introduire les problématiques liées à la conception des systèmes résilients, leur traitement par des outils de modélisation et leur intégration dans un processus de management opérationnel. Les séances sont organisées autour de cas d'études ou de problématiques.

Le cours bénéficie de l'environnement industriel créé par la chaire Risques et Résilience des Systèmes Complexes. Des variations sont possibles sur les cas d'usages. Ils sont définis de manière à donner un échantillon varié des problématiques d'analyse de risque et de résilience en conception.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Connaissance de base en probabilité, statistique, simulation de Monte Carlo, modélisation

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours 1 - Introduction, concepts (risque, fiabilité, robustesse, sécurité, phases de résilience), AMDEC, HAZOP

Cours 2 - Calcul de performance (FT), fiabilité d'un réseau, simulation, modèle de flux du réseau

Cours 3 - Optimisation orientée fiabilité, heuristiques appliquées à la fiabilité (GA, PSO)

Lecture 4 - Cas d'utilisation

Lecture 5 - Cas d'utilisation

Lecture 6- Examen final

Déroulement, organisation du cours

Cours, Travaux pratiques, Présentations d'industriels, Echanges autour de cas d'usage.

Organisation de l'évaluation

Lecture d'articles et examen sur table - 3 heures

Support de cours, bibliographie

Transparents, Documentations fournies par les partenaires industriels.

Moyens

- Equipe pédagogique
 - Anne Barros, Zhiguo Zeng, Yiping Fang
 - Intervenants extérieurs industriels
- Supports : Recueil de transparents et documentation relative aux cas d'usage
- Outils informatiques : Python/Matlab/Outils logiciels propres aux industriels

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre les notions de risque et de résilience pour un système complexe
- Comprendre les enjeux pour analyser et modéliser la résilience des systèmes complexes
- Avoir une vision globale avec différentes techniques de modélisation, leur cadre d'utilisation, leurs atouts et leurs limites
- Comprendre comment les modèles sont utilisés et influencent les processus de décision dans la conception et l'opération des systèmes complexes
- Comprendre quels sont les défis actuels aux niveaux opérationnels et managérial pour la résilience des systèmes complexes

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2 Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C6 Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

3GS3120 – Systèmes de systèmes

Responsables : **Andreas-Makoto Hein**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les ingénieurs de futur sont de plus en plus concernés par le développement d'ensembles de systèmes intégrés d'une manière collaborative. On peut par exemple penser au transport multi modal (bus, métro, train, géré par des acteurs différents), au système de distribution d'énergie et l'intégration des sources d'énergie renouvelable (système de production, distribution, et marchés de l'électricité), au système de contrôle aérien (aéroports, centre de gestion, avions), au système de santé (hôpitaux, système d'information, sécurité sociale, mutuelles), et aux systèmes cyber-physiques (industrie 4.0 etc.). Ces systèmes intégrés d'une manière collaborative (multiples acteurs qui collaborent et qui gèrent des systèmes individuels) sont appelés « systèmes de systèmes ». Les systèmes de systèmes présentent des enjeux qui ne sont pas forcément présents dans la conception des systèmes « traditionnels » (voitures, avions, trains) et nécessitent des compétences spécifiques, notamment, le montage des collaborations, l'interopérabilité (protocoles et standards de l'échange des données), le développement et déploiement incrémental, et la conception des services collaboratifs. Le principal objectif de ce cours est de présenter les méthodes et outils principaux permettant de couvrir les principales étapes de la conception d'un système de systèmes (caractériser le contexte avec les systèmes et acteurs existants, concevoir des trajectoires d'évolution, anticiper l'impact sur des acteurs et la société / l'environnement). Ces méthodes et outils sont appliqués à un cas d'étude fil rouge.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

SD9, SG10

Plan détaillé du cours (contenu)

- Séance 1 : Introduction à la notion de systèmes de systèmes ; définitions et type de systèmes qui rentre dans cette catégorie (systèmes produits services, systèmes cyber-physiques, internet des objets) ; domaines typiques où l'on rencontre des systèmes de systèmes (systèmes multimodaux de mobilité, smart grid) ; Introduction aux cadres de conception des systèmes de systèmes (NAF, DoDAF, etc.) ; Introduction à la conception des systèmes de systèmes et différences avec l'ingénierie système classique (Wave model, capability engineering, evolutionary design, montage des collaborations, systèmes déjà existants)
- Séance 2 : Sélection et caractérisation du contexte d'un système de système : Identification et caractérisation des systèmes existants, leurs interfaces, et acteurs qui gèrent ces systèmes. Caractérisation du contexte sociétal plus large, avec les tendances technologiques, politiques, réglementaires, environnementales.
- Séance 3 : Conception des services collaboratifs et leur intégration dans un système de systèmes. Modélisation des services collaboratifs, processus de conception.
- Séance 4 : Conception de systèmes de systèmes alternatifs, l'analyse de leur performance et compatibilité avec le contexte ; Intégration des systèmes et technologies existants, intégration des nouveaux systèmes et technologies, définition des protocoles et standards d'interaction et échange des données.
- Séance 5 : Développement des scénarios de déploiement – Conception des trajectoires de transition de contexte actuelle ; Identification des freins et verrous potentiels.
- Séance 6 : Principes et outils d'analyse avancée des systèmes de systèmes, par exemple, la conception des systèmes de systèmes rapidement reconfigurables (search and rescue, internet d'objets).

Déroulement, organisation du cours

- Illustration et applications sur les cas concrets
- Interventions industriels
- Travail en équipe sur des cas concrets

Organisation de l'évaluation

Mini-examens de cours en contrôle continu et des rendus projet en fin de cours

Support de cours, bibliographie

- Baldwin, W., Sauser, B., 2009. Modeling the characteristics of system of systems. Syst. Syst. Eng. 2009.
- Boardman, J., Sauser, B., 2006. System of Systems-the meaning of of, in: IEEE/SMC International Conference on System of Systems Engineering. p. 6.
- Hein, A., Poulain, B., Jankovic, M., Chazal, Y., Fakhfakh, S., 2018. Product Service System Design in a System of Systems Context: A Literature Survey, in: 15th International Design Conference Design 2018.
- Hein, A.M., Chazal, Y., Boutin, S., Jankovic, M., 2018. A Methodology for Architecting Collaborative Product Service System of Systems, in: 13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE). IEEE. pp. 53–59.
- Maier, M.W., 1996. Architecting Principles for Systems-of-Systems. INCOSE Int. Symp. 6, 565–573. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.1996.tb02054.x>

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Andreas Hein et autres intervenants en cours de définition, des doctorants du LGI à définir
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 40 élèves max
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : non
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : non

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Connaître les différences entre les systèmes « traditionnels » et les systèmes de systèmes
- Connaître les types des systèmes de systèmes
- Appliquer une approche de la conception des systèmes de systèmes à un cas concrète
- Modéliser les aspects principaux d'un système de systèmes
- Modéliser le contexte d'un système de système (aspects sociétaux, technologique, environnementaux, politique, réglementaire)
- Analyser la performance d'un système de système
- Générer les systèmes de systèmes alternatifs

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C8 Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS3130 – Human-Systems Integration

Responsables : **Guy-André Boy, François CLUZEL, Marija JANKOVIC**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est basé sur la conception anthropo-centrée (HCD) et la pratique associée dans le développement de prototypes virtuels qui conduit à une tangibilité opérationnelle progressive vers l'intégration humains systèmes (IHS). Il introduit la flexibilité dans la conception et les opérations, la tangibilité des systèmes à forte composante logicielle, le HCD virtuel, les systèmes complexes de plus en plus autonomes, les facteurs humains et l'ergonomie des systèmes sociotechniques, et l'intégration de systèmes de systèmes. Ce cours introduit une approche systémique fondamentale de l'IHS, en termes de maturité, d'autonomie, d'équipe hommes-machines, d'organisations complexes et de gestion du changement, notamment dans les organisations numériques. Ce cours est une introduction approfondie à l'intégration humains systèmes (IHS) qui associe la conception anthropo-centrée sur l'homme (HCD) à l'ingénierie des systèmes pour intégrer les aspects humains et organisationnels les connaissances, les méthodes et les outils nécessaires pour répondre aux exigences de systèmes sociotechniques réussis. Il est organisé en deux parties : (1) IHS : Gestion de la complexité de la technologie, organisations et personnes ; et (2) Conception de systèmes autonomes anthropo-centrés. Le principal objectif est de fournir des connaissances sur l'IHS et d'organiser des activités de développement sur de cas d'utilisation réels avec un soutien industriel extérieur.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun prérequis en plus des disciplines de bases des sciences de l'ingénieur.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Intégration humains-systèmes : Gérer la complexité de la technologie, des organisations et des personnes
Programme des cours sur 11 HPE + 4 HEE supplémentaires :

- Introduction à la conception et à la gestion de l'intégration humains systèmes (IHS) [1 HPE]
- Ingénierie cognitive (modélisation de l'humain pour l'évaluation des problèmes humains) - analyse des fonctions cognitives
- modélisation structure-fonction incluant les humains - théories des systèmes naturels et artificiels [3 HPE].
- Conception et gestion de l'organisation et analyse de la complexité des systèmes sociotechniques - ingénierie agile des systèmes et les facteurs humains associés [2 HPE]
- Conception basée sur des scénarios, modélisation et simulation humains dans la boucle (analyse de l'activité) - tangibilité physique et figurative - jumeaux numériques [2 HPE]
- Exercices IHS (conception participative, évaluation formative...) [2 HPE + 4 HEE supplémentaires]
- Examen de mi-parcours (écrit) [1 HPE]

2. Conception de systèmes autonomes anthropo-centrés
Programme des cours sur 7 HPE + 8 HEE supplémentaires :

- Évolution de l'automatisation - coopération, délégation et confiance entre les humains et les systèmes [1 HPE].
- Autonomie : définitions, discussions et synthèse - modèles et métriques - équipes d'équipes [1HPE]
- De l'automatisation rigide à l'autonomie flexible (niveaux d'autonomie) - évaluation et certification [1 HPE]
- Un cas concret (un des trois) [2 HPE + 8 HEE supplémentaires]
1 : automobile ou aéronautique (éventuellement avec IFSTTAR et/ou Safran)
2 : robotique (éventuellement avec Total)

3 : combat aérien (éventuellement avec l'armée de l'air française)
e. Examen final (écrit et oral) [2 HPE]

Déroulement, organisation du cours

- Dans la première partie, la séquence est de (a) à (f), et dans la deuxième partie (e), la première HPE consiste à énoncer le problème, les 4 HEE supplémentaires sont consacrées aux devoirs pour résoudre les problèmes des exercices, et la deuxième HPE à examiner la résolution des problèmes et les solutions des élèves. L'examen de mi-session est un examen formel qui teste l'acquisition des connaissances.
- Dans la deuxième partie, la séquence est de (a) à (e), et dans la première partie (d), le premier HPE consiste à énoncer le(s) problème(s), les 8 HEE supplémentaires sont consacrés au travail à domicile pour traiter le cas réel choisi - éventuellement un travail pourrait être effectué avec un partenaire industriel lié au cas, et la deuxième HPE pour examiner la résolution de problèmes et les solutions des élèves. L'examen final se présente sous la forme d'un rapport écrit soumis quelques jours avant une présentation orale des solutions du cas réel.
- Notez que des exposés supplémentaires sur invitation peuvent être donnés par les partenaires industriels (ils peuvent être soit obligatoires et remplacer 1 HPE chacun, soit supplémentaires mais fortement recommandés).

Organisation de l'évaluation

Évaluation (Modalités et pondération de chaque évaluation dans la note finale : examen final, examen à mi-parcours, écrit, oral, projet...) : L'examen de mi-parcours sera noté en fonction des résultats obtenus à l'épreuve écrite. L'examen final sera noté avec 50% sur la qualité du rapport écrit et 50% sur la présentation orale des travaux réalisés sur le cas réel.

Support de cours, bibliographie

- Human Systems Integration: From Virtual to Tangible, by Guy André Boy, CRC–Taylor & Francis, USA. 2020.
- Orchestrating Human-Centered Design, by Guy André Boy, Springer, USA. 2013.
- Tangible Interactive Systems, by Guy André Boy, Springer, USA. 2016
- Slides of the classes and additional articles on HSI.

Moyens

Équipe pédagogique : Guy André Boy et ses collègues de l'HSI

Volume des laboratoires (autour des étudiants) : utilisation éventuelle de DIGISCOPE

Outils logiciels et nombre de licences requises : N/A

Salles de laboratoire (département et capacité) : salle de classe ordinaire

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de ce cours, les étudiants seront capables de :

- Prendre en compte les facteurs humains et organisationnels dans la conception de systèmes sociotechniques complexes afin d'améliorer la sécurité, l'efficacité et le confort.
- Connaître et comprendre les grands principes de l'intégration des systèmes humains (HSI) et les appliquer au développement de la conception de systèmes complexes homme-machine.
- Avoir l'IHS l'esprit chaque fois que la conception et le développement de systèmes complexes homme-machine seront concernés.
- Connaître et être capable d'appliquer les principes de l'IHS et de la simulation humains-dans-la-boucle dans le contexte de la conception de systèmes humains-machines.
- Connaître et mettre en œuvre la flexibilité de la conception et des opérations, la tangibilité dans le HCD virtuel, la maturité et la stabilité sociotechnique dans le contexte de la conception de systèmes critiques pour la vie.
- Connaître et appliquer les principales mesures centrées sur l'homme et l'analyse de la complexité (socio) cognitive dans le contexte de la conception de systèmes humains-machines.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1** Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C4** Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- C6** Être à l'aise et innovant dans le monde numérique
- C7** Savoir convaincre
- C8** Mener un projet, une équipe

3GS3140 – Gestion de projet complexe

Responsables : **Franck MARLE**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

- Les projets de conception de systèmes couvrent de nombreuses dimensions, d'un point de vue nombre d'objectifs poursuivis simultanément et nombre de parties prenantes impliquées. De plus, la temporalité des objectifs est importante, puisqu'un projet peut durer quelques années, mais avoir des conséquences sur quelques décennies.
- Ces paramètres nombreux, divers et interdépendants, évoluant dans un environnement dynamique, donnent aux projets une grande complexité. Celle-ci rend plus ou moins difficile la prise de décision, à la fois sur le Quoi, le résultat du projet, mais également sur le Comment, le processus et l'organisation qui vont délivrer ce résultat.
- Ce module de cours vise donc à découvrir des techniques prenant en compte cette complexité et l'émergence de modes de management de projet plus distribués.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- *Bloc 1: Vers une intégration de la complexité dans la prise de décision, application à la gestion des risques projet*
 - Analyse et plan d'actions basiques
 - Modélisation des interdépendances entre risques
 - Analyses du réseau d'interdépendances (topologique, propagation, vulnérabilité)
 - Plans d'actions, à structure constante et en modifiant la structure pour l'adapter à la complexité du réseau (clustering par interdépendance)
 - Ouverture vers la nécessité de modes de management plus distribués pour prendre en compte cette complexité.
- *Bloc 2: Vers une intégration du management distribué dans les prises de décision relatives aux projets complexes*
 - Management distribué 1 : l'holocratie qui peut s'appliquer au niveau multi- puis mono-projet
 - Management distribué 2 : l'agilité, qui peut s'appliquer au niveau mono- puis multi-projet
 - Combinaison d'un management distribué et prenant en compte la complexité et les interdépendances vues dans le bloc 1

Déroulement, organisation du cours

Cours / Cas avec des cas cadrés au départ mais ouverts

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est sous forme de deux rendus correspondant aux deux blocs du cours. Ces travaux sont démarrés pendant les séances et sont à rendre quelques semaines après la fin du cours.

Moyens

Pas de licence logiciel ou matériel spécifique (à part un ordinateur).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue du cours, les étudiant.e.s auront progressé sur les aspects suivants :

- Techniques avancées de gestion des risques et opportunités dans les projets, en tant compte de leurs interdépendances,
- Techniques émergentes de management, plus distribuées et moins hiérarchiques
- Avantages et inconvénients de ces techniques, en particulier quand on les combine.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C4 Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C9 Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS3150 – Transformation Numérique pour les Organisations

Responsables : **Pascal MORENTON**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le "Digital Challenge" propose de traiter une étude de cas de transformation numérique dans une organisation pour la conduite de ses opérations. Des éléments méthodologiques seront présentés et les élèves seront invités à conduire une mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage pour aider une organisation à réaliser sa transformation numérique et l'accompagner. Cette étude constitue une première approche des problématiques liées aux transformations numériques des entreprises et des organisations et des méthodologies à déployer pour adresser ces questions.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours se présentera sous la forme d'un « challenge » de 3,5 jours dont la structure sera la suivante :

- 1ère demi-journée : présentation du cours, des fondamentaux liés aux domaines abordés ; présentation de l'étude de cas et des attendus ; début du travail en groupes ;
- Pendant 3 jours : travail sur l'étude de cas et apports théoriques pour faciliter le traitement de l'étude de cas ; travail en groupes ; préparation des livrables ;
- Dernière demi-journée : soutenances et présentation des livrables ; débriefing et synthèse.

Déroulement, organisation du cours

Pour permettre une pédagogie active particulièrement adaptée au public visé, ce cours sera structuré autour d'une étude de cas où différentes parties prenantes pourront intervenir. Les élèves seront alors invités à endosser le rôle de « consultants » chargés d'accompagner une entreprise ou l'organisation dans sa transformation numérique et de répondre à une mission que l'on définira.

Organisation de l'évaluation

Évaluation d'un mini-projet avec soutenance finale.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- **C1** : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

- **C4** : Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- **C6** : Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique
- **C7** : Savoir convaincre
- **C9** : Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS3155 – Makerspace Challenge "Product-Service design and IoT prototyping"

Responsables : **Samuel Gomes**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à fournir les bases, les méthodologies et les outils pour le système produit-service (PSS) à travers la conception du système cyber physique (CPS) et le projet de prototypage innovant de l'Internet des objets (IoT), en engageant les étudiants dans des expériences pratiques au sein d'un espace de travail collaboratif dédié : le CentraleSupélec Makerspace. L'IoT est une typologie spécifique de CPS, car l'IoT consiste à connecter des "choses" (objets et machines) à l'Internet et entre elles, tandis que les CPS sont l'intégration de calculs, de réseaux et de systèmes/processus physiques résultant d'un processus de conception de produits-services. Dans ce cours, les étudiants explorent des processus de conception et d'ingénierie innovants et mettent leurs compétences scientifiques, techniques et commerciales au service de la conception d'un CPS, comme solution PSS à un besoin client identifié, et expérimentent le prototypage rapide d'un IdO innovant. Ce cours est organisé autour de 2 thèmes principaux :

1- L'approche du design et de l'innovation PSS incluant des méthodes d'innovation lean telles que la réflexion sur le design, les techniques de collecte d'informations afin d'identifier les problèmes et d'imaginer des solutions innovantes pour les villes, les citoyens, les entreprises associées ou les industries avec des données in-situ capturées sur le terrain exploré.

2- Approche de prototypage rapide d'un concept d'IoT innovant :

- apprendre à construire et à utiliser un "Minimum Viable Product" (MVP) pour valider/invalides les hypothèses
- construire un prototype pour itérer et affiner la solution développée (produit ou produit-service) en utilisant les outils de prototypage rapide disponibles à CentraleSupélec Makerspace tels que la modélisation 3D, l'impression 3D, la découpe laser, les machines CNC, etc. pour le matériel, et plateforme de prototypage rapide IoT comprenant des capteurs, des actionneurs et un environnement de cloud computing, etc. pour l'électronique, le middleware et les logiciels
- expérimenter des ateliers interdisciplinaires de conception et d'ingénierie

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

1. "Lean Engineering" et "Lean innovation" et approche de conception systémique des systèmes de produits-services et des Systèmes Cyber-physiques
2. Introduction à la gestion de projets collaboratifs et aux outils de conception collaborative - Application de la méthode SADT au projet (identification des tâches, des résultats attendus et du calendrier) - Validation des projets d'équipe
3. Méthodes et outils pour la collecte d'informations du domaine et bases de l'analyse fonctionnelle externe
4. Conception et prototypage rapide d'architectures de base et programmation de CPS, notamment Capteurs / Actionneurs / Contrôleur / Emetteur-récepteur / Visualisation dans le nuage (feeders et tableaux de bord)
5. Méthodes et outils de conception créative (FAST, C-K et analyse fonctionnelle interne) pour une conception innovante des SCP
6. Modélisation 3D et prototypage rapide de pièces mécaniques
7. Contrôleur IoT et programmation de logiciels (TOKYMAKER + gestion des données dans le cloud)
8. Demande de cas d'utilisation et défense du projet à CentraleSupélec MAKERSPACE

Déroulement, organisation du cours

Des cours magistraux traditionnels et des sessions pratiques aideront les étudiants à comprendre les défis du PSS et à spécifier, concevoir, calculer, programmer et enfin prototyper le "Minimum Viable Product - MVP" de leur concept de CPS.

Organisation de l'évaluation

Évaluation du projet (rapport de projet, présentation finale, démonstration du produit minimum viable)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Tout au long des différents chapitres de ce cours, les étudiants en ingénierie doivent démontrer :

- leur capacité à comprendre les défis de la conception et de l'ingénierie des PSS dans notre société numérique
- capacité à développer, à concevoir des produits (dispositifs, artefacts, etc.), des processus et des systèmes nouveaux et complexes, avec des spécifications incomplètement définies et/ou concurrentes, qui nécessitent l'intégration de connaissances issues du génie mécanique, de la science des matériaux, de l'électronique, de l'informatique ainsi que de contraintes non techniques - sociétales, de santé et de sécurité, environnementales, économiques et commerciales industrielles ; à sélectionner et à appliquer les méthodologies de conception les plus appropriées et les plus pertinentes ou à faire preuve de créativité pour mettre au point des méthodologies de conception nouvelles et originales.
- capacité à concevoir en utilisant des connaissances et une compréhension à la pointe de la spécialisation en ingénierie.
- compétences en atelier et capacité à concevoir et à mener des enquêtes expérimentales, à évaluer de manière critique les données et à tirer des conclusions ;
- compréhension approfondie des matériaux, équipements et outils applicables, des technologies et des processus d'ingénierie, ainsi que de leurs limites ;
- capacité à opérer efficacement dans des contextes de projets de conception réels, en tant que membre ou chef d'une équipe, qui peut être composée de différentes disciplines et de différents niveaux, et qui peut utiliser des outils de communication virtuels.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C3 Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C8 Mener un projet, une équipe

3GS3160 – Master Classes System Science

Responsables : **Marija JANKOVIC**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **10**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **6,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les Master Classes « Simulation processes, system architecture design » ont pour objectif de permettre aux élèves à découvrir les contextes professionnels et la diversité des métiers liés à l'ingénierie des systèmes complexes. Les élèves seront aux contacts des professionnelles à travers des ateliers ou les tables rondes qui ont pour objectif de présenter les métiers différents et les évolutions professionnelles possibles.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Pas de prérequis.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Atelier ou Tables Ronde « System Architecture design » : Atelier ou table ronde qui adressera les métiers qui sont liés aux développements des concepts, architectures et technologies dans les phases amonts de l'ingénierie de la conception (e.g. Portfolio manager, Innovation manager, Product manager, Ingénieur commercial, Ingénieur des réponses aux appels des offres, etc.). La forme de ces 3 heures sera discutée avec les élèves. L'objectif sera d'impliquer les élèves dans son organisation à pourvoir identifier plus clairement leurs questions.
2. Atelier ou Table Ronde « Simulation processes » : Atelier ou table ronde qui adressera les métiers liés aux phases aval, notamment l'Architect de simulation, l'Ingénieur de simulation, l'Ingénieur des tests, l'Ingénieur V&V, etc. Comme pour l'atelier ou la table ronde précédent, la forme sera discutée et proposée en accord avec les questions que les élèves se posent afin de leur permettre d'affiner leurs projets professionnels.

Organisation de l'évaluation

Validation de présence et un rapport d'étonnement pour chaque atelier

Support de cours, bibliographie

NA

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de :

- Connaître et prendre du recul sur différents contextes et acteurs industriels en lien avec L'ingénierie des systèmes complexes
- Comprendre ce qu'est une activité et le métier d'Architecture d'un système complexes
- Comprendre les activités de Simulation et modélisation d'un système complexes ainsi que les métiers

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2 - Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

3GS3170 – Ecologie Industrielle

Responsables : Yann LEROY, François CLUZEL

Département de rattachement : MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY), MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 30

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 18,00

Présentation, objectifs généraux du cours

L'écologie industrielle est une approche qui vise à limiter les impacts de l'industrie sur l'environnement. Elle cherche à considérer un système industriel dans sa globalité pour identifier, modéliser et optimiser les flux matière et énergie, ainsi que les impacts environnementaux associés. Elle vise à reproduire, dans les activités humaines, un système naturel où tous les flux de matière et d'énergie sont réutilisés, où la notion de déchet n'existe plus. L'Ecologie Industrielle est une stratégie clé pour mettre en œuvre une Economie Circulaire. Tous les secteurs économiques sont concernés. L'écologie industrielle est donc naturellement au cœur du Génie Industriel et du Génie des Procédés !

Ce cours électif de mention est commun aux deux mentions Design & System Sciences (Dominante GSI) et Environnement – Production Durable (Dominante VSE). Il vise à introduire les principaux concepts et principes de l'écologie industrielle, qui seront mis en pratique sur un cas d'étude industriel.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

SD9 GSI ou VSE, SG10 GSI/Design & System Sciences ou SG10 VSE/Environnement – Production Durable

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction à l'écologie industrielle & Material Flow Analysis (François Cluzel, Yann Leroy et François Puel) : Introduction aux fondements de l'écologie industrielle comme outil de l'économie circulaire au service de la transition écologique ; illustrations par des exemples de synergies industrielles sur des territoires français ou internationaux, par exemple la bioraffinerie de Pomacle-Bazancourt ou l'usine de nickel Vale NC en Nouvelle-Calédonie ; introduction au Material Flow Analysis comme outil de cartographie des flux de matière et d'énergie d'une installation industrielle.
2. Efficacité énergétique (Grégory Choppinet) : Présentation de cas concrets de projets d'efficacité énergétique menés dans l'industrie ; présentation des outils d'audit énergétique et d'examen de la faisabilité, de la mise en œuvre et du suivi d'un projet ; points de blocage des projets d'écologie industrielle.
3. Symbiose industrielle (Andreas Hein) : définition et illustration du concept de parc éco-industriel ; quels sont les facteurs permettant le développement de symbioses industrielles ambitieuses et pérennes ? Quels sont les outils qui existent pour promouvoir leur développement ?
4. Enjeux économiques et juridiques (Geneviève Ferone-Creuzet) : quel est le cadre réglementaire en place ou à venir autour de l'écologie industrielle, en particulier autour du statut de déchet ? Quels sont les modèles économiques associés ? Quels sont les freins et leviers associés ?
5. et 6. Etude de cas : reconversion d'un parc éco-industriel (Jérémy Chen, Jérémie Benisti, Florian Bettini, Pierre Faure) : le cas d'étude sera réparti sur deux séances en groupes. Le cas étudié vise à proposer des scénarios de reconversion d'une plateforme industrielle (cas d'étude construit sur la base d'un cas réel). Chaque groupe sera porteur d'un projet d'écologie industrielle pour le site, en évaluera la faisabilité technique et économique ainsi que l'impact social et environnemental. La construction d'un projet viable de reconversion pour le site reposera notamment sur l'identification des synergies et interactions entre les différents projets et groupes. Le directeur Energie de Cap Gemini viendra faire un retour d'expérience du projet réel en fin de cas.

Si possible, une visite des installations du réseau de chaleur et de froid Paris-Saclay pourra être organisée un jeudi matin pour les étudiants volontaires.

Déroulement, organisation du cours

- Cours + TD
- Etude de cas en groupe (sur 2 séances)

Organisation de l'évaluation

- QCM individuels en ligne (50% de la note)
- Etude de cas en groupe (50% de la note)

Support de cours, bibliographie

- Adoue, C., 2007. Mettre en oeuvre l'écologie industrielle. PPUR, Lausanne.
- Buclet, N., Barles, S., 2011. Ecologie industrielle et territoriale : Stratégies locales pour un développement durable. Presses Universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq, France.
- Erkman, S., 2004. Vers une écologie industrielle, 2e éd. ed. Charles Léopold Mayer, Paris.
- Hawken, P., Lovins, A., Lovins, L.H., 1998. Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution, 1st edition. ed. US Green Building Council, Boston.

Moyens

Enseignants :

- Yann Leroy et François Cluzel, Maîtres de Conférences au Laboratoire Génie Industriel (LGI)
- François Puel, Professeur au Laboratoire de Génie des Procédés et Matériaux
- Andreas Hein, Chercheur/Architecte système, IRT SystemX
- Grégory Choppinet, Président fondateur, Lemon Energy
- Geneviève Ferone Creuzet, Casabee, ancienne directrice Développement Durable de Eiffage et Veolia Environnement, vice-présidente de la Fondation Nicolas Hulot
- Cap Gemini (étude de cas)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, les étudiants seront capables de :

- Comprendre et maîtriser les tenants et aboutissants de l'Ecologie Industrielle ;
- Découvrir une vision éclairée de l'Ecologie Industrielle au travers de ses différentes facettes (outils d'ingénierie : cartographie des flux de matière et d'énergie (Material Flow Analysis, MFA), Analyse de Cycle de Vie (ACV), audit énergétique, symbiose industrielle ; mais aussi enjeux économiques et juridiques) par l'intervention d'experts complémentaires ;
- Appliquer l'écologie industrielle sur un cas industriel.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- **C1** Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- **C2** Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers
- **C3** Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique
- **C4** Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- **C9** Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS3185 – Les principes de défaillances - Pourquoi les systèmes complexes défaillassent et comment contrôler le risque

Responsables : **Zhiguo ZENG, François CLUZEL, Marija JANKOVIC**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

C'était une soirée tranquille, le 6 juillet 1988. Sous le magnifique coucher de soleil de la mer du Nord, 228 travailleurs commencent à monter à bord de la gigantesque plate-forme de forage pétrolier offshore, le Piper Alpha, et entament leur quart de travail de nuit habituel. Cela semble être une journée comme les autres. La plus grande plate-forme offshore du Royaume-Uni à l'époque continue de produire du pétrole et du gaz sans heurts et tranquillement, jusqu'à ce que les rugissements et les flammes d'une énorme explosion brisent la sérénité de la nuit et dévorent tout. La plate-forme a été complètement détruite et 167 des 228 travailleurs ne sont pas revenus de leur dernier travail. Cette tragédie a choqué le monde entier, car les plates-formes pétrolières offshore modernes comme Piper Alpha ont été conçues avec un grand nombre de systèmes de sécurité reliés de manière "défensive en profondeur" : de tels accidents ne pourraient se produire que si tous ces systèmes de sécurité tombaient en panne, ce qui est considéré comme très improbable, voire impossible.

Malheureusement, des défaillances graves de ce type continuent de se produire dans presque tous les secteurs de la société moderne. Les accidents nucléaires de Fukushima en 2011, la crise financière de 2008, l'explosion de la navette spatiale Columbia en 2003... On pourrait facilement poursuivre cette liste. Ces systèmes sophistiqués créés par l'homme, bien que tous conçus avec des systèmes de sécurité apparemment "imbattables", se sont révélés beaucoup plus vulnérables que prévu. Ils tombent en panne et causent des dommages et des pertes considérables. Quelle est alors la cause exacte de leurs défaillances ? Pourquoi les systèmes apparemment bien conçus deviennent-ils vulnérables ? Peut-on trouver des règles communes régissant ces défaillances ? Si oui, comment pouvons-nous utiliser ces connaissances pour gérer les risques et rendre nos systèmes sûrs et résilients ? Dans ce cours, nous tentons de donner des réponses préliminaires à ces questions.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours comprend 6 conférences de 3h :

- Lecture 1 : Un avion disparu : Comment les interactions complexes font échouer les systèmes.
 - o Le crash de l'AF447 : Présentation et analyse.
 - o Histoire et contexte de la théorie de l'accident normal.
 - o Introduction aux interactions complexes.
 - o Différence entre les interactions complexes et linéaires.
 - o Exemple : L'accident de l'île des trois milles.
 - o Exemple : La pandémie de Covid.
 - o Exemple : Accidents de Boeing 737 max.
 - o TD : Identifier une interaction complexe potentielle par des intuitions.

- Cours 2 : La grande récession : Comment le couplage étroit fait échouer les systèmes.

- o Grande récession : Présentation et analyse.
 - o Introduction du couplage serré.
 - o Différence entre le couplage serré et le couplage lâche.
 - o Exemple : Perturbations de la chaîne d'approvisionnement mondiale.
 - o Exemple : Stabilité de l'Union européenne et de la zone euro.
 - o Mesure de la propension à l'échec par la théorie de l'accident normal.
 - o TD : Mesure de la propension à l'échec des systèmes complexes.
- Cours 3 : Table magique et diagramme fantaisiste : Comment l'AMDE et l'ALE aident à identifier les risques potentiels.
- o Introduction à l'AMDE.
 - o Introduction à l'ALE.
 - o Intégration de l'AMDE et de l'ALE.
 - o Gérer la complexité de l'AMDE et de l'ALE.
 - o Exemple : Le réexamen de l'accident de l'AF447.
 - o TD : Application de l'AMDE et de l'ALE.
- Conférence 4 : Une pandémie qui fait rage : Pourquoi les humains ont tendance à prendre de mauvaises décisions concernant les systèmes complexes.
- o Jeu sérieux : Contrôler une pandémie.
 - o Éléments d'un problème complexe de prise de décision.
 - o Comportements typiques de prise de décision gênante.
 - o Contextes psychologiques des comportements gênants.
 - o TD : Analysez vos propres comportements de prise de décision.
- Cours 5 : Une organisation consciente : Comment la théorie de la haute fiabilité permet d'atténuer les facteurs humains des défaillances.
- o Un crash qui ne devrait pas se produire : Le vol ValuJet 592.
 - o Introduction des facteurs humains et organisationnels.
 - o Théorie de l'organisation à haute fiabilité.
 - o Exemple : Le système de contrôle du trafic aérien.
 - o TD : Application de la théorie de la haute fiabilité.
- Cours 6 : Evaluation à travers un projet de cours.
- o Trouvez une application réelle pour appliquer les théories discutées dans ce cours.
 - o Quelques exemples :
- Analyser les causes de défaillance/accident en se basant sur les théories présentées.
Identifier les risques potentiels.
Il peut s'agir d'exemples de votre vie quotidienne ou d'exemples tirés des journaux, de la télévision ou d'Internet.
- Les cours 1 à 5 sont organisés comme suit :
- o 2h : Cours magistral : Introduction des principales théories du cours.
 - o 1h : Section pratique (TD) : Quelques problèmes/exercices pratiques seront travaillés avec les étudiants.

Organisation de l'évaluation

Il n'y a pas d'examen. Le cours sera évalué par un projet dans lequel les étudiants devront appliquer la théorie apprise pour résoudre un problème du monde réel et rédiger un rapport.

Moyens

Teaching team (names of lecturers): Anne Barros, Yiping Fang, Zhiguo Zeng
 Class size (default 35 students): NA
 Software tools and number of licences required: no
 Practical training rooms (department and capacity): no

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Ce cours vise à donner aux étudiants des connaissances de base sur les raisons pour lesquelles les systèmes créés par l'homme tombent en panne et sur la manière de gérer les risques afin qu'ils puissent être exploités de manière sûre et fiable. Plus spécifiquement, le contenu de ce cours comprend :

- les théories générales sur les raisons de la défaillance des systèmes (par exemple, la théorie de l'accident normal, la logique des défaillances)
- les causes et mécanismes de défaillance courants
- l'identification des sources de risque (par exemple, AMDE, vérification de modèles stochastiques)

- l'atténuation et le contrôle des risques (p. ex., organisation à haute fiabilité, HAZOP) ;
- l'application des méthodes théoriques pour résoudre un problème réel (par le biais d'un projet de cours).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1** Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C2** Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers
- C5** Evoluer et agir dans un environnement international, interculturel et de diversité

3GS3500 – Projet GSI DS

Responsables : **François CLUZEL, Marija JANKOVIC**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet de mention Design & System Sciences est un projet de long terme (d'octobre à avril), en groupe de 4 à 6 étudiants. Ce n'est pas un projet scolaire mais une première mission professionnelle, dans le cadre d'une véritable relation client (société donnant le sujet) - fournisseur (le groupe d'élèves). Les clients seront soit des partenaires de la mention (en priorité), soit d'autres partenaires sélectionnés par les enseignants. Les étudiants travailleront un à deux jours par semaine sur le projet (hors période filières) et pourront être amenés à se déplacer chez le client. Les élèves seront principalement en interaction avec leur client. Un à deux enseignants seront également affecté à chaque groupe pour les accompagner dans leur travail.

Les élèves alternants sont dispensés du projet de mention.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10, SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Les sujets de projet seront dévoilés en septembre.

Déroulement, organisation du cours

Projet en mode client-fournisseur

Organisation de l'évaluation

Les critères suivants seront utilisés lors de la soutenance finale :

- Qualité des résultats fournis au client
- Facilité d'exploitation des livrables fournis
- Qualité du comportement apprécié par le client et les experts enseignants
- Qualité de présentation
- Respect des échéances :
 - Remise des documents
 - Présentations,
 - Rendez-vous obligatoires

Moyens

- 6 à 7 sujets de projet de mention fournis par des partenaires industriels
- Des enseignants encadrants

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, les élèves seront capables de :

- Mener de manière professionnelle un projet industriel
- Reformuler les attentes d'un client et déployer une démarche d'ingénierie adaptée
- Gérer une relation client-fournisseur

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- **C1.** Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- **C4.** Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- **C7.** Savoir convaincre
- **C8.** Mener un projet, une équipe

3GS4011 – Opérations et Supply Chain

Responsables : **Evren SAHIN, Bruno Croizat**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours vise à détailler les grands processus du management de la Supply Chain, et en particulier ceux relevant de la planification des activités de la chaîne de Valeur.

Les objectifs du cours sont :

Identifier les enjeux liés à la prévision de la demande, en lien avec les processus de pilotage de l'entreprise

S'approprier le processus collaboratif de prévision permettant d'obtenir un consensus entre les différents acteurs concernés

Appréhender les différents niveaux de planification de l'entreprise en fonction des horizons temps, du plan stratégique à la planification opérationnelle des approvisionnements, de la production et de la distribution des produits finis

Intégrer les enjeux, les activités et les étapes du processus Sales & Operations Planning (S&OP) ainsi que le rôle des différents acteurs

Connaître les principes du management de la relation client dans une vision de Supply Chain end to end, et intégrer les activités opérationnelles du processus Order To Cash

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Pas de pré-requis

Plan détaillé du cours (contenu)

Forecast To Stock - Demand Planning

- Enjeux de la prévision de la demande dans l'entreprise
- Les différents besoins de prévisions de la demande
- La qualité des prévisions : Indicateurs de performance
- Le processus collaboratif mensuel d'élaboration de la prévision
- Les systèmes d'informations en support au Demand Planning
- Le métier de Demand Planner (compétences et positionnement dans les parcours)

Forecast To Stock - Supply Planning

- Les horizons de planification de l'entreprise et les décisions associées
 - Descriptif du processus S&OP
 - Les bonnes pratiques et les facteurs clés de succès du S&OP
 - Les niveaux de maturité du processus (PIC, S&OP, IBP)
 - Les enjeux de conduite du changement dans la mise en œuvre du S&OP
 - Principes de calcul du Plan Directeur de Production (PDP), et processus associé
 - Principe de calcul des besoins en composants (CBN-MRP) et animation fournisseurs
 - Principe de calcul du déploiement des stocks de produits finis (DRP)
 - L'ordonnancement du plan de production
 - Synthèse, le modèle MRPII
 - Les systèmes d'informations en support au Supply Planning
 - Le métier de Demand Planner (compétences et positionnement dans les parcours)
- Le pilotage du flux produit assuré par le binôme Demand Planner/Supply Planner

Order To Cash – Management de la relation client

- Le contrat de services logistiques cadrant la relation Client-Fournisseur
- L'animation de la performance livraison client et les rituels associés
- Les leviers de performance étendue au travers d'actions de collaboration
- L'organisation des activités opérationnelles du processus Order To Cash
- Organisation des missions du Front Office et du Back Office Client
- Les métiers du Customer Service et les interactions avec les autres services

Organisation de l'évaluation

Etudes de cas (en groupes)

Quiz (individuel)

Moyens

Cours et études de cas

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Comprendre et mettre en œuvre les principales méthodes de prévision des ventes
- Contribuer opérationnellement au processus de prévision
- S'approprier les principes et les bonnes pratiques dans l'utilisation des outils et processus de planification
- Être acteur et/ou animateur du processus S&OP
- Organiser les flux physiques, les flux d'informations et les flux financiers du processus Order To Cash
- Comprendre les bases du management de la relation client

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Principales compétences acquises dans le cours :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C3- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

3GS4020 – Management des systèmes industriels

Responsables : **CHRISTIAN MAISONNEUVE, Evren SAHIN**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Explorer les principes fondamentaux des aspects techniques, humains et économiques du management industriel.

En découvrir les leviers de pilotage les plus puissants et en discerner les effets systémiques sur le fonctionnement des équipes, de l'usine ou de l'entreprise et sur les différentes composantes de la performance, à court, moyen et long terme.

Les méthodes et outils sont, dans leur grande majorité, assez faciles à expliquer et à appréhender. Mais c'est toujours la compréhension de leur "essence managériale" (la cohérence entre les logiques technique, humaine et économique) qui permet leur intégration harmonieuse dans une culture commune de performance. Là est le challenge le plus complet et le plus difficile du management industriel.

Plus que "savoir comment faire de façon standard" l'objectif est de "savoir identifier les aspects essentiels d'une situation de management industriel et pouvoir choisir les leviers activables efficacement".

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Définir un système industriel
- Mesurer et piloter la performance industrielle
- Comprendre et utiliser les méthodes de management de la performance
- Définir et déployer une stratégie industrielle
- Cultiver de saines relations sociales
- Développer les compétences individuelles et collectives
- Synthèse dans un partage d'expérience avec 4 ou 5 dirigeants industriels

Déroulement, organisation du cours

Cours, illustrations et études de cas

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu - Quizz + Projet de résolution d'un problème fourni par un partenaire industriel

Support de cours, bibliographie

- A. Damasio : L'ordre étrange des choses
- E. Gabellieri : Penser le travail avec S.Weil
- J. Liker : Le modèle Toyota

- Ch. Maisonneuve : Développer la performance de l'entreprise

Moyens

Equipe enseignante SCOM experte en Management des systèmes industriels

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Rejoindre le management d'une équipe de production de façon personnelle et puissante
- Envisager les possibles effets systémiques d'une décision ou d'une pratique managériale
- Comprendre en quoi un passage en production a une contribution positive à une carrière
- Concevoir clairement l'application possible des principes de management industriel au management d'une entreprise entière
- Valider son attirance pour les métiers industriels

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Appréhender solidement les missions du manager dans une fonction industrielle, son pouvoir et ses limites
- Savoir identifier les composantes humaines techniques et économiques d'un management puissant et humain

- Pouvoir intégrer proactivement les évolutions managériales en cours, en cohérence avec les évolutions sociétales

Compétences liées au cursus CS :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C5- Evoluer et agir dans un environnement international, interculturel et de diversité

C9- Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS4025 – Application de Power BI

Responsables : **Evren SAHIN**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de :

Faire découvrir et prendre en main PowerBI qui permet de se connecter à des sources de données hétérogènes et multiples pour les transformer, les analyser, en vue d'obtenir des tableaux de bord visuels et interactifs.

Cours alliant technicité et méthodologie. Toutes les étapes d'une démarche décisionnelle seront prises en compte : import et modélisation des données, analyse et construction des tableaux de bord. En particulier les étapes suivantes seront considérées tout au long du cours:

- o Connexion à une source données
- o Choix du mode de rafraichissement (import/direct query)
- o Nettoyage et transformation des données
- o Création du modèle relationnel
- o Définition de visualisations pour l'aide à la décision
- o Publication de rapport sur un Workspace PowerBI Service
- o Paramétrage du rafraichissement automatique (fréquence refresh pour utilisateurs)
- o Gestion des accès utilisateurs

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Rappel :
 - o Notion générale de modèle de donnée (entités, relations, cardinalités, clé primaire)
 - o Notion de base de données (table, champ, requête SQL, jointure interne, jointure externe)
- Présentation des outils Power BI (PowerBI Desktop, PowerBI Services)
- Les différents cas d'usage : rapport, datavisualisation, analyse exploratoire, etc.
- PowerBI Desktop
 - Connexion à différents types de sources de données (fichier texte, fichier Excel, base de données, ...)
 - Différents modes de rafraichissement : Import vs DirectQuery
 - Nettoyer et transformer les données avec l'éditeur de requêtes (PowerQuery)
 - o Format de colonnes / changement de format
 - o Suppression de colonnes inutiles
 - o Application de filtres en amont dans PowerQuery
 - o Renommage de champs
 - o Ajout de colonne personnalisée (plus performant qu'en aval en DAX)
 - o Ajout de colonne conditionnelle
 - o Duplication de colonnes
 - o Remplacement de valeurs
 - o Dépivoter des colonnes
 - o Notions d'étapes et leur renommage
 - o Notion de script M
 - o Création d'une requête
 - o Différence entre « Fermer et appliquer » et « Fermer »
 - o Désactiver le chargement d'une requête
 - o Fusion de requêtes via PowerQuery (pour ajouter colonnes à une requête)
 - o Ajouter des requêtes via PowerQuery (pour ajouter des lignes de données à une requête existante)

- Construire le modèle relationnel : relations et hiérarchies
 - o Notion de modèle de données en étoile (=type de modèle recommandé dans PowerBi : table de fait au centre, tables de dimension autour, éviter les boucles)
 - o Notion d'unicité d'enregistrement (clé primaire)
 - o Création de relation
 - o Cardinalités
 - o Direction du filtrage croisé
- Ajouter des éléments visuels : jauges, graphiques en barres, secteurs, courbes, visualisations spatiales, etc.
- Ajouter des filtres (filtres de page, filtres multi pages, sélecteur) et des interactions entre les visuels
- Faire ressortir les chiffres clés grâce au format conditionnel
- Langage DAX pour écrire formules de calcul
- PowerBI Services
 - o Présentation générale du portail
 - o Publication d'un rapport et d'un jeu de données et notion de workspace
 - o Paramétrage rafraichissement automatique
 - o Gestion des accès
- Communauté internet (<https://learn.microsoft.com/fr-fr/power-bi/> , chaînes Youtube)

Déroulement, organisation du cours

- Etudes de cas tirés de contextes industriels variés
- Exercices interactifs

Organisation de l'évaluation

Projet en lien avec le cours

Moyens

Cours et mise en pratique

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de l'enseignement, l'élève sera capable de :

- Transformer des sources de données via Power BI
- Définir un modèle de données
- Produire des rapports Power BI
- Publier et partager des rapports Power BI
- Maintenir un rapport Power BI

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences CS validées :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C6- Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

3GS4040 – Excellence opérationnelle et Lean Management

Responsables : **Evren SAHIN, Camille Durr**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

- Découvrir les principales méthodologies d'amélioration continue/lean ainsi que les états d'esprit associés permettant d'améliorer la performance d'une équipe / d'un processus.
- Créer une base de connaissance de pilotage par les indicateurs communs à tous les participants
- Éclairer sur les facteurs clés de succès et les dérives possibles de la démarche grâce à des exemples
- Donner envie de se lancer

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- Introduction au management des opérations et supply chain (cours IMOSC)
- Management des systèmes industriels (cours MSI)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction et histoire de l'Excellence Opérationnelle
- Présentation de ce qu'est l'Excellence Opérationnelle
- Facteurs clés de succès d'une démarche Excellence Opérationnelle et de pilotage par les indicateurs
- Présentation des 5 axes du manager Lean
- Comprendre les rituels d'animation de la performance
- Tous acteurs de la performance
- Les principaux outils de résolution de problèmes
- Quelques bonus pour aller plus loin

Déroulement, organisation du cours

- Infographies synthétiques
- Vidéos de retour d'expérience
- Exercices interactifs
- Puzzles et quiz pour valider l'intégration des messages clés

Organisation de l'évaluation

Projeter la pratique des différents outils Lean Six Sigma dans différents environnements (production & service)
Pratiquer l'amélioration de processus
Quizz
Evaluation sur étude de cas réalisée et projet

Support de cours, bibliographie

- Le But, M. Goldratt

- Le Management désincarné - Marie Anne Dujarier

Moyens

Cours, TD et études de cas

Equipe enseignante experte SCOM en Lean Management et Excellence Opérationnelle

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Capacité à analyser un environnement et proposer des actions d'amélioration

Connaissance des principales méthodologies Lean

Amélioration d'un processus et équilibrage de charges

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin de l'enseignement, l'élève sera capable de :

-Connaître les principales méthodologies d'Excellence Opérationnelle et de Lean

-Améliorer un processus en chassant les gaspillages

-Mener un projet d'amélioration en rupture

-Connaître les outils du quotidien pour aider un Manager à déployer la culture Lean

Compétences CS validées :

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C5- Evoluer et agir dans un environnement international, interculturel et de diversité

C9- Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS4050 – Achats, fournisseurs et sous-traitance

Responsables : **Éric David, Jeremy GARANDET, Evren SAHIN**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les achats d'une entreprise représentent en moyenne les deux-tiers de ses coûts.

Cette proportion énorme, qui a crû très rapidement depuis une vingtaine d'année en raison de vagues d'externalisation et de mondialisation, entraîne des impacts majeurs, non seulement financiers, mais aussi commerciaux et humains.

Ceci justifie une fonction achat appliquant des bonnes pratiques et des méthodes d'optimisation, et offre d'intéressantes opportunités professionnelles :

- Permettre aux élèves qui prendront un poste dans les achats d'avoir une première vision de la fonction et du processus achat pour être plus rapidement opérationnels.
- même objectif pour ceux qui auront à travailler avec les achats (en gros, le reste de l'entreprise).
- Permettre enfin aux futurs directeurs achats ou futurs DG de mieux connaître les achats pour les aider à piloter cette fonction, notamment fixer la stratégie achats, les objectifs et savoir suivre et contrôler.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Cours Introduction au management des opérations et à la supply chain

Plan détaillé du cours (contenu)

- Enjeux des achats, fonction, processus d'achat, performance de l'entreprise et impact financier des achats, interfaces dans l'entreprise (SupCh, production, mktg, R&D, juridique, finances), travail et carrière de l'acheteur, organisation des achats (les hommes, les moyens physiques), grandes catégories d'achat.
- Politique et stratégie d'achat (lien avec la politique et stratégie globale de l'entreprise), make-or-buy, marketing achat, mesure de performances des achats et démarches de progrès (par projet et en continu).
- Segmentation des achats et des fournisseurs, standardisation et différenciation des achats (ce qui est acheté, comment c'est acheté, et la standardisation des outils – codification, classification, mode d'échange...)
- Dimensions juridique et financière des achats, négociation, contrats, litiges. Notions d'économie des contrats. Les achats publics (principes). Gestion des risques d'achat.
- Outils et technologie des achats : système informatique d'achats (ERP, outils spécifiques, EDI, EPOS/ VMI/ CPFR, e-business), impact des nouvelles technologies numériques et robotiques (big data, bock chain, intelligence artificielle, RFID, cybersécurité, etc)
- Présentation des travaux de groupe, et séances de questions réponses

Déroulement, organisation du cours

- Contextes et études de cas tirés de contextes industriels variés
- Exercices interactifs
- Retours d'expériences

Organisation de l'évaluation

- Lecture-critique pour présentation en classe inversée en groupe d'élèves
- Etude-diagnostic de la fonction achat d'une entreprise en groupe

Support de cours, bibliographie

- Kenneth Lysons, Brian Farrington, 2005, Purchasing and Supply Chain Management
- Robert M.Monczka, 2010, Purchasing and Supply Chain Management
- Arjan van Wee 2009
- Philippe Petit 2016
- Olivier Bruel 2014

Moyens

Cours, TD et mises en situation diverses
Taille des TD : 30 à 35 élèves

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Permettre aux élèves qui prendront un poste dans les achats d'avoir une première vision de la fonction et du processus achat pour être plus rapidement opérationnels.
- Même objectif pour ceux qui auront à travailler avec les achats (en gros, le reste de l'entreprise).
- Permettre enfin aux futurs directeurs achats ou futurs DG de mieux connaître les achats pour les aider à piloter cette fonction, notamment fixer la stratégie achats, les objectifs et savoir suivre et contrôler.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable :

- C2-** Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers
- C4-** Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- C5-** Evoluer et agir dans un environnement international, interculturel et de diversité
- C9-** Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS4060 – Modèles Stochastiques pour la Supply Chain et les Opérations

Responsables : **Oualid JOUINI**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La théorie des files d'attente est une discipline issue de la recherche opérationnelle qui sert à modéliser, analyser et optimiser les opérations. L'objectif du cours est tout d'abord de s'approprier des méthodes de base d'analyse de modèles stochastiques et de files d'attente. Ensuite, plusieurs applications de modélisations et d'analyses quantitatives par les files d'attente seront présentées. Les applications concernent l'optimisation et le management des opérations dans les systèmes manufacturiers et de service.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Notions de base en probabilité

Plan détaillé du cours (contenu)

Plan détaillé du cours (contenu) :

- Introduction aux processus stochastiques
- Chaînes de Markov
- Files d'attente
- Applications en management des opérations
- Contrôle écrit à la fin du cours.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation consiste en un examen écrit individuel à la fin du cours.

Support de cours, bibliographie

Support de cours, bibliographie :

- slides de cours.
- Asmussen, S. (2003). Applied Probability and Queues. Springer-Verlag, 2nd edition, New-York.

Moyens

- Equipe enseignante CS
- Taille des TD : 35 étudiants

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Développer une compréhension aussi intuitive que possible du comportement des systèmes stochastiques.

- Maîtriser quelques outils de base d'analyse de ces systèmes à savoir les chaînes de Markov et les files d'attente.
- Modéliser ces systèmes afin d'en évaluer les performances.
- Appliquer ces outils pour le management des opérations dans les systèmes de production et de service.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème.
- Résoudre un problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation.

Compétences CS validées :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C3- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C6- Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

3GS4070 – Systèmes d'Information pour la Production, Supply Chain et Achats

Responsables : **Evren SAHIN**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de sensibiliser les étudiants à :

- L'importance des SI dans la Supply Chain.
- L'importance de la construction de l'architecture SI pour supporter les différents maillons de la chaîne de valeur.
- Les métiers / Process par les SI et comment bien choisir le système qui répond aux besoins
- Un panorama des leaders des systèmes d'informations par typologie
- Planification, suivi opérationnel - L'évolution des architectures SI et des besoins avec les nouvelles technologies

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Tous les cours obligatoires de la mention SCOM précédant ce module

Plan détaillé du cours (contenu)

1 Introduction et messages clés sur l'ensemble des dimensions :

définition SC, modèles SC, grands processus opérations, orga SC, enjeu des SI, architecture SI, economics & KSF projets SI

2 Focus sur certaines classes de logiciels

Supply Chain Planning (APS, DDMRP, Supply Control Tower)

3 Focus sur certaines classes de logiciels

Supply Chain Exécution - OMS - WMS - TMS - plateformes de collaboration

4 Evolution des SI et nouvelles perspectives

nouvelle technos robotiques et digitales, lien avec cybersécurité, puissance de calcul-stockage-transmission, nouvelles architectures, etc

Déroulement, organisation du cours

- Etudes de cas liés à des contextes industriels variés
- Retours d'expériences

Organisation de l'évaluation

- Etude de cas à réaliser en groupe et tous les livrables qui lui sont associés
- Participation au cours

Moyens

- * Cours, TD et mises en situation diverses
- * Equipe enseignante experte en Systèmes d'information dans le domaine des Opérations et de la Supply Chain
- * Taille des TD : 30 à 35 élèves

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de

- Contribuer opérationnellement au processus de choix de SI et des nouvelles technologies en supply chain, avec une vision des enjeux associés
- S'approprier les principes et les bonnes pratiques dans l'utilisation de ces outils
- Participer au déploiement ou à l'optimisation des SI utilisés dans les opérations
- Fournir des ordres de grandeurs des phases de gestion de projet de choix et implémentation d'un SI

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Connaissance des principaux SI et les métiers et process concernés
- Fournir des ordres de grandeurs des phases de gestion de projet de choix et implémentation d'un SI
- Ouverture vers les nouvelles technologies qui pourrait transformer la vision actuelle des architectures SI et la SC

Compétences CS validées :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C5- Evoluer et agir dans un environnement international, interculturel et de diversité

C6- Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

3GS4075 – Optimisation Appliquée aux systèmes industriels et logistiques

Responsables : **Denis Montaut**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de :

- Présenter, analyser et caractériser des problèmes d'optimisation discrets rencontrés dans les systèmes industriels et logistiques à l'aide d'approches et outils de programmation mathématique
- Aborder ces problèmes via l'utilisation de logiciels de modélisation et programmation

Prérequis

Avoir quelques notions en optimisation

Plan détaillé du cours (contenu)

Principes fondamentaux de l'optimisation

Modélisation et formulation de problèmes d'optimisation

Utilisation d'un langage de programmation et de solveurs pour la résolution des problèmes

Déroulement, organisation du cours

- Etudes de cas tirés de contextes industriels variés
- Exercices interactifs

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu et projet en fin de cours

Moyens

Cours magistraux et TDs

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de l'enseignement, l'élève sera capable de:

- Connaître les principales méthodologies permettant d'adresser des problèmes d'optimisation rencontrés dans les systèmes industriels et logistiques
- Formuler et développer un modèle adapté au problème rencontré
- Analyser les résultats et proposer des conclusions pratiques répondant à la problématique initiale

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences CS validées :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

- C2-** Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers
- C6-** Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique
- C9-** Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS4080 – Methodes et outils d'optimisation pour la Supply Chain et les Opérations

Responsables : **Evren SAHIN, Denis Montaut**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de :

- Enrichir le bagage conceptuel des élèves qui ont déjà des notions d'optimisation et aide à la décision, en élargissant l'usage des outils de modélisation pour l'optimisation de systèmes discrets
- Apprendre à valider une analyse de problème et une modélisation en passant par une phase de prototypage mettant en œuvre outils de programmation (Python, Julia... pour le traitement amont des données, l'exploitation des résultats), de modélisation et de résolution (solveurs commerciaux de type Cplex, Xpress...)
- Enrichir leur pratique en leur permettant de mener un projet d'optimisation réaliste pour l'aide à la décision en contexte industriel, basé sur des problématiques d'optimisation rencontrées dans les systèmes industriels et logistiques

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- avoir des notions en optimisation
- être familier avec la programmation mathématique et un environnement de modélisation type OPL/XPRESS IVE
- avoir suivi le cours de mention OA - Optimisation Appliquée aux systèmes industriels et logistiques

Plan détaillé du cours (contenu)

- Rappel des fondamentaux de la démarche d'optimisation, les principaux paradigmes (PL, PM, PD, Heuristiques...), positionnement dans l'univers de l'IA; Cas introductif flots
- Approches multicritères en optimisation : front de Pareto, solutions dominantes ; Résolution de problèmes infaisables : goal programming
- Optimisation combinatoire : construction d'un programme hebdomadaire de compagnie aérienne
- Projet (3 séances, avec rappels de théorie en cas de besoin, et accompagnement)

Déroulement, organisation du cours

- Contextes et études de cas tirés de contextes industriels variés
- Exercices et feedback

Organisation de l'évaluation

L'évaluation de ce cours se fera sur la base d'une note de contrôle continu des connaissances. Les exercices et les études de cas abordées en salle font l'objet d'un rendu par binôme.

Moyens

- Taille des TD : 30 à 35 élèves
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : OPL Studio, Python (logiciels libres)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable

- de reconnaître une situation de compromis
- de proposer un outil de modélisation adapté
- de mener un projet d'aide à la décision avec un client et des experts

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin de l'enseignement, l'élève sera capable de :

- Connaître les principales méthodologies permettant d'adresser des problèmes d'optimisation rencontrés dans les supply chain
- Améliorer un processus en formulant les compromis recherchés

-Mener un projet d'optimisation de processus

Compétences CS validées :

- C1-** Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C4-** Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- C6-** Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique
- C9-** Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS4090 – Pratique de l'optimisation de décisions complexes

Responsables : **Adam ABDIN**

Département de rattachement : **MENTION DESIGN AND SYSTEM SCIENCES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs de ce cours sont :

- Reprendre de notion de la programmation mathématique, des concepts importants de l'optimisation : dualité et convexité, méthode du simplexe, méthodes du gradient, conditions d'optimalité.
- Familiariser les étudiants avec les logiciels de modélisation d'optimisation et les solveurs commerciaux.
- Illustrer les concepts par des études de cas liées au génie industriel, à la logistique, à la science de la conception et au contrôle.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction et contexte

- Construction de modèles en programmation mathématique.
- Exemples des archétypes les plus courants de problèmes de programmation mathématique.
- Principes fondamentaux de l'optimisation (notions).

2. Programmation linéaire et en nombres entiers (approfondissement)

- Dualité et conditions d'optimalité.
- Ecarts d'optimalité et relaxation en nombres entiers.
- Analyse de sensibilité
- Solveurs et langages de modélisation disponibles.

3. Utilisation d'un langage de programmation et de solveurs commerciaux

- Initiation à l'utilisation des logiciels
- Les meilleures pratiques de modélisation en logiciel
- Comprendre la sortie d'un solveur commercial
- Intervention industrielle

4. Optimisation multi-objectifs

- Front de Pareto
- Solutions dominantes.
- Résolution de problèmes d'optimisation multi-objectifs (méthode epsilon, méthode des contraintes).

5. Problèmes de décision séquentielle - Programmation dynamique

- Modélisation des problèmes de décision séquentielle
- Résolution de problèmes de décision séquentiels (mémorisation, programmation dynamique, équation de Bellman)
- Exemples pratiques.

6. Modélisation de situations de concurrence : problèmes de théorie des jeux

- Introduction à la modélisation de la complémentarité
- Application de la modélisation de la complémentarité (transport, énergie, concurrence industrielle)

Déroulement, organisation du cours

- Contextes et études de cas tirés de contextes industriels variés
- Exercices interactifs

Organisation de l'évaluation

L'évaluation des acquis se fera en contrôle continu par l'évaluation des cas pratiques abordés en salle et à remettre après un travail personnel complémentaire.

La note finale sera basée sur l'évaluation des projets pratiques et du rapport des étudiants. Le projet devra combiner leurs connaissances en modélisation et l'utilisation de logiciels pour résoudre un problème pratique. Le rapport doit montrer leurs capacités à analyser les résultats et à arriver à des conclusions raisonnables.

Moyens

Taille des cours : 45 à 50 élèves

Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : OPL Studio, logiciels libres (Python, Julia, Pyomo); Solvers: (Cplex, Gurobi, GLPK, Ipopt)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, l'étudiant sera capable de :

- Reconnaître une situation de décision qui peut être modélisée par la programmation mathématique.
- Formuler et développer un modèle adapté au problème de décision.
- Utiliser un solveur commercial pour résoudre le problème d'optimisation.
- Analyser les résultats et proposer des conclusions pratiques en management et en ingénierie.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin de ce cours, l'étudiant sera capable de :

- Reconnaître une situation de décision qui peut être modélisée par la programmation mathématique.
- Formuler et développer un modèle adapté au problème de décision.
- Utiliser un solveur commercial pour résoudre le problème d'optimisation.
- Analyser les résultats et proposer des conclusions pratiques en management et en ingénierie.

3GS4091 – Analyse des données de la Supply Chain du commerce de détail

Responsables : **Evren SAHIN**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs pédagogiques du cours sont de :

- Développer un aperçu des cas d'utilisation de pratiques de Data Science & Business Analytics appliquées au retail
- Comprendre les différentes étapes de développement du produit
- Découvrir/re-découvrir les concepts de base de l'apprentissage automatique et les mettre en application

Prérequis

Avoir des connaissances de base en Data Science/Data Analytics
Python 3

Plan détaillé du cours (contenu)

Développer une vision globale de l'univers du retail, ses acteurs et ses problématiques
Développer une vision globale de différents use cases Data Science appliqués au retail
Découvrir les macro-étapes de construction d'un produit : de la product discovery à l'adoption
Appliquer des principes de Data Science et construire une première solution technique
Travailler en équipe et s'organiser pour travailler de manière efficiente
Pratiquer le storytelling pour présenter son approche et ses résultats

Déroulement, organisation du cours

Introduction aux problématiques Business de la Data Science appliqué au retail
Introduction à l'étude de cas d'optimisation d'assortiment d'un distributeur français
Découverte des principales étapes de construction d'un produit
Exploration de différentes étapes techniques du cas et construction d'une première solution technique
Etude de cas

Organisation de l'évaluation

Evaluation d'un Jupyter Notebook pour valider la compréhension des techniques en Data Science (Cours 2)
Evaluation d'une synthèse (3 slides) pour valider la compréhension des différentes étapes de construction d'un produit (Cours 3)
Evaluation d'un Jupyter Notebook pour valider l'utilisation des techniques en Data Science en autonomie (Cours 3)
Evaluation de la présentation de l'étude de cas (travaux + résultats + réponse à la problématique Business) (Cours 4)

Moyens

Equipe enseignante SCOM
Partenaires industriels

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Pouvoir aborder les principales problématiques de l'univers du retail, ses acteurs ainsi que plusieurs use Case IA appliqués au retail

Pouvoir réaliser les principales étapes de construction d'un produit

Pouvoir convertir une problématique métier en une première solution technique

Appliquer un ensemble de techniques de Data Science (Nettoyage de données, EDA, sélection de modèles, entraînement de modèles et évaluation) en utilisant des Jupyter Notebooks

Pratiquer l'art du storytelling pour présenter ses travaux/résultats + proposition de réponse à la problématique Business

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Pouvoir réaliser les principales étapes de construction d'un produit

Savoir traduire une problématique complexe en un problème de data science à résoudre

Proposer des solutions innovantes et réalistes

Savoir travailler en équipe

Compétences CS validées :

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C6- Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

C9- Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS4210 – Pilotage de flux et gestion de stock

Responsables : **Nicolas Vandeput, Evren SAHIN**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif est que les élèves soient capables de piloter les stocks d'une supply chain tant de manière quantitative (via des modèles, équations et des simulations en python) que de manière qualitative. Nous passerons en revue de nombreuses inventory policies et les coûts que l'on doit optimiser.

Le cours sera rythmé par de très nombreuses questions posées sur wooclap.

Le cours fini par un module sur l'optimisation multi-echelon des supply chains. La plupart des supply chains ne l'ont pas encore mis en pratique et cela peut représenter entre 10 et 30% de réduction des stocks.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Introduction au management des opérations et supply chain
- Tous les autres cours du tronc commun de la mention SCOM

Plan détaillé du cours (contenu)

Session 1 – Introduction- Qu'est-ce que l'optimisation des stocks, qu'est-ce qu'une politique de gestion de stock

Session 2 - Politiques de stocks

Session 3 – Coûts concernés

Session 4, 5, 6 – Optimisation quantitative et Chaînes d'approvisionnement multi-échelons

Déroulement, organisation du cours

- Contextes et études de cas tirés de contextes industriels variés
- Exercices interactifs, feedback

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu (wooclap) : 45%

Simulation (travail perso en Python) : 20%

Business Game (groupes de 4) : 35%

Support de cours, bibliographie

- Supply Chain Management, Chopra, Meindl
- Management Industriel et Logistique : concevoir et piloter la supply chain, Gérard Baglin
- Gestion de la production et des flux, Vincent Giard

Moyens

Cours, TD et projets d'élèves

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Optimiser les stocks d'une supply chain à l'aide d'équations
- Confirmer le modèle par simulation
- Optimiser les stocks d'une supply chain avec multi echelon
- Citer et expliquer tous les couts qui impactent la gestion des stocks
- Citer, expliquer, et jauger de l'utilité de tous les lead times présent dans une supply chain
- Conseiller une supply chain sur sa collaboration E-2-E avec clients et fournisseurs

Description des compétences acquises à l'issue du cours

* Être capable d'analyser la performance du flux produit en termes de niveau de satisfaction client et de coût interne des Opérations dans la production de ce service

* Connaître et pouvoir intervenir sur les processus de gestion de stocks

Compétences CS validées :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C6- Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

3GS4220 – Distribution, e-commerce & logistique

Responsables : **Evren SAHIN**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La logistique joue un rôle clé dans de nombreux secteurs d'activités (entreprises industrielles, entreprises de distribution, entreprises de service, ...)

Ce cours a pour objectif de présenter les principes généraux de la logistique physique dans un environnement de distribution (entrepôt ou magasin)

Ces mêmes principes peuvent s'appliquer dans un environnement de production, en usine

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Tous les cours obligatoires de la mention SCOM

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction à la logistique dans la distribution, le e-commerce et l'omnicanal
- (Visite d'un site logistique)
- Fonctions et organisation des entrepôts : enjeux, contraintes, processus, outils
- Les innovations en matière de mécanisation, automatisation et robotisation
- Les enjeux de la logistique dans le e-commerce et l'omnicanal
- Restitution des études de cas

Organisation de l'évaluation

Projet en groupe

Participation au cours

Moyens

- Equipe enseignante SCOM
- Taille des TD : 35

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de

- Connaître principes de fonctionnement d'un entrepôt et les principales méthodes de gestion - Comprendre et analyser le fonctionnement d'un entrepôt existant
- Comprendre la place de l'homme dans la logistique - Contribuer opérationnellement à l'amélioration de la performance d'un entrepôt à travers l'organisation du travail, l'organisation physique, les processus et moyens en place
- Appréhender les principaux types de mécanisation et leur cas d'usage

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences validées :

- Connaître et pouvoir intervenir opérationnellement sur les activités d'un entrepôt
- Comprendre le positionnement et les connexions des processus de gestion d'un entrepôt avec les autres grands processus du Supply Chain Management
- Être capable d'analyser la performance du flux produit en termes de niveau de satisfaction client et de coût interne des opérations

Compétences CS validées :

- C2-** Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers
- C3-** Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique
- C4-** Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- C6-** Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

3GS4235 – Modélisation Cost to Serve pour une Supply Chain

Responsables : **Evren SAHIN, Xavier Personnic**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les travaux portant sur le prix de revient produit sous estiment souvent la part liée aux coûts d'acheminement logistiques et administratifs aux points de vente des produits. Le cours vise donc à adresser le terme CTS de la formule : $Landed\ Cost = Cost\ of\ goods\ sold\ (COGS) + Cost\ to\ serve\ (CTS)$.

Ce cours adressera :

- le périmètre et les composantes de ce qu'est le Cost to Serve
- les principes de sa modélisation et la méthodologie d'évaluation possible
- un « case study » portant sur des scénarios de distribution de produits en Afrique de l'Ouest (le choix de l'Afrique tient au fait que toutes les composantes COST TO SERVE sont structurantes favorisant l'illustration du sujet – les principes sont applicables partout ailleurs également)
- les impacts du monde Post COVID sur le Cost to Serve

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Tous les cours obligatoires de la mention SCOM

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction de la notion de « total landed cost » pour des industriels et rappel de la notion de COGS
- Définition de chaque composante d'une distribution internationale (transport amont, consolidation logistique et opérations export, transport principal international, opérations import, transport aval vers point de stockage, collecte ou livraison client)
- Principes de modélisation
- Présentation du contexte case study « XPELEC Afrique » et travail sur étude de cas
- Présentation des conséquences du monde POST COVID sur le Cost to Serve

Organisation de l'évaluation

Restitution orale et synthèse écrite des réponses aux 3 scénarios suggérés pour le case study

Moyens

Equipe experte d'enseignants SCOM

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A l'issue du cours, l'élève sera capable de comprendre :

- La place du Cost to Serve dans les analyses de coûts supply chain
- La méthodologie d'analyse de scénarios de Cost to Serve

- Les éléments de stratégie pour faire du développement business dans des pays émergents

Compétences CS validées :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C3- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C5- Evoluer et agir dans un environnement international, interculturel et de diversité

C7 - Savoir convaincre

3GS4240 – Simulation de systèmes de production

Responsables : **Oualid JOUINI**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Présentation, objectifs généraux du cours :

- Découvrir la simulation de flux dans le domaine de la production/logistique.
- Prendre conscience que la simulation est un outil performant, à condition de savoir limiter son utilisation à des cas non exploitables par des méthodes directes.
- Acquérir une approche structurée de la modélisation et de la simulation, à partir du logiciel de simulation de flux ARENA.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction et initiation à ARENA.
- Atelier d'assemblage
- Atelier flexible - Centre d'appels
- Plan d'expérience
- Evaluation finale : Soutenances de projets.

Organisation de l'évaluation

100% projet et soutenance de projet

Chaque groupe de 4/5 élèves travaillera sur un projet d'analyse et optimisation d'un système de biens ou de service.

L'outil qui sera utilisé est le logiciel ARENA.

Le projet sera présenté par le groupe d'élèves à la fin du cours

Moyens

Equipe enseignante

Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : logiciel Arena, version gratuite.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Savoir analyser un système et juger de l'intérêt ou non de l'utilisation de la simulation.
- Identification des paramètres clés de la simulation et l'utilisation des plans d'expériences pour identifier les différents scénarios à simuler.
- Savoir valider et analyser les résultats de la simulation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences validées :

- Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème
- Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation
- Travailler en équipe/en collaboration

Compétences CS validées :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C3- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C6- Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

3GS4250 – Hackathon Lean et excellence opérationnelle

Responsables : **Evren SAHIN**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Travail sur une étude de cas/hackathon visant à mettre en œuvre des acquis en management des systèmes de production et excellence opérationnelle sur des sujets en situation réelle sur un site industriel, en partenariat avec un parrain de la mention

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Cours Management des Systèmes Industriels (MSI)

Avoir des connaissances de base en Lean & Amélioration Continue

Plan détaillé du cours (contenu)

Déplacement sur site industriel d'accueil / Accueil sécurité / Rencontre des intervenants
Visite du site / Brief des sujets sur lesquels les élèves travailleront/ Choix des sujets par les équipes
Ateliers de résolution de problèmes, Application méthodologie sur les cas réels présentés
Points Intermédiaires
Soutenance finale devant jury

Organisation de l'évaluation

Travail en autonomie avec rendu intermédiaire
Présentation des résultats finaux et soutenance devant jury

Moyens

- Contextes et études de cas tirés de contexte industriels variés
- Etude de cas terrain
- Retours d'expériences

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Mettre en œuvre des principes & outils du Lean Management

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences validées :

Management des systèmes de production, intégration en usine, capacité à comprendre un problème par l'écoute et le questionnement, utilisation des outils d'amélioration continue et de l'approche Lean.

Compétences CS validées :

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C7- Savoir convaincre

C8- Mener un projet, une équipe

3GS4260 – Hackathon Supply Chain & Operations

Responsables : **Evren SAHIN, Jean-Marc Camelin, Caroline Leplatois**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce module vise à approfondir des thématiques et acquis relatifs à d'autres cours en supply chain management sur une étude de cas.

- Les élèves travaillent en groupes, à travers des ateliers de travail. Le travail se fait en lien avec une entreprise qui fournit le sujet.
- Chaque année la thématique de l'étude de cas est revisitée.
- L'étude de cas a pour objectif d'illustrer le rôle clé que joue / peut jouer / doit jouer la supply chain (dans sa compréhension la plus globale) dans l'entreprise et la transformation de leur business model / stratégie ainsi que dans leur pilotage opérationnel.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Avoir des connaissances de base en Supply Chain Management

Plan détaillé du cours (contenu)

L'étude de cas s'étale sur une semaine

Les thématiques que celle-ci abordera concernent les enjeux supply chain et la gestion des opérations.

Organisation de l'évaluation

Ateliers de travail en groupe puis soutenance devant jury

Moyens

Equipe enseignante de la mention SCOM
des partenaires industriels ayant travaillé dans le domaine
Taille des TD : 35

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de traiter une problématique terrain en supply chain management

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Capacité à comprendre un problème par l'écoute et le questionnement
- Capacité à mener une étude de cas et un travail en groupe

- Capacité d'analyse d'un cas d'étude pour mettre en évidence le potentiel d'amélioration des performances économiques, environnementales et sociales via une transformation de la réponse supply chain

Compétences CS validées :

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C7- Savoir convaincre

C8- Mener un projet, une équipe

3GS4270 – Sciences des données pour la chaîne d'approvisionnement et les opérations

Responsables : **Evren SAHIN**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif est d'apprendre aux étudiants à traiter (dans un contexte entreprise) un problème data science de bout en bout sur une problématique donnée en prenant en compte les questions importantes à se poser. Ce cours mixte théorie et pratique et comporte une introduction à l'IA puis aborde toutes les étapes d'une démarche data science en entreprise, dans le domaine de la supply chain et des opérations.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- introduction à l'IA (histoire, définition, principes...) et cas d'usages en entreprises
- création d'un dataset
- feature engineering et data cleaning
- création de modèles avec choix de la métrique d'évaluation, stratégie de validation et sélection de features
- mise en production des modèles avec covariate shift, sécurité etc.
- évaluation des projets

Déroulement, organisation du cours

- Contextes et études de cas tirés de contextes industriels variés
- Retours d'expériences

Organisation de l'évaluation

- Soutenance de projet (traitement d'un problème data science réel) devant un jury
- Les capacités des étudiants à appréhender le problème métier et à associer une problématique data science sera évaluée
- La capacité à expliquer toute la démarche précisément et à en faire une synthèse sera également prise en compte

Moyens

Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Distribution Python (gratuit)

Taille des TD : 35

Salles de TP : 35

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable d'appréhender les enjeux d'un problème correspondant à un métier opérationnel et de le résoudre à l'aide de la data science.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Compréhension des différentes étapes d'un problème data science
- Développement Python - Compréhension des principales méthodes d'analyses de données, des principaux algorithmes et des indicateurs d'évaluation des modèles

- Ouverture sur les problématiques de mise en production des modèles

Compétences CS développées :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C6- Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

3GS4280 – Industrie 4.0 & Supply Chain Digital

Responsables : **Alain Patchong**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs de la formation peuvent se résumer en trois points :

- Comprendre les enjeux organisationnels, techniques liés robotisation et introduction de l'IA dans les systèmes industriels, en conception et dans la supply chain
- Maîtriser les concepts, outils et méthodes de base appliqués à la conception et au pilotage des systèmes productifs dans le contexte de l'industrie 4.0.
- Comprendre les transformations introduites par les nouvelles pratiques industrielles, notamment au niveau du modèle d'affaires.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Les cours de mention en sd09 et SG10

Plan détaillé du cours (contenu)

Plan détaillé du cours :

1. Introduction et définition Industrie 4.0
2. Innovation et impact sur l'Industrie 4.0 : challenges ou opportunités ?
3. Les technologies clés de l'Industrie 4.0 est les modules de mise en œuvre
4. Développement produit 4.0 : la nouvelle frontière de la concurrence
5. Manufacturing 4.0 : vers plus d'efficience
6. Supply Chain 4.0 : booster le modèle de valeur
7. Implémentation et défis des organisations
8. Visite usine
9. Soutenance projets en groupe

Organisation de l'évaluation

- Projets en groupe « visite usine et proposition d'une roadmap de mise en œuvre »
- Participation aux cours

Outils permettant d'évaluer l'apprentissage :

- Des QCM / Quizzes proposés à la fin de chaque cours / module donneront un feedback de l'instant et permettront de recadrer ou de revenir sur des concepts non compris.
- Un projet réalisé en groupe permettra d'évaluer les étudiants dans un environnement « professionnel » : travail en groupe et application des concepts à un cas concret.

Support de cours, bibliographie

Support :

- Polycopiés

- Recueil des transparents utilisés en cours

Bibliographie:

- The Toyota Product Development System: Integrating People, Process And Technology 1st Edition by James M. Morgan, Jeffrey K. Liker
- Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development by Daniel E. Whitney
- Factory Physics by Wallace J. Hopp and Mark L. Spearman
- Implementing Standardized Work: Measuring Operators' Performance (One-Day Expert) by Alain Patchong
- Implementing Standardized Work: Writing Standardized Work Forms (One Day Expert) by Alain Patchong
- Implementing Standardized Work: Process Improvement (One-Day Expert) by Alain Patchong
- Implementing Standardized Work: Training and Auditing (One-Day Expert) by Alain Patchong
- Improving Car Body Production at PSA Peugeot Citroen Interfaces 33(1):36-49, by Alain Patchong, Thierry Lemoine and Gilles Kern
- A. Patchong and L. Kerbache (2017), "Transiting Toward the Factory of the Future: Optimal Buffer Sizes and Robot Cell Design in Car Body Production", IEEM2017, 10-13 December, 2017, Singapore
- Max Blanchet, « Industrie 4.0 : nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique »
- Michael Valentin, « The Smart Way : Excellence opérationnelle, profiter de l'industrie du futur pour transformer nos usines en pépites »
- Dorothee Kohler et de J-D Weisz, « Industrie 4.0 - Les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand »

Moyens

Equipe enseignante

Taille des groupes pour visite : 20 élèves idéalement, maxi 24

Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Tout sera fourni

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Il permettra de valider les 3 acquis d'apprentissage :

1. Comprendre les enjeux organisationnels, techniques et managériaux associées à la digitalisation et la robotisation des systèmes industriels et logistiques,
2. Maitriser les concepts, outils et méthodes de base appliqués à la conception et au pilotage des systèmes productifs dans le contexte de l'industrie 4.0 ;
3. Visualiser sur le terrain les transformations introduites par les nouvelles pratiques industrielles.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de

- Comprendre les enjeux organisationnels, techniques et managériaux associées à la digitalisation et la robotisation des systèmes industriels et logistiques
- Maitriser les concepts, outils et méthodes de base appliqués à la conception et au pilotage des systèmes productifs dans le contexte de l'industrie 4.0.
- Visualiser sur le terrain les transformations introduites par les nouvelles pratiques industrielles, notamment au niveau du modèle d'affaires.

Compétences CS validées :

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C6- Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

C9- Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS4290 – Apprentissage automatique avec applications aux sciences du contrôle, de la supply chain et de la conception

Responsables : **Guillaume Sandou**

Département de rattachement : **MENTION CONTROL ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'apprentissage automatique est le domaine scientifique qui fournit aux ordinateurs la capacité d'apprendre et de prédire sans être explicitement programmés. L'apprentissage automatique est au cœur de nombreuses applications du monde réel, notamment dans le cadre des systèmes de recommandation, la recherche sur le Web, la vision par ordinateur, les voitures autonomes et les robots.

Le cours fournira un aperçu des sujets fondamentaux de l'apprentissage automatique qui sont utilisés dans les contextes de contrôle des systèmes dynamiques, des chaînes d'approvisionnement et de la science de la conception. Tout au long du cours, des exemples illustratifs seront fournis montrant les forces et les limites des approches basées sur l'apprentissage.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Connaissances de base en probabilités, statistiques et algèbre linéaire.

Une expérience en programmation (par exemple, Python, Matlab ou tout langage à la préférence des étudiants).

Plan détaillé du cours (contenu)

Vue d'ensemble des problèmes d'apprentissage automatique

1. Introduction à l'apprentissage automatique
2. Sélection du modèle
3. Entraînement, validation et tests
4. Évaluation d'algorithmes d'apprentissage automatique

Régression linéaire et logistique

1. Algorithme du gradient
2. Algorithme du gradient stochastique
3. Régularisation
4. Régression logistique

Classificateurs

1. Classificateurs probabilistes et méthode Bayésiennes Naïves
2. Analyse discriminante linéaire

Méthodes basées sur les arbres

1. Arbres de décision
2. Méthodes d'ensemble
3. Bagging et boosting

Machine à vecteurs de support (SVM)

1. SVM linéaire
2. SVM non linéaire (marges souples et noyau SVM)

Méthodes non supervisées

1. Partitionnement en k-moyennes
2. Partitionnement spectral

Réseaux de neurones profonds (selon avancée du cours)

1. Perceptrons
2. Approximation universelle
3. Backpropagation
4. Différents types de réseaux de neurones
5. Convergence des réseaux de neurones

Apprentissage par renforcement (selon avancée du cours)

1. Processus de décision Markovien
2. Q-learning
3. Méthodes acteur-critique

Déroulement, organisation du cours

Déroulé :
Cours : 18h
TDs : 6h

Projet à réaliser par les élèves à partir de documents fournis

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours sera basée sur les deux activités obligatoires suivantes :

- QCM, 30% de la note finale ;
- projet : 70% de la note finale

La compétence C1 sera évalué via le QCM et le projet, la compétence C6 sera évaluée via le projet

Support de cours, bibliographie

- Shai Shalev-Shwartz and Shai Ben-David. [Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms](#). Cambridge University Press, 2014.
- Christopher M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2011.
- Trevor Hastie, Robert Tibshirani, and Jerome Friedman. [The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction](#). Second Edition, Springer, 2017.
- I. Goodfellow, Y. Bengio et A. Courville. Deep learning. MIT Press, 2016.
- SUTTON, Richard S. et BARTO, Andrew G. Reinforcement learning: An introduction. MIT press, 2018.

Moyens

Equipe enseignante : Guillaume Sandou (cours et TD), Stéphane Font, Pedro Rodriguez et Giorgio Valmorbida (TD)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le cours vise à initier les étudiants aux outils d'apprentissage automatique utilisés dans les contextes de contrôle des systèmes dynamiques, des chaînes d'approvisionnement et de la science de la conception. A la fin du cours, les étudiants seront capables de :

- Identifier les problèmes qui peuvent être résolus à l'aide de méthodologies d'apprentissage automatique ;
- Comprendre les mécanismes justifiant l'utilisation d'une méthode particulière ;
- Connaître les limites et les possibilités offertes par les méthodes d'apprentissage automatique ;
- Face à un problème, identifier et appliquer les algorithmes les plus appropriés.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le cours permettra de travailler et d'évaluer les compétences :

C.1.2 Modéliser : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinente

C.1.3 Résoudre : résoudre un problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C.6.1 Résoudre numériquement un problème

C.6.3 Traiter des données

3GS4300 – Performance des équipements

Responsables : **Christophe Gallon**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de :

- Appréhender les enjeux et les principes de la maintenance dans l'industrie
- Connaître les principales stratégies, les modes d'organisations de la fonction maintenance et les ressources associées
- Découvrir les métiers et les carrières possibles pour un ingénieur CentraleSupélec dans le domaine de la maintenance
- Comprendre les principes des méthodologies de mesure, d'évaluation et d'amélioration de la fiabilité.
- Connaître les principes d'optimisation du rendement des équipements sur toute la durée de leur cycle de vie (de la conception à l'utilisation)
- Apprendre à améliorer l'efficacité de la maintenance, en identifiant les activités à valeur ajoutée.
- Accroître la performance énergétique de l'entreprise en déclinant les enjeux sociétaux en objectifs pour la maintenance et en adaptant les équipements
- Comprendre l'intérêt des démarches participatives impliquant les opérationnels des services maintenance et production
- Découvrir les méthodes (statistiques) permettant de maîtriser la conformité des produits fabriqués en usines et de réussir la mise en fabrication d'un nouveau produit pour qu'il satisfasse les attentes des clients

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- cours Introduction au management des opérations et supply chain en SD09 de la Dominante GSI
- tous les cours tronc commun de la mention SCOM

Plan détaillé du cours (contenu)

1 Présentation de la méthode Total Productive Maintenance

- Enjeux, définition : démarche participative permettant d'améliorer le rendement des installations
- Mesure de la performance des équipements : taux de rendement synthétique, rendement opérationnel
- Amélioration des conditions de travail
- La mise en œuvre de la maintenance autonome
- La maintenance du point de vue d'un responsable de production

2 Enjeux, stratégie et organisation de la maintenance

- Définition des principaux thèmes : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, MTBF, MTTR, Maintenance corrective (palliative-curative- d'amélioration), Maintenance préventive (systématique-conditionnelle-prévisionnelle-opportuniste), Sûreté de fonctionnement,
- Les enjeux de la fonction maintenance
- L'évolution des méthodes de maintenance
- Comment définir une bonne stratégie de maintenance ?
- Comment mettre en œuvre une stratégie de maintenance ?
- Comment accroître les performances énergétiques de l'entreprise ?

3 Maintenance : de la stratégie à la mise en œuvre des ressources

- Pilotage des coûts de maintenance – approche LCC (coût du cycle de vie ou « Life Cycle Cost »)
- Auto-maintenance (exemples)
- Amélioration de l'efficacité de la maintenance programmée (standardisation, planification, capitalisation, gestion des pièces de rechange)
- Sécurité des hommes et des biens
- Intégration du retour d'expérience pour concevoir les équipements

4 Fiabilité

- Définition : fiabilité comparée, allouée, prévisionnelle en conception, en exploitation, opérationnelle
- Objectifs des études de fiabilité
- Lien entre fiabilité et maintenance
- Evaluation de la fiabilité
- Méthodes de sûreté de fonctionnement : arbres de défaillance
- Méthode OMF : optimisation de la maintenance par la fiabilité
- Exemples d'applications

5 activité élective

- Visite installations de maintenance, témoignage d'un responsable de maintenance, interviews des acteurs métiers de la maintenance
- ou
- Capabilité, maîtrise de la qualité lors de l'industrialisation, statistiques appliquées à la production

6 Evaluation

contrôle écrit puis restitution en sous-groupes : cartographie des métiers de la maintenance et synthèse des acquis du cours

Organisation de l'évaluation

- Lors de la dernière séance de cours, les élèves travaillent sur un contrôle écrit dont l'objectif est de vérifier la compréhension des concepts et leur mise en application.
- Lors de la dernière séance de cours, les élèves, répartis en sous-groupe, construisent une cartographie des métiers de la maintenance et synthétisent, lors d'une soutenance orale, les principaux apprentissages.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Vocabulaire propre à la performance des équipements
- Méthodologies utilisées pour accroître la performance des équipements

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socio-économiques
- Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur
- Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives

Compétences CS validées :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C3- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C9- Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS4310 – Prévision

Responsables : **Evren SAHIN, Nicolas Vandeput**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La prévision de la demande est une étape importante dans la planification en entreprise. Pour prendre une décision (remplir un stock de composants, acheter une nouvelle machine, construire une nouvelle usine, etc), nous avons besoin d'estimer la demande. Dans ce cours, les élèves apprendront à utiliser plusieurs méthodes de prévision quantitatives et qualitatives. Ils apprendront également à analyser un historique de demande, mesurer la précision des prévisions, et utiliser des méthodes statistiques et de machine learning pour générer des prévisions.

La prévision de la demande ne sert qu'à aider les autres équipes de la supply chain à prendre de bonnes décisions. Seront présentés les métriques, process, politiques, biais cognitives, méthodes statistiques, machine learning.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Python :

- Vous savez charger une feuille excel via Pandas
- Vous savez créer une fonction en python
- Vous savez utiliser une for loop en python
- Vous connaissez Pandas/Numpy et savez découper/filter des numpy arrays/pandas dataframes

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction à la prévision : objectifs, étapes, et définitions
- La boîte à outils du prévisionniste : résumés graphiques d'une série temporelle, mesure de la précision
- Méthodes de décomposition : classique, STL, la force de la tendance et la saisonnalité
- Méthodes de lissage exponentiel : simple, double
- Méthodes de régression : algorithmes de machine learning

Déroulement, organisation du cours

Cours, TD et projets d'élèves

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu (théorie, stat en excel, ML en python): 60%
Projet (par équipes): 40%

Support de cours, bibliographie

- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: principles and practice. OTexts.
- Nahmias, S., & Olsen, T. L. (2015). Production and operations analysis. Waveland Press.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Générer un forecast en utilisant des méthodes statistiques
- Générer un forecast en utilisant du ML
- Optimiser/définir la granularité, la temporalité, les métriques et le processus à utiliser pour forecaster la demande au mieux
- Expliquer la différence entre demande, ventes, budget, plan, targets
- Expliquer les Pro/con de plusieurs métriques
- Expliquer les risques d'un forecast judgmental et comment les éviter
- Expliquer comment éviter les problèmes politiques lors d'un forecast et quelles sont les symptômes.
- Suivre et améliorer de manière continue un processus de forecast en le rendant plus efficient.
- Expliquer et conseiller sur les méthodes à suivre pour collaborer E2E dans la supply chain.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Analyse graphique et statistique d'un historique de la demande, calcul des prévisions, comparaison entre plusieurs méthodes

Compétences CS validées :

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C6- Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

3GS4320 – Master Class Green Supply Chain & RSE

Responsables : **Isabelle Boccon-Gibod, Evren SAHIN**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

- Les entreprises sont de plus en plus concernées par les enjeux de la RSE (Responsabilité Sociale des Entreprises) couvrant les dimensions environnementales, sociales et sociétales en complément d'une lecture traditionnelle économique et financière.
- Elles sont nombreuses à lancer des initiatives pour améliorer leur performance RSE.
- Ces initiatives peuvent porter sur des éléments très divers de l'activité de l'entreprise :
- Le produit sous tous ces aspects (matières premières et composants, produit semi-fini, produit fini)
- Le conditionnement et les éléments de manipulation du produit (packaging interne, packaging externe, emballage carton, palette,...)
- Le choix et la localisation des fournisseurs
- Les procédés de production et de transformation des produits
- Les conditions de travail à l'intérieur de l'entreprise ainsi que chez ses fournisseurs / sous-traitants / prestataires de service (logistique, transport,...)

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Plan détaillé du cours :

- Enjeux RSE et lien avec la supply chain et la gestion des opérations - Logistique urbaine et enjeux environnementaux et sociaux
- Evolution des supply chains amont (réseau de fournisseurs et étapes de transformation) pour aller vers des « chaînes de valeur vertes » - Economie circulaire et supply chain 1 : la reverse supply chain des déchets et du recyclage des matières
- Economie circulaire et supply chain 2 : business model de la réparation, réutilisation, 2ème vie des produits finis et des composants - Valeur accordée au temps et impact sur la supply chain

Organisation de l'évaluation

Projet en groupes d'élèves

Moyens

Equipe enseignante experte SCOM
Intervenants du monde économique et social

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de

- Appréhender le lien entre la prise en compte des enjeux RSE et la supply chain - Comprendre l'enjeu d'une approche supply chain globale / étendue pour mesurer et améliorer la performance environnementale et sociale des chaînes de valeur
- Percevoir les transformations en cours ou à venir du fonctionnement des entreprises et notamment de leur supply chain pour aller vers un développement durable - Comprendre en quoi il/elle peut être acteurs de cette transformation dans le domaine de la supply chain et la gestion des opérations

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Compréhension des enjeux RSE et de leur lien avec la supply chain
 - Capacité d'analyse d'un cas d'étude pour mettre en évidence le potentiel d'amélioration des performances environnementales et sociales via une transformation de la réponse supply chain
- Compétences CS validées :
- C1**- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
 - C3**- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique
 - C4**- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
 - C9**- Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3GS4500 – Projet de mention SCOM

Responsables : **Evren SAHIN**

Département de rattachement : **MENTION SUPPLY CHAIN AND OPERATIONS MANAGEMENT (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet de mention SCOM couvre toute la période académique de la 3ème année (SD9 - SG10 - SG11, sur la période d'octobre à mi-avril). Ce projet a pour but de mettre en application les approches, méthodes et outils développés dans le programme de la mention SCOM. Le projet s'inscrit dans un cadre professionnel, avec un client (entreprise donnant le sujet) et un fournisseur (le groupe d'élèves qui produit les livrables). Les clients sont soit des partenaires de la mention (en priorité), soit d'autres partenaires sélectionnés par les enseignants. Les élèves travaillent un à deux jours par semaine sur le projet (hors période filières), sur le campus ou sur le site du client. Les élèves alternants sont, en principe, dispensés du projet de mention.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10, SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Projet en groupe de 4 à 5 élèves.

Déroulement, organisation du cours

Projet en groupes d'élèves, avec données et présentation du contexte et de la problématique par un client industriel

Organisation de l'évaluation

Projet en groupe de 4 à 5 élèves. Soutenances intermédiaire et finale.

Les critères suivants seront utilisés lors de la soutenance finale :

- Qualité des résultats fournis au client
- Facilité d'exploitation des livrables fournis
- Qualité du comportement apprécié par le client et les experts enseignants
- Qualité de présentation
- Respect des échéances : Remise des documents, Présentations, Rendez-vous obligatoires

Moyens

Des projets proposés par les entreprises parrains de la mention SCOM, des élèves et des professeurs.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, les élèves seront capables de :

- Mener de manière professionnelle un projet industriel
- Reformuler les attentes d'un client et déployer une démarche d'ingénierie adaptée
- Gérer une relation client-fournisseur

- Présenter de façon synthétique leurs résultats

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C3- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C4- Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C8- Mener un projet, une équipe

C9- Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

DOMINANTE INFORMATIQUE et NUMERIQUE (INFONUM)

3IF1005 – Participation à l'encadrement de projet

Responsables : **Céline Hudelot**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **6**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **6,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Participation à l'encadrement des coding weeks.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Connaissance en programmation et développement

Plan détaillé du cours (contenu)

Participation à l'encadrement des coding weeks

Organisation de l'évaluation

Fail / pass

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Renforcement des connaissances en développement et programmation
Coaching

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C8 : Démontrer une capacité de leadership, individuel et collectif au sein de l'équipe, sur un projet complexe

3IF1010 – Algorithmique avancée

Responsables : **Joanna Tomasik**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est d'enrichir les connaissances et de renforcer les compétences acquises en cours Algorithmique et Complexité offert pour tous les élèves en première année.

Il vise également à mettre les élèves dans la situation semblable à celle qui est pratiquée lors des entretiens de recrutement par des acteurs majeurs de l'Internet et des éditeurs de logiciels réputés - une compétition en programmation : efficacité de solutions algorithmiques, performance de l'implémentation, rapidité de programmation.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

1CC1000 : Systèmes d'information et programmation

1CC2000 : Algorithmique et Complexité

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours est organisé en deux blocs.

Intitulés des cours du bloc **Analyse fine des problèmes difficiles**, thématique des TD/TP :

Cours 1 : Les liens entre espace mémoire et temps de calcul

TD/TP 1 : Exercices pour le cours 1

Cours 2 : Affiner la classification des problèmes P et NP (approximation et inapproximation)

TD/TP 2 : Exercices pour le cours 2

Cours 3 : Affiner la classification des problèmes P et NP (complexité paramétrée)

Intitulés des cours du bloc **Algorithmes randomisés, algorithmes *online***, thématique des TD/TP :

Cours 1 : Algorithmes randomisés : Las Vegas et Monte Carlo

Cours 2 : Introduction à l'algorithmique *online* : prise de décision avec l'information incomplète et analyse compétitive

TD/TP 1 : Exercices pour les cours 1 et 2

Cours 3 : Algorithmes *online* des systèmes d'exploitation : gestion de ressources ; principe de Yao

TD/TP 2 : Exercices pour les cours 3

Le module sera conclu par une session de 3 heures de retours après la compétition en conception d'algorithmes et en programmation.

Déroulement, organisation du cours

Chaque bloc thématique est organisé en :

- trois sessions de cours magistral en amphithéâtre de 1.5 heure présentant des bases théoriques et des approches principales de la conception d'algorithmes,
- deux séances de TD/TP de 1.5 heure pendant laquelle les élèves, guidés par un enseignant, étudieront un panel de problèmes difficiles, analyseront (ou proposeront) leurs solutions algorithmiques accompagnées d'une étude de leur qualité et les mettront en œuvre en langage python.

Organisation de l'évaluation

Les élèves seront confrontés à des problèmes d'optimisation. Ils seront demandés de :

- proposer une solution algorithmique pour le résoudre,
- calculer la complexité de l'algorithme en temps et en espace,
- déterminer la garantie sur la qualité de la solution que leur algorithme produit,
- implémenter l'algorithme en langage python en utilisant des méthodes de programmation et des structures de données les plus adaptées pour que le temps d'exécution soit le plus court possible (en temps du processeur),
- une note sera une fonction de la qualité théorique de l'algorithme et de la manière de l'obtenir ainsi que de l'efficacité du code en python,
- l'évaluation de la performance du programme résultera d'une compétition lancée sur une plateforme numérique et sera calculée sur la base du classement,
- les résultats de cette compétition seront commentés lors d'une session de retours de 3 heures.

Support de cours, bibliographie

Les références bibliographiques sur des articles scientifiques traités seront données sur les transparents des cours concernés.

Moyens

Les cours en amphithéâtre donnés par :

- Joanna TOMASIK (Joanna.Tomasik@centralesupelec.fr)
- Marc-Antoine WEISSER (Marc-Antoine.Weisser@centralesupelec.fr)

Les chargés de TD/TP :

- Johanne COHEN (Johanne.Cohen@centralesupelec.fr)
- Arpad RIMMEL (Arpad.Rimmel@centralesupelec.fr)
- Joanna TOMASIK (Joanna.Tomasik@centralesupelec.fr)
- Benoît VALIRON (Benoit.Valiron@centralesupelec.fr)
- Marc-Antoine WEISSER (Marc-Antoine.Weisser@centralesupelec.fr)

Programmation en python. Une plateforme numérique pour abriter une compétition des implémentations et pour réaliser leur classement.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- l'analyse fine des problèmes difficiles : des problèmes pouvant être résolus en temps pseudo-polynomial (les problèmes faiblement NP-difficiles), des éléments de l'analyse de la complexité paramétrée (FTP), des problèmes dont la solution peut être approchée arbitrairement en temps étant un polynôme de la taille du problème et l'inverse de la précision (FPTAS), des problèmes restant toujours difficiles (les problèmes fortement NP-difficiles)
- les algorithmes randomisés et les algorithmes prenant la décision avec l'information incomplète : des algorithmes randomisés pour résoudre des problèmes d'optimisation difficiles (Las Vegas et Monte Carlo), des algorithmes *online*, déterministes et randomisés, l'analyse compétitive évaluant leur performance dans le pire des cas, des techniques de gestion des structures de données dynamiques et leur qualité, des algorithmes *onlines* utilisés par les systèmes d'exploitation
- l'implémentation des solutions algorithmiques proposées en langage de programmation en tenant compte de sa qualité en termes de consommation de mémoire et de temps d'exécution

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Connaître des approches théoriques pour déterminer la nature d'un problème d'optimisation difficile (classes des problèmes : faiblement/fortement difficiles, FTP, FPTAS, APX) ; la compétence C2.1 (Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur)
- Savoir concevoir des algorithmes randomisés ; la compétence C2.1 (Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur)
- Savoir prendre la décision ayant une information incomplète en proposant des algorithmes *onlines* et savoir déterminer la qualité des solutions algorithmiques proposées (l'analyse compétitive) ; la compétence C2.1 (Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur)
- Connaître des techniques avancées de la conception d'algorithmes ; a compétence C6.4 (Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle)
- Savoir mettre en pratique des algorithmes élaborés (l'implémentation en langage python) ; la compétence C6.4 (Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle)

3IF1015 – Eco conception numérique

Responsables : **Anne-Laure LIGOZAT**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **10**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **6,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours aborde les impacts environnementaux du numérique. Après un rappel du contexte environnemental, les impacts liés au cycle de vie des équipements numériques sont présentés dans un premier temps. Puis les impacts, positifs et négatifs, que le secteur numérique peut avoir sur d'autres secteurs ou l'ensemble de la société, sont discutés. Les méthodologies d'éco-conception de services et infrastructures numériques sont enfin détaillées.

Organisation de l'évaluation

QCM

3IF1020 – Programmation avancée et outils de développement

Responsables : **Dominique Marcadet**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **36,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs de ce cours sont de présenter :

- les principaux concepts que l'on retrouve dans les différents langages de programmation de haut niveau, et les variations sur leurs mises en œuvre ; un objectif secondaire est l'apprentissage des langages de programmation C et C++,
- la programmation système,
- les approches actuelles de développement des logiciels (DevOps, Software craftsmanship).

Une partie importante du temps est consacrée à la pratique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

- 1CC1000 : Systèmes d'Information et Programmation
- 1CC2000 : Algorithmique et Complexité

Plan détaillé du cours (contenu)

- Concepts des langages de programmation
 - Introduction, panorama des langages de programmation, modules et fichiers
 - Approche impérative
 - Approche fonctionnelle
 - Approche objet
 - Approche générative
 - Compléments
- Programmation système
 - Threads, processus
 - Mécanisme de communication et de synchronisation
- Outils de développement avancés
 - DevOps
 - Intégration et déploiement continu
 - Software craftsmanship

Déroulement, organisation du cours

- Cours magistraux : 12h00
- Travaux dirigés : 3h00
- Travaux pratiques : 15h00
- Ateliers : 6h00
- Travail personnel (exercices à terminer) : 24h00

Organisation de l'évaluation

Les exercices, commencés lors des travaux pratiques et terminés par un travail personnel, sont évalués et notés.

Support de cours, bibliographie

- Livres
 - The C++ Programming Language - Bjarne Stroustrup
 - Programmer en C++ : Des premiers pas à la maîtrise de C++20 - Alain Gibaud - Ellipses
 - Effective Modern C++: 42 Specific Ways to Improve Your Use of C++11 and C++14 - Scott Meyers
- Supports
 - Transparents commentés projetés pendant les cours magistraux
 - Énoncés des exercices à réaliser lors des travaux pratiques et en travail personnel

Moyens

Ce cours est constitué de cours magistraux pour présenter les concepts, de travaux pratiques permettant une appropriation opérationnelle de ces concepts et d'ateliers sur les aspects outillage et méthodologie.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- d'écrire des programmes corrects et performants en C et C++ ;
- d'apprendre rapidement un nouveau langage de programmation ;
- d'utiliser dans un programme les possibilités offertes par un système d'exploitation ;
- de mettre en œuvre les approches modernes de développement de logiciels.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4 : Concevoir : spécifier, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

- Spécifier, concevoir, réaliser et tester un logiciel complexe

C2.1 : Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

- Connaissance des principaux concepts des langages de programmation
- Utilisation correcte des services d'un système d'exploitation

C6.2 : Concevoir un logiciel

- Gain en compétences

3IF1030 – Droit, éthique et vie privée

Responsables : **Laurent Cabaret, Jean-Francois Lalande**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce module est de donner aux futurs ingénieurs les outils pour appréhender les problématiques éthiques et juridiques les plus prégnantes dans les domaines du numériques. En effet, un professionnel de l'informatique ne peut se dispenser d'une compréhension fine des limites pénales des activités informatiques, ni d'un raisonnement pertinent sur la propriété intellectuelle, la protection des données personnelles ou l'interaction entre la notion de responsabilité et les possibilités offertes par les outils modernes d'intelligence artificielle. Si une partie de ce raisonnement est d'une nature purement juridique, il n'est pas rare de se trouver dans des situations certes encadrées en droit, mais posant tout de même des questions d'ordre moral, touchant par exemple au rôle social du concepteur de systèmes numériques ou à sa responsabilité vis-à-vis de son œuvre, de ses usages et de son impact. Ce cours vise à permettre aux futurs ingénieurs d'aborder ce type de questionnement éthique avec méthode.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Enseignements de deuxième année : Droit.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Cours 1 (3h) : Propriété intellectuelle et logiciel
- Cours 2 (3h) : Droit de la sécurité des systèmes d'information
- Cours 3 (3h) : Droit des données et droit de l'IA
- Cours 4 (3h) : Raisonnement éthique en informatique

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux : 12h

Organisation de l'évaluation

Sans objet.

Moyens

- Enseignants :
 - Jérémy Bensoussan, ingénieur et avocat (Lexing Alain Bensoussan avocats)
 - Virginie Bensoussan-Brulé, avocate (Lexing Alain Bensoussan avocats)
 - Marie Soulez, avocate (Lexing Alain Bensoussan avocats)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- À la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :
- Identifier les risques juridiques liés à un projet dans le domaine du numérique ;
- Élaborer une stratégie de gestion de la propriété intellectuelle ;
- Intégrer les exigences juridiques aux projets manipulant des données à caractère personnel ;
- Identifier les questions d'ordre éthique posées par un projet et les aborder avec méthode.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1 - Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C2 - Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métier
- C6 - Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique
- C9 - Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3IF1050 – Modélisation logique et systèmes formels

Responsables : **Marc Aiguier**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Présentation des principes fondamentaux et des outils formels (i.e. mathématiquement fondés) à la base à la fois de toutes les méthodes de conception, de vérification et d'implantation des systèmes informatiques. Ainsi, il sera alors abordé dans ce cours les notions fondamentales de la logique mathématique et de la démonstration automatique à la base de toutes ces techniques de modélisation et de vérification de systèmes informatiques. Il sera ainsi présenté des formalismes logiques dits classiques tels que la logique du 1er ordre mais aussi non classiques tels que les logiques modales très utilisées dans la modélisation des systèmes multi-agents et la représentation des données.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Plan détaillé du cours (contenu)

Dans ce cours seront abordés les points suivants :

1. Logique propositionnelle
 - 1.1 Rappel syntaxe, sémantique et résultats de base (compacité, NP-complétude)
 - 1.2 Calcul (à la Hilbert, séquent, méthode des tableaux)
2. Logique des prédicats
 - 2.1 Syntaxe, sémantique et résultats de base (Herbrand, indécidabilité, Lowenheim/Skolem, etc.)
 - 2.2 Calcul (à la Hilbert et preuve de complétude, séquent et élimination des coupures, résolution)
 - 2.3 TP/TD avec utilisation du système Coq.
3. Logique modale
 - 3.1 Syntaxe, sémantique et résultats de base (théorème de modèle fini et décidabilité, bisimulation et co-induction, théorème de Van Benthem)
 - 3.2 Calcul (à la Hilbert, séquent et méthodes des tableaux)
 - 3.3 Modélisation des langages de flûtes - automate de Mealy et mu-calcul

Déroulement, organisation du cours

Ce cours essentiellement théorique sera exclusivement constitué de cours magistraux et de pcs d'application. Il est prévu 1 séance de TP/TD avec utilisation du système de preuve Coq.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de 3h et TP noté.

Moyens

Polycopié du cours en français + énoncés de pcs et leur correction.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Savoir modéliser et raisonner pour renforcer la qualité des systèmes.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Savoir aborder la modélisation d'un problème donné en vue de son implantation informatique (problème décidable), et avoir compris les outils formels fondamentaux pour étudier ce problème soit par simulation informatique (évaluation symbolique, réécriture algébrique), soit par l'analyse de son implantation indépendamment de toute exécution (démonstration automatique).

3IF1060 – Langages et automates

Responsables : **Pascale Le Gall**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les langages formels sont des ensembles de mots et sont en jeu dans de nombreux champs disciplinaires informatiques : traitement de textes, outillage des langages de programmation, informatique théorique, théorie de la complexité. Le cours est une introduction aux principales classes de langages auxquelles sont associés différents modèles (automates finis, grammaires, machines de Turing). Nous verrons que ces modèles permettent de raisonner sur ces classes de langages, en les différenciant ou en les équipant d'algorithmes dédiés.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Plan détaillé du cours (contenu)

Langages formels

Langages réguliers

- Expressions rationnelles
- Automates finis
- Opérations sur les automates : complétion, minimisation
- Théorème de Kleene

Langages algébriques

- Grammaires algébriques
- Arbres de dérivation
- Automates à pile

Machines de Turing

- Machines de Turing universelles
- Problèmes indécidables
- Classes de complexité

Application : analyse lexicale et syntaxique

Déroulement, organisation du cours

Par défaut, Cours magistral et séances de TD, TP d'analyse lexicale et syntaxique

Organisation de l'évaluation

Examen écrit

Support de cours, bibliographie

Un polycopié sera remis aux élèves, ainsi que les sujets et corrigés des TDs.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les automates, grammaires et machines de Turing sont reconnus comme des outils de modélisation, d'abstraction et de raisonnement au cœur de de la discipline informatique.

En conséquence, les compétences ciblées par le cours sont les compétences ou sous-compétences suivantes :

C1.2 Modéliser : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes

C1.3 Résoudre : résoudre un problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C2.1 Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

C6 Etre opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

Par défaut, elles seront évaluées lors de l'examen écrit.

3IF1070 – Systèmes d'exploitation

Responsables : **Idir Ait Sadoune, Frederic Tronel**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de présenter les architectures logicielles et les principaux concepts mis en œuvre dans les systèmes d'exploitation. Un accent particulier sera mis sur les notions de processus et de threads, les mécanismes de gestion du parallélisme, ainsi que sur la gestion de la mémoire dans un contexte multitâches. La programmation Shell dans l'environnement Linux permettra la mise en œuvre de l'ensemble des notions abordées dans ce cours.

À l'issue de ce module, les étudiants seront capables de comprendre le fonctionnement d'un système informatique, de résoudre des problèmes de gestion de processus ou threads concurrents partageant des ressources, de comprendre le fonctionnement de la mémoire, de comprendre le fonctionnement d'un système de fichier, et de manipuler et programmer à l'aide du shell Unix/Linux.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- 1 Présentation des Systèmes d'exploitation (1h30)
- 2 Gestion des processus, des threads et synchronisation (1h30)
- 3 - 4 TD - Gestion des processus, des threads et synchronisation (3h00)
- 5 Organisation de la mémoire (1h30)
- 6 Gestion mémoire (1h30)
- 7 TD Gestion mémoire (1h30)
- 8 Système de fichiers (1h30)
- 9 - 10 TP Système de fichiers sous UNIX (3h00)
- 11 Introduction à la programmation Shell (1h30)
- 12 TD Introduction à la programmation Shell (1h30)
- 13 Gestion des processus sous UNIX/Shell (1h30)
- 14 TD Gestion des processus sous UNIX/Shell (1h30)
- 15 - 16 TP Programmation avancée sous UNIX/Shell (3h00)

Déroulement, organisation du cours

- Cours magistraux pour présenter les concepts
- TD/TP pour mettre en œuvre les concepts

Organisation de l'évaluation

L'évaluation consiste en du contrôle continu

Support de cours, bibliographie

- Silberschatz et al., 2004. Principes des systèmes d'exploitation avec Java. Ed. Vuibert (2008)
- A. Silberschatz, P. Galvin, G. Gagne, Applied Operating System Concepts, John Wiley & Sons, 2002.
- Alain Cazes et Joëlle Delacroix, Architecture des ordinateurs et des systèmes informatiques, Edition Dunod, 2008.

Moyens

Les moyens mis en œuvre pour ce cours combinent cours magistraux, TD et TP favorisant une pratique concrète sur le système d'exploitation Linux à travers la manipulation du Shell.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce module, les étudiants seront capables :

- Comprendre le fonctionnement d'un système informatique
- Résoudre des problèmes de gestion de processus ou threads concurrents partageant des ressources
- Comprendre le fonctionnement de la mémoire
- Comprendre le fonctionnement d'un système de fichier
- Manipuler et programmer à l'aide du shell Unix/Linux

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe
- C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.
- C6.4 Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

3IF1080 – Modélisation des risques et des attaques

Responsables : **EDMOND DE ROFFIGNAC, Valerie Viet Triem Tong**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'analyse des risques en matière de cybersécurité consiste à comprendre, gérer, contrôler et atténuer les risques informatiques au sein d'une organisation numérique. L'analyse des risques est un élément crucial des efforts de protection des données.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Analyse de la menace :

Panorama de la menace, point de vue de l'attaquant. Menaces sur les SI « classiques ». Menaces sur les SI « industriels ». Démarche de l'attaquant / Rappels Kill Chain / notion de scénario, Sources et caractérisation de la menace, Référentiels MITRE

Approche méthodologique de l'analyse de risque

Evaluation du risque vs Gestion du risque. Terminologie (Critère DIC / Evènement redoutés / analyse d'impact / Biens sensibles & support / vulnérabilité / vecteurs / ...), Introduction à EBIOS RM, Référentiels d'analyse de risque

Couverture des risques et démarche de sécurisation

Besoins de sécurité et objectifs de sécurité, Fonctions et mesures de sécurité, Anticipation / prévention / protection / détection / réaction, Démarche d'amélioration continue, Politique de sécurité : Acteurs / rôles et métiers liés à la sécurité / Analyses / Architectures / Développeurs / RSSI / ... Veille CYBER

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux ponctués d'études pratiques

Organisation de l'évaluation

Cas d'étude

Moyens

Ce cours donne les clés de construction d'une analyse de risques pertinente.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- apprécier et traiter les risques relatifs à un projet numérique
- mettre en place ou renforcer un processus de management du risque cyber
- communiquer et justifier les choix de sécurité faits en regard d'une analyse de risque

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

3IF1110 – Introduction à la sécurité

Responsables : **Jean-Francois Lalande**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **15**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **6,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours introduit les notions fondamentales de la sécurité et sureté informatique, ainsi que son écosystème.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

CM 3h - Politiques, propriétés de sécurité, fonctions de sécurité

CM 1.5h - Introduction à la sureté de fonctionnement

CM 1.5h - Ecosystème de la sécurité

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral

Organisation de l'évaluation

Présentiel

Moyens

Cours magistral

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Connaître les propriétés fondamentales et les acteurs de la sécurité
- Apprendre le vocabulaire et les propriétés associées à la sécurité et sureté.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Aucune

3IF1120 – Détection d'intrusion

Responsables : **Pierre-François Gimenez**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les approches de sécurité classiques sont des approches préventives qui visent à empêcher les violations de la politique de sécurité. Si les approches préventives sont indispensables, elles ne sont cependant pas suffisantes. En effet, des failles permettent de contourner les mécanismes préventifs. La sécurité réactive s'intéresse en conséquence à des techniques permettant de détecter les tentatives de violation de la politique de sécurité et de superviser la sécurité des systèmes d'information. L'objectif final est de pouvoir réagir, parfois automatiquement, afin de ramener le système surveillé dans un état sain, en appliquant des contre-mesures. Le cours aborde les différentes approches de détection des intrusions via les sondes IDS (Intrusion Detection Systems), de corrélation des alertes produites par ces sondes, réalisée typiquement au sein des SIEM (Security Information and Event Manager), et d'échange de données de sécurité (Cyber Threat Intelligence). Il présente également les architectures de supervision qui utilisent ces composants afin de constituer des SOC (Security Operational Center).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- Programmation en Python (cours SIP)
- Réseau informatique (électif réseau et sécurité)

Plan détaillé du cours (contenu)

- De la supervision de sécurité à la réponse à incidents (CM, 3h)
- Sonde IDS : Snort (TP, 3h)
- Cyber Threat Intelligence (CM, 3h)
- Utilisation de l'apprentissage automatique pour la détection d'intrusions (CM, 3h)
- Cas d'étude (CM, 1h30)
- Corrélation d'alerte (CM, 1h30)
- SIEM (TP, 3h)

Déroulement, organisation du cours

- Cours magistraux (10h30)
- TP (6h)
- Etude de cas (1h30)

Organisation de l'évaluation

Evaluation des TP

Support de cours, bibliographie

- Kruegel C., Valeur F., Vigna G. Intrusion detection and correlation: Challenges and solutions. Springer Advances in Information Security, Vol. 14, ISBN: 978-0-387-23398-7, 2005
- PDIS, Référentiel d'exigences, https://www.ssi.gouv.fr/uploads/2014/12/pdis_referentiel_v2.0.pdf
- Chris Sanders and Jason Smith. 2013. Applied Network Security Monitoring: Collection, Detection, and Analysis (1st. ed.). Syngress Publishing.

Moyens

- Les TP sont réalisés à l'aide de VirtualBox et s'appuient sur des logiciels open-source (Snort, Suricata, Prelude)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Déployer et configurer une sonde de détection d'intrusions afin de détecter des intrusions
- Déployer et configurer un SIEM afin de corrélérer des alertes

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

3IF1130 – Protection des contenus et vie privée

Responsables : **Jean-Francois Lalande**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans ce module nous présentons les motivations, issues de la propriété intellectuelle et de la protection des données personnelles, qu'il peut y avoir à mettre en place des architectures spécifiques et des mesures techniques de protection des données. Une première partie détaille les techniques classiques comme plus avancées pour le tatouage numérique et la protection des contenus, en particulier multimédia. Les impératifs de contrôle d'usage, de détection des violations et de protection de la vie privée des usagers y sont présentés comme des objectifs complémentaires. La deuxième partie du module se focalise sur les méthodologies et les techniques dédiées à la protection de la vie privée et des données personnelles dans les systèmes informatiques, notamment via la protection des communications ou les technologies d'autorisations préservant la vie privée. Les principes du Privacy by Design y sont détaillés, ainsi que la problématique de protection de la vie privée dans les bases de données et la differential privacy, en tant qu'outil spécifiquement adapté à cette fin.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Enseignements de première année : Réseaux et Sécurité

Plan détaillé du cours (contenu)

- Tatouage numérique.
- Traçage de contenus.
- Respect de la vie privée et masses de données

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux : 10h30

Travaux pratiques : 10h30

Organisation de l'évaluation

- contrôle terminal 1h
- rapport sur projet en binôme

Moyens

Enseignants :

- Tristan Allard (Université de Rennes 1) ;
- Gaëtan Le Guelvouit (Institut B<>com).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :

- Utiliser les outils mathématiques et informatiques adapté pour le tatouage et le traçage de contenus multimédia
- Concevoir une application ou un système informatique en appliquant les principes de la protection des données dès la conception ;
- Analyser et évaluer la qualité d'un mécanisme de protection de la vie privée ou de données personnelles.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C3: Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

3IF1140 – Cryptographie 1

Responsables : **Christophe Bidan**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La cryptographie est un ensemble de techniques qui permettent d'assurer des propriétés de sécurité dans un système, à savoir notamment la confidentialité des échanges, l'intégrité des messages échangés et l'authenticité des données. Ces techniques reposent sur des fondements mathématiques, mais sont mis en œuvre avec des algorithmes (primitives de chiffrement et déchiffrement par exemple) et des protocoles cryptographiques (manière de procéder à des échanges de manière sécurisée). Cette première partie de cours est dédiée aux concepts fondamentaux de la cryptographie moderne, et aux primitives cryptographiques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Enseignement de première année : Cours SIP, cours Algorithmique, électif réseau et sécurité

Plan détaillé du cours (contenu)

Cette première partie de 6 cours de 3h est dédiée aux concepts fondamentaux de la cryptographie moderne, et aux primitives cryptographiques :

- Introduction : concepts, principes généraux, réduction à des problèmes difficiles, modèles de sécurité
- Chiffrement symétrique (par flot et par bloc) : RC4, DES, 3DES, AES
- Chiffrement asymétrique : RSA, El Gamal, courbes elliptiques
- Intégrité symétrique, Fonctions de hachage
- Signature
- Quantique et Cryptographie

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux (18h)

Support de cours, bibliographie

- Oded Goldreich. Foundations of Cryptography (2 volumes)
- N. Ferguson, B. Schneier. Cryptographie : Sécurité de l'information et des systèmes.

Moyens

Enseignants :

- Didier ALQUIE.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :

- Evaluer les propriétés des différentes primitives cryptographiques,
- Utiliser les différentes primitives cryptographiques en fonction des propriétés de sécurité attendues.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1: Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

3IF1141 – Systèmes concurrents et répartis

Responsables : **Jean-Francois Lalande**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est un cours de découverte qui donne un aperçu large, à la fois théorique et pratique, des systèmes distribués et de type blockchain.

Les systèmes distribués sont massivement déployés dans les endroits où l'infrastructure est inexistante, dans les systèmes sans fils et à énergie limitée. Ils sont aussi désormais utilisés dans les systèmes qui cherchent à éviter toute autorité centralisée. Dans de tels systèmes, les propriétés de sécurités garanties sont variées. Il peut s'agir de la disponibilité, l'intégrité, l'évitement de la censure, etc.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Algorithmique et complexité

SIP

Plan détaillé du cours (contenu)

- Théorie des systèmes distribués 6h
 - Algo d'élection, généraux byzantins
 - Consensus
 - Concurrence (tâches séquentielles, synchronisation, réseaux de pétri)
- Blockchain 6h
 - Consensus
 - Proof of Work
 - Proof of Stake
- Bitcoin

Déroulement, organisation du cours

12h CM et 3h TP

Organisation de l'évaluation

Présentiel

Moyens

Cours magistraux et TPs.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Identifier le système réparti adéquat à un problème posé

- Comprendre les différents types et propriétés d'une blockchain
- Mettre en œuvre une blockchain de type bitcoin

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C3 - Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

3IF1160 – Sécurité réseau et matérielle

Responsables : **Guillaume Hiet**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **36,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'infrastructure réseau est un élément essentiel d'un système d'information. Assurer en profondeur la sécurité d'une organisation dans son ensemble passe nécessairement par un contrôle fin et une supervision constante de l'architecture du réseau informatique et des fonctions individuelles qui y sont opérées. Ce module d'enseignement a pour objectif d'approfondir les compétences en réseau des élèves ingénieurs en s'orientant plus particulièrement sur l'analyse des risques de sécurité liés au réseau informatique et sur les méthodes de déploiement et de configuration des contre-mesures appropriées. Des éclairages particuliers seront plus spécifiquement apportés sur certains aspects, comme le contrôle de l'accès au réseau, la configuration des pare-feu ou l'établissement de tunnels sécurisés.

Il est de plus en plus important de combiner des aspects logiciel et matériels afin de prendre en compte les nouvelles attaques logicielles. Par exemple des vulnérabilités matérielles telles que Spectre ou Meltdown peuvent être exploitées par des attaques purement logicielles. De telles attaques peuvent être exécutées à distances et ne requièrent pas d'accès physique à la plateforme matérielle ciblée. D'un autre côté, des fonctionnalités matérielles peuvent être utilisées pour mieux détecter et répondre aux attaques logicielles traditionnelles, telles que celles exploitant des corruptions de la mémoire. Il est donc nécessaire d'étudier avec attention la sécurité des interfaces logiciel/matériel, à la fois en termes d'attaque et de défense.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Enseignements de première année : Réseaux et Sécurité

Enseignements de deuxième année :

- Nouveaux Paradigmes Réseau
- Architecture des ordinateurs
- Système d'exploitation

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours 1 (3h) : Introduction et enjeux, architecture, supervision, cadre réglementaire

TP 1 (3h) : Protection de l'accès au réseau (802.1X, RADIUS)

TP 2 (3h) : IPsec

TP 3 (3h) : Fonctionnement d'un SOC/NOC

Cours 2 (3h) : Pare-feu avancés

TP 4 (3h) : Configuration de pare-feu

Cours 3 (3h) : Sécurité du wifi

Cours 4 (3h) : Sécurité du routage

Cours 5 (3h) : Introduction aux mécanismes de sécurité matériel

Cours 6 (3h) : Attaques contre la micro-architecture

TP 5 : Attaques par canaux auxiliaires contre le cache

TP 6 : Enclaves

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux : 18h
Travaux pratiques : 18h

Organisation de l'évaluation

Le module est évalué au travers de travaux pratiques (rapports et soutenances).

Moyens

Enseignants :

- Guillaume Hiet (CentraleSupélec) ;
 - Ruben Salvador (CentraleSupélec) ;
 - Christophe Bidan (CentraleSupélec) ;
 - Jean-François Calvez (Orange Cyberdefense).
- Du matériel réseau spécifique sera mis à disposition pour les TP.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :

- Concevoir une architecture de réseau informatique garantissant de bonnes propriétés de sécurité ;
- Configurer des équipements réseau dans le respect des recommandations de l'ANSSI et du Référentiel Général de Sécurité ;
- Configurer et maintenir des tunnels IPsec ;
- Administrer et superviser le contrôle d'accès au réseau ;
- Anticiper et contenir les risques de sécurité liés aux communications radio et au routage dynamique.
- Réaliser des attaques par canaux auxiliaire exploitant le cache d'un microprocesseur
- Développer une application reposant sur une enclave d'un microprocesseur

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2 - Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

3IF1171 – Systèmes d'exploitation

Responsables : **Pierre Wilke**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs de ce cours sont de donner les connaissances et les compétences afin de réaliser un système d'exploitation multitâche gérant la mémoire des différents processus, gérant des interruptions et capable de réaliser des entrées-sorties.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Les prérequis pour ce cours sont les suivants :

- Bonne maîtrise du langage C.
- Un plus serait utile de connaître l'assembleur RISC-V.

Plan détaillé du cours (contenu)

Les différents cours sont organisés de la manière suivante:

I Cours 1 :

- Histoire des systèmes d'exploitation

II Cours 2 :

- Démarrage du système d'exploitation
- Programmation des registres de contrôle
- Niveaux de privilège
- Gestion des interruptions
- Appels système

III Cours 3 :

- Ordonnancement des processus
- Algorithmes d'ordonnancement
- Changement de contexte

IV Cours 4 :

- Primitives de synchronisation en espace noyau et utilisateur
- Problème de concurrence
- Concurrence réelle et pseudo-concurrence

V Cours 5 :

- Gestion de la mémoire virtuelle
- Segmentation
- Pagination
- Protection mémoire
- Chargement de binaire
- Algorithme d'allocation mémoire

Déroulement, organisation du cours

CM 18h

TP 9h

Organisation de l'évaluation

Contrôle final = examen oral

Évaluations obligatoires : Comptes-rendus de TP n°1 et 2, incluant le code produit pour répondre aux questions, et le nombre de tests fonctionnels passés par le code.

L'oral compte pour 50%.

Les rapports de TPs comptent pour les 50% restants.

Compétence C2 validée par la validation du cours (NF \geq 10)

Compétence C6 validée par la validation des TPs (EO \geq 10)

Compétence C7 validée par la performance à l'examen oral

Support de cours, bibliographie

- Andrew Tanenbaum, " Systèmes d'exploitation ", 3eme Edition, Pearson.
- Russinovich, Mark, Solomon, David, Ionescu, Alex, "Windows Internals", 6eme edition, Microsoft Press.
- Daniel Bovet, Marco Cesati, "Understanding the Linux Kernel", 2nd Edition, O'Reilly.
- Love, Robert , "Linux Kernel Development: A thorough guide to the design and implementation of the Linux kernel (Developer's Library) ", Addison-Wesley.

Moyens

Enseignants : Frédéric Tronel et Pierre Wilke

Matériel nécessaire : un ordinateur équipé d'un système d'exploitation Linux.

Logiciels nécessaires : chaîne de cross-compilation gcc pour RISC-V, qemu-riscv64, docker (Un guide d'installation de ces différents outils sera fourni en introduction du cours).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre les concepts mis en œuvre lors de la conception d'un système d'exploitation.

Comprendre l'impact des services offerts par un système d'exploitation sur les performances et la sécurité des applications.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

C6.2 Concevoir un logiciel

C7.1 Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

3IF2020 – Principe de fonctionnement des ordinateurs

Responsables : **Frederic Boulanger**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présente les principes fondamentaux de fonctionnement des ordinateurs et les illustre par la conception d'un microprocesseur, la traduction d'instructions Python en langage d'assemblage, la gestion des entrées-sorties et les interruptions. Le microprocesseur est réalisé sous Logisim, les entrées-sorties et les interruptions sont présentées sous MicroPython.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Programmation Python

Plan détaillé du cours (contenu)

CM1 et 2 (3HPE) : Introduction, ordinateurs, processeurs

BE 1 (3HPE) : Circuits logiques, construction du chemin de données d'un processeur

CM2 et 3 (3HPE) : Architecture interne d'un processeur, jeu d'instruction, exécution

BE 2 (3HPE) : Réalisation d'un microprocesseur sous LogiSim

BE 3 (3HPE) : Traduction d'instructions Python en langage machine

CM4 et 5 : Mémoires, entrées-sorties, interruptions

BE 4 (3HPE) : Entrées-sorties, interruptions

BE 5 (3HPE) : Pilote de périphérique, abstraction du matériel, lien avec le système d'exploitation

Déroulement, organisation du cours

- Site web présentant le matériel du cours ainsi que des éléments d'approfondissement
- Cours magistraux pour présenter les concepts
- Bureaux d'étude avec réalisations concrètes pour mettre en œuvre les concepts et se les approprier
- Utilisation d'un simulateur pour la conception du processeur
- Utilisation d'un kit micro-contrôleur+composants pour la partie E/S et interruptions

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera en contrôle continu sur la qualité du travail fourni et des devoirs rendus lors les bureaux d'étude (comme pour un projet).

Support de cours, bibliographie

Andrew Tanenbaum, "Architecture de l'ordinateur", 4e édition, 2001

Andrew Tanenbaum, "Structured Computer Organization", 6e edition, 2012

John Hennessy, David Patterson, "Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface", 5e edition, 2013

John Hennessy, David Patterson, "Organisation et conception des ordinateurs : l'interface matériel/logiciel", 1994

John Hennessy, David Patterson, "Computer Architecture: A Quantitative Approach", 5e edition, 2011

Moyens

Les moyens mis en œuvre pour ce cours combinent cours magistraux et bureaux d'étude favorisant une pratique concrète sur simulateur pour la conception d'un micro-processeur, et sur micro-contrôleur et des composants matériels pour l'étude de l'interface matériel-logiciel. Il y a 15 HPE de pratique pour 9 HPE de cours.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- d'analyser le fonctionnement d'un ordinateur et la manière dont il manipule les données,
- de faire des choix plus pertinents en matière d'architecture d'un calculateur,
- de concevoir le logiciel qui permet d'exploiter un composant matériel,
- de déterminer l'impact des structures de contrôle des langages de programmation sur l'exécution des programmes.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

- Définir l'architecture d'un système à l'interface entre le matériel et le logiciel
- Concevoir le logiciel permettant d'exploiter un composant matériel

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

- Connaissance des mécanismes en jeu à l'interface entre le matériel et le logiciel afin de pouvoir les prendre en compte dans la conception de systèmes ainsi que dans l'évaluation des vulnérabilités du système

C6.1 Résoudre un problème dans une démarche de pensée computationnelle

- Gain en compétence en techniques de programmation et de modélisation des calculs

3IF2030 – Traitement des langages

Responsables : **Benoît VALIRON**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

On utilise de nombreux langages pour structurer de l'information à destination des ordinateurs. Bien entendu, les langages de programmation permettent d'exprimer des programmes, mais on utilise également de nombreux langages adaptés à des domaines particuliers (DSL, domain-specific languages). Savoir traiter des langages est donc un enjeu important en développement logiciel.

L'objectif est de présenter les principales méthodes et techniques permettant le traitement de divers langages, c'est-à-dire leur « compréhension » ou leur « modification » par l'ordinateur. Ce cours recouvre donc les domaines de la compilation, de l'interprétation et de la transformation de langages.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Cursus commun en informatique

Plan détaillé du cours (contenu)

Concepts et algorithmes. Langage, syntaxe et sémantique. Traducteurs et interpréteurs. Grammaires. Analyse lexicale. Analyse syntaxique : méthodes descendantes (méthode par backtracking, méthode LL) et ascendantes (LR). Analyse des expressions. Traduction dirigée par la syntaxe, arbres de syntaxe abstraite (AST). Notations intermédiaires et optimisation.

Étude d'un outil : générateur de lexers et de parseurs ANTLR

BE : compilation d'un petit langage

Déroulement, organisation du cours

Le cours module théorie et application, la théorie servant de fil directeur pour une compréhension fine des processus en jeu dans les outils et méthodes présentés en TP.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation consiste en du contrôle continu et un projet noté.

Support de cours, bibliographie

A. W. Appel. Modern Compiler Implementation in Java, Second Edition. Cambridge University Press, 2002.

A. Aho, M. Lam, R. Sethi, et J. Ullman. Compilateurs : principes, techniques et outils (2ème édition). Pearson Education, 2007.

T. Parr, The Definitive ANTLR Reference. The Pragmatic Bookshelf, 2007.

Moyens

Le cours se compose $6 \times 1h30$ de cours et 6h de TPs sur machine.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet apprentissage, les élèves seront capables de :

- Connaître les grandes classes de parseurs, leur forces et limitations.
- Concevoir un analyseur syntaxique et lui adjoindre des actions sémantiques.
- Réaliser un compilateur simple.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétence C2.1 - Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

Compétence C6.4 - Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

3IF2040 – Ingénierie des modèles

Responsables : **Frederic Boulanger**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les modèles sont au cœur de la conception des systèmes, et les modèles informatiques peuvent eux-mêmes être considérés comme des systèmes que l'on modélise, ce qui crée toute une hiérarchie de modèles auxquels s'appliquent les techniques de l'ingénierie des modèles. Ce cours aborde le rôle des modèles, les relations entre modèles, systèmes et langages afin d'éclairer les fondements de l'ingénierie des modèles et de tout l'outillage disponible pour créer des métamodèles, définir des transformations de modèles, valider des modèles. Ces outils sont mis en œuvre et exploités pour limiter les redondances, éviter les incohérences et réutiliser au mieux l'information codée dans les modèles. Un mini-projet sous Eclipse EMF avec QVT-operational et Acceleo se déroule en parallèle du cours, avec une séance de 3h de travaux dirigés pour le suivi. Le cours proprement dit comporte 4 séances de 3h. Une dernière séance de 3h permet de finaliser le projet et d'évaluer le travail des élèves.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Créneau 1 :
 - Introduction, définitions
 - Systèmes, modèles, langages de modélisation, métamodèles
 - Typologie des modèles
 - Gestion de la complexité, Analyse et conception
 - Sémantique des modèles
 - Nécessité de donner un sens à un modèle
 - Syntaxes abstraites et concrète
 - Sémantiques abstraite et concrète, modèles de calcul
 - Principes de la définition d'une sémantique
 - Lois de composition des comportements
- Créneaux 2, 3, et 4 (sur machine) :
 - Concepts :
 - Métamodèles eCore,
 - Instanciation d'un modèle,
 - Intérêt des approches génératives, sémantique traductionnelle
 - Transformations de modèles M2M, QVT operational
 - Transformations de modèles M2T, Acceleo
 - Création d'un DSL pour des systèmes à transitions
 - Mise en œuvre concrète :
 - Transformation M2M pour aller vers un modèle de code
 - Transformation M2T pour générer du code Java
- Créneau 5 (sur machine) : Finalisation du projet, évaluation et retour sur le travail fourni

Déroulement, organisation du cours

- Site web présentant le matériel du cours ainsi que des éléments d'approfondissement
- Cours magistraux pour présenter les concepts
- Bureaux d'étude avec réalisations concrètes pour mettre en œuvre les concepts et se les approprier

Organisation de l'évaluation

- L'évaluation se fera en contrôle continu sur la qualité du travail fourni lors des bureaux d'étude et sur le rendu du projet.

Support de cours, bibliographie

<https://wdi.centralesupelec.fr/mde/>

Moyens

Les moyens mis en œuvre pour ce cours combinent cours magistraux pour la présentation des concepts théoriques, cours sur machine pour appréhender les techniques qui les mettent en œuvre, et travail personnel encadré par des bureaux d'étude afin de permettre aux élèves de prendre en main rapidement les différents outils.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :
 - de faire des choix de modélisation pertinents en fonction d'objectifs de modélisation,
 - de définir un langage de modélisation (un métamodèle) adapté à un problème métier,
 - d'outiller ce langage pour le rendre utilisable (éditeur, analyseur syntaxique, vérificateur)
 - de concevoir des transformations entre différents langages, autant au niveau du métamodèle que des formats textuels.
 - ils auront également été sensibilisés à la problématique du sens donné à un modèle, qui sera approfondie dans le cours de sémantique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

- Concevoir un langage de modélisation adapté à un domaine métier.
- Choisir le bon niveau d'abstraction pour faire le bon compromis entre expressivité et capacité à résoudre.

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

- Définir l'architecture d'une chaîne de conception : choix des différents modèles en jeu et conception des transformations entre ces modèles.

C2.2 Importer des connaissances d'autres domaines ou disciplines

- Mobiliser ses compétences d'ingénieur généraliste afin de comprendre les besoins du client dans la conception d'un système logiciel de modélisation de ses problèmes métier.

C3.3 Mettre en œuvre concrètement des idées novatrices et s'engager sur ses décisions, évaluer les solutions, passer à l'industrialisation pour délivrer des résultats tangibles

- Savoir décomposer le processus de conception en étapes et créer les différents métamodèles nécessaires, ainsi que les algorithmes de validation et de transformation des modèles entre ces étapes.
- Créer de nouveaux langages de modélisation afin de permettre d'exprimer de nouveaux concepts, tout en s'appuyant sur les outils d'ingénierie disponible afin de limiter le risque d'échec.

C5.2 Écouter, se faire comprendre et travailler avec des acteurs de culture, d'expérience et compétences variées

- Accepter et comprendre les différentes cultures métier, être attentif aux différences de vocabulaire afin de concevoir des outils de modélisation adaptés aux besoins du client.

3IF2050 – Analyse Statique

Responsables : **Olivier Bouissou, Frederic Boulanger**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **9,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'analyse statique permet de déterminer des propriétés d'un système en examinant ses modèles, sans l'exécuter ni le simuler. Il s'agit d'une approche de la vérification qui est automatique, mais qui peut rapporter de faux positifs (problèmes qui n'existent pas réellement) et passer sous silence des problèmes bien présents (faux négatifs). Ce cours vise à présenter les différentes techniques d'analyse statique, les domaines où elle est la plus pertinente, ses limites et ses avantages dans un contexte industriel.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- CM 1 : Introduction, nature et intérêt de l'analyse statique
- CM 2 : Contraintes industrielles sur l'analyse statique
- Séances 3 à 6 : Études de cas

Déroulement, organisation du cours

Les méthodes utilisées pour ce cours sont principalement des études de cas, avec des cours magistraux d'introduction pour présenter les concepts et les contraintes industrielles qui contraignent la méthode.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera en contrôle continu sur la participation aux études de cas et la qualité des rendus.

Moyens

Ce cours fait largement appel à des études de cas industriels pour prendre la mesure des possibilités mais aussi des limitations de l'analyse statique. Deux cours magistraux permettent de donner les connaissances initiales requises pour les études de cas.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- d'évaluer la pertinence de l'analyse statique pour la vérification d'un système,
- de faire le choix d'un outil d'analyse statique pertinent dans un contexte industriel,
- d'interpréter les résultats en prenant en compte les défauts de la méthode.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

- Choisir une technique de vérification adaptée au système à vérifier et à l'environnement industriel

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

- Connaissance des avantages et des limitations de l'analyse statique afin d'évaluer correctement les risques d'erreurs dans un système.

3IF2060 – Systèmes hybrides

Responsables : **Lina Ye**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **9,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours explore les théories fondamentales et les outils pratiques pour la conception et la vérification de logiciels et systèmes embarqués, en mettant l'accent sur l'interaction entre les aspects discrets et continus. L'utilisation d'une abstraction nous permet de vérifier automatiquement certaines propriétés cruciales. La vérification des logiciels embarqués critiques est un domaine d'application naturel de ces techniques. Une difficulté qui se pose est la nécessité de prendre en compte l'interaction du logiciel avec son environnement physique. La deuxième partie du cours est consacrée à la présentation des solutions actuelles pour l'analyse de tels systèmes en utilisant les techniques classiques telles que model checking, l'analyse statique et tests.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- CM1-TD1 : Introduction et modélisation
 - système continu, système discret, système hybride (logiciel embarqué)
 - automates hybrides (syntax et sémantique)
 - simulations, comportements zénos
- CM2-TD2 : vérification de systèmes hybrides
 - motivation et problèmes
 - analyse de systèmes infinis
 - vérification par model checking, l'analyse statique et tests.
- BE (créneaux 5 & 6)
 - Environnement pour modéliser et vérifier les systèmes hybrides (MATLAB & Simulink & Stateflow)

Déroulement, organisation du cours

- Site web présentant le matériel du cours
- Cours magistraux plus TDs pour introduire et présenter les concepts
- Bureaux d'étude pour mettre en œuvre les concepts avec la réalisation concrète

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera en contrôle continu sur la participation aux études de cas et la qualité des rendus.

Moyens

wifi;
projecteur;
MATLAB & Simulink & Stateflow

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- de concevoir un système informatique (aspect discret) ainsi que l'environnement (aspect continu) dans lequel il devra fonctionner;
- de connaître et comprendre l'hétérogénéité et les interactions entre modèles;
- de choisir le niveau d'abstraction approprié à l'implémentation d'un système hybride ;
- de connaître les solutions actuelles pour vérifier partiellement les systèmes hybrides;
- de comprendre l'approche de l'ingénierie dirigée par les modèles et savoir utiliser les outils pour sa mise en œuvre.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

- Identifier les éléments-clés pour modéliser les systèmes hybrides, et formellement les capturer pour pouvoir les analyser.

C1.3 Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

- Voir l'avantage de sur-approximation pour les systèmes infinis ainsi celui de méthodes basant sur la simulation.

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

- Spécifier les propriétés attendues du système hybride en prenant en compte l'interaction entre les aspects discrets et continus.
- Construire un modèle de ce système avec les spécifications.
- Partiellement vérifier les propriétés sur le modèle.

3IF2070 – Test

Responsables : **Lina Ye**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le test est une activité de validation qui permet de confronter un logiciel à sa spécification. Ce cours initie au métier de testeur, aux différentes techniques de test et comment les mettre en œuvre tout au long du processus de développement.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

12 créneaux d'1h30 (18 HPE) : 6 cours (1h30), 3 bureaux d'étude (3h)

- CM 1 : Introduction, définitions
 - Activités de l'ingénieur de validation (Classification de Beizer...)
 - Différents critères et types de test
 - Automatisation de l'activité de test
 - Formalisation de l'activité de test : introduction aux critères de couverture
 - Limites des tests
- CM 2 : Test fonctionnel
 - Test aléatoire
 - Test par partitionnement des données (classes d'équivalence, tests aux limites, tests de robustesse...)
 - Test unitaire (principe et mise en œuvre)
 - Fuzzing (principe et mise en œuvre)
- BE (créneaux 3 & 4)
 - Environnement de test unitaire (ex: JUnit, PUnit)
 - Environnement de génération automatique de tests et de partitionnement de données (ex : JMLSpecs)
 - Environnement de génération de tests aléatoires par Fuzzing (ex: OWASP WSFuzzer)
- CM 5 & 6 : Test structurel
 - Graphes de contrôle et graphes de données
 - Test par couverture code (critères : bloc, décision, condition, MC/DC...)
 - Test par mutation (principe, niveaux et types de mutations)
- BE (créneaux 7 & 8)
 - Environnement de test par couverture (ex: emma, jcoverage, Simulink/Design Verifier)
 - Environnement de test par mutation (ex: PIT, Proteum)
- CM 9 & 10 : Test par exécution symbolique
 - Prédicats de chemins et résolution de contraintes
 - Exécution symbolique statique
 - Exécution symbolique dynamique (concolique)
- BE (créneaux 11 & 12)
 - Environnement d'exécution symbolique et concolique (PathCrawler, CUTE, Angr, KLEE)

Les 12 HEE restantes sont consacrées à la finalisation des travaux réalisés en bureaux d'étude, ainsi qu'aux révisions.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera en contrôle continu sur la qualité du travail fourni lors des bureaux d'étude

Moyens

L'apprentissage se basera sur de la pratique. Après les cours magistraux présentant les concepts théoriques et introduisant les différents outils, des bureaux d'étude permettront aux élèves de prendre en main une multitude d'environnements de test et de travailler sur des cas concrets.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Qu'est-ce qu'un cas de test ? Un système sous test ?
- Techniques de conception de tests :
 - techniques boîte noire (partitionnement, couverture de données...);
 - techniques boîte blanche (couverture du code, mutation...)
- Génération automatique de cas de test:
 - méthode aléatoire;
 - exécution symbolique;
 - exécution concolique;
 - génération à base de modèles

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C6.3 Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel
 - le test est l'activité de validation la plus répandue
 - le test consiste à confronter la spécification à la réalisation dans le but de la validation
- C2.5: Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur
 - se former au métier de testeur
- C3.8: Savoir concevoir, réaliser et passer à l'industrialisation
 - le passage à l'industrialisation nécessite une phase importante de test.

3IF2080 – Algorithmes pour systèmes distribués

Responsables : **Francesca Bugiotti**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Nombreuses applications traitent et stockent des masses de données pour produire des analyses efficaces et pertinents.

Pour exploiter ces données et utiliser efficacement les systèmes de stockage et d'analyse il faut comprendre comment développer des façons efficaces sur des systèmes distribués.

Dans ce contexte ce cours a comme objectif de décrire comment traiter des données, hétérogènes, volumineuses, et complexes en utilisant des méthodes, algorithmes et surtout des systèmes distribués.

Chaque challenge et défi théorique sera analysé en relation avec une technologie "big data" et un framework innovant comme Docker, Kubernetes, et Kubeflow.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Chapitre 1. Introduction

- Concepts de distribution
- Modèles de distribution

Chapitre 2. Distribution des données

- Algorithmes distribués et parallèles sur les données
- Architectures à services

Chapitre 3. Les environnements de programmation parallèle

- Spark
- Docker
- Kubernetes
- Kubeflow

Chapitre 4. Analyse de plusieurs environnements Cloud

- Analyser les aspects spécifiques de différents environnements Cloud

Chapitre 5. Réalisation du projet d'optimisation des performances en collaboration avec l'entreprise de référence.

Déroulement, organisation du cours

Introduction. Cours magistral : 1,5h
Distribution des données. Cours magistral : 1,5h
Les environnements de programmation parallèle. Cours magistral : 3h
Techniques avancées pour l'analyse distribuée. Cours magistral : 3h
Comparer des environnements Cloud. Cours magistral : 3h

14 créneaux d'1h30 : 8 cours, 1 présentation des projets, 4 suivi projet, 1 discussion du projet.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera sur la qualité du travail personnel fait sur le projet, sur l'investissement pendant les séances de suivi de projet, ainsi que sur la soutenance.

Support de cours, bibliographie

Managing Kubernetes: Operating Kubernetes Clusters in the Real World - Brendan Burns, Craig Tracey

Docker: up & Running - Sean p. Kane, Karl Matthias

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, l'élève aura enrichi ses connaissances concernant :

1. Distribution des données
2. Algorithmes distribués
3. Optimisation du calcul distribué
4. Outils pour l'analyse distribuée
5. Architecture à services
6. Algorithmes parallèles pour graphes
7. Analyse de modèles de distribution d'Hadoop, Docker et Kubernetes
8. Workflows et leur application

En plus l'élève prendra part au développement d'un projet pour l'optimisation d'une application distribuée en collaboration dans un vrai environnement cloud avec une entreprise de référence.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2 Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers.

C6 Etre à l'aise et innovant dans le monde numérique.

- C6.3 Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel
- C6.5 Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.

C8 Mener un projet, une équipe.

- C8.1 Travailler en équipe/en collaboration.

3IF2090 – Programmation quantique pour DL

Responsables : **Benoit VALIRON**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'informatique quantique est un modèle de calcul susceptible de révolutionner un certain nombre de domaines : calcul haute-performance, chimie, cryptographie, apprentissage automatique... Ce cours présente ce qu'est l'informatique quantique, ses forces et faiblesses et comment se programme un ordinateur quantique. Pour illustrer le propos seront présentés l'algorithme de factorisation de Shor ainsi que quelques algorithmes récents en rapport avec l'apprentissage automatique.

Il est à noter que le cours est assez mathématique : les algorithmes quantiques fonctionnent en grande partie grâce à des propriétés algébriques spécifiques aux espaces de Hilbert, que le cours aura à cœur de décrypter.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Cursus commun en informatique ; Bases en algèbre linéaire. Une connaissance de la mécanique quantique peut aider, mais n'est pas nécessaire.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Modèle de calcul quantique : notions mathématiques
- Ensembles d'instructions quantiques, circuits quantiques et programmation quantique
- Implémentation physique, correction d'erreurs
- Sous-routines quantiques, algorithme de Shor
- Discussion sur le gain en complexité
- Méthodes variationnelles: VQE, QAOA.

Déroulement, organisation du cours

Le cours module théorie et application, la théorie servant de fil directeur pour une compréhension fine des processus en jeu dans les outils et méthodes présentés en TP.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation consiste en du contrôle continu et un projet noté.

Support de cours, bibliographie

- Michael Nielsen and Isaac Chuang. Quantum Computation and Quantum Information: 10th Anniversary Edition. Cambridge University Press. 2010
- Peter Wittek. Quantum Machine Learning. Elsevier. 2014
- N. David Mermin. Quantum Computer Science: An Introduction. Cambridge University Press. 2004

Moyens

Les séances présentent de manière incrémentale les notions nécessaires. Chaque notion est présentée de partie théorique (en CM) puis mise en application, par des TDs sur papier et des travaux pratiques sur machine.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de :

- Décrire les différences entre le calcul quantique et le calcul classique.
- Discerner les gains de performances potentiels des algorithmes quantiques et classiques.
- Évaluer les applications métier du calcul quantique.
- Déterminer les exigences techniques des ordinateurs quantiques pour exécuter de manière réaliste de grands algorithmes quantiques.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétence C2.1 - Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

Compétence C6.4 - Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel complexe

3IF2211 – Logique et systèmes déductifs

Responsables : **Benoit VALIRON**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans ce cours, nous brosserons à grands traits un aspect théorique important pour les sciences du logiciel : la modélisation dans un cadre fonctionnel. Nous étudierons d'une part des modèles de calcul basé sur la réécriture c'est à dire un cadre général d'évaluation d'un algorithme ou d'un programme donné. Un focus particulier sera mis sur le lambda-calcul. D'autre part, nous passerons en revue trois systèmes logiques permettant de formaliser des théories et propositions logiques : Les types dépendants, HOL et la logique de Hoare. Le lien entre les deux sera présenté sous l'angle des systèmes de types.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Cursus commun en informatique

Plan détaillé du cours (contenu)

Calcul

- Universalité, thèse de Church Turing, Calculabilité, Problème de l'arrêt
- Réécriture de 1er ordre, Lambda-calcul, stratégie de réduction
- Systèmes de type, types récursifs, types dépendants
- Inférence de type et compilation

Logique

- 1er et 2nd ordre, logique intuitioniste et logique classique
- Équivalence de Curry-Howard
- Expressivité, décidabilité (ZFC, Presburger, etc)
- SAT/SMT

Systèmes déductifs

- Forme de preuve
- Raisonnement inductif
- Types dépendants, HOL, logique de Hoare

Déroulement, organisation du cours

Le cours module théorie et application, la théorie servant de fil directeur pour une compréhension fine des processus en jeu dans les outils et méthodes présentés en TD.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation consiste en du contrôle continu et un projet noté.

Support de cours, bibliographie

- Pierce, B. C. (2002). *Types and programming languages*. MIT press.
- Appel, A. W. (2007). *Compiling with continuations*. Cambridge university press.
- Bertot, Y., & Castéran, P. (2015). *Le coq'art (v8)*.
- Nipkow, T., & Klein, G. (2014). *Concrete semantics: with Isabelle/HOL*. Springer International Publishing.

Moyens

Le cours se compose de 3 parties, chacune couvrant en moyenne 5 séances de 1h30 (typiquement 3 séances de cours et 2 TDs/TPs). La coloration et le poids des différentes parties peuvent évoluer en fonction des besoins.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de :

- Modéliser un problème dans un cadre fonctionnel
- Connaître les grandes classes de systèmes logiques et leur relation
- Caractériser la correspondance entre un système logique et un modèle de calcul à travers Curry-Howard

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétence C2.1 - Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

Compétence C6.4 - Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

3IF2220 – Sémantique et preuve des programmes

Responsables : **Frederic Boulanger**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La valeur d'un modèle tient au sens qu'il porte et aux outils qu'on peut lui appliquer. Il est primordial que les différents outils interprètent un modèle donné de la même façon. Ce cours présente les techniques sémantiques qui permettent de définir le sens d'un langage, et donc le sens des modèles exprimés dans ce langage. On y verra comment modéliser la syntaxe abstraite d'un langage (en connexion avec le cours de traitement des langages), choisir un domaine sémantique (en général une logique), et comment établir une correspondance entre les éléments syntaxiques et les éléments sémantiques. Les différents styles de sémantiques (opérationnel, dénotationnel, axiomatique) seront présentés, ainsi que les relations de consistance et de complétude relatives. Ce cours s'appuie sur le cours de logique et systèmes déductifs, et suit une approche pragmatique avec une mise en œuvre concrète des concepts et des méthodes dans l'assistant de preuve Isabelle/HOL. 16 heures de travail personnel sont dédiées à la prise en main de l'outil (tutoriel à suivre) et à des exercices. Deux créneaux de 3 heures en présentiel sont consacrés à une pratique encadrée (travaux pratiques) afin d'ancrer les notions abstraites dans leur mise en œuvre concrète sur un cas d'étude. Deux autres créneaux de 3h sont consacrés à la preuve de programmes C avec Frama-C afin de montrer comment les techniques vues dans ce cours s'appliquent dans un contexte industriel.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Cours de logique et systèmes déductifs de la mention Science du logiciel

Plan détaillé du cours (contenu)

6 créneaux de 3h (18 HPE).

- Créneau 1 : Introduction, rappels
 - Nécessité d'une sémantique bien définie
 - Syntaxe et sémantique
 - Sémantiques dénotationnelle, opérationnelle et axiomatique
 - Sémantique et vérification
 - Rappel sur le langage Niklaus
 - Logique d'ordre supérieur
 - Principes fondamentaux d'Isabelle/HOL
 - Modélisation de la syntaxe abstraite de Niklaus en Isabelle/HOL
 - Choix du domaine sémantique
 - Correspondance syntaxe abstraite \leftrightarrow domaine sémantique
 - Sémantique des expressions Niklaus
 - Preuves élémentaires (simplification d'expression et équivalence sémantique)
- Créneau 2 : Sémantique opérationnelle (cours sur machine)
 - Approche fonctionnelle, problème de la terminaison
 - Approche inductive
 - Sémantique à petits pas ou à grands pas
 - Sémantique à grands pas de Niklaus

- Créneau 3 : Sémantique dénotationnelle
 - Problème des définitions récursives
 - Définitions récursives de la factorielle
 - Fonctionnelles et points fixes
 - Sémantique dénotationnelle de Niklaus
- Créneau 4 : sur machine
 - Sémantique axiomatique de Niklaus
 - Preuves de programmes
 - Notion de plus faible précondition
- Créneaux 5 et 6 : bureau d'étude Framac (Nikolaï Kosmatov)
 - Preuve de programmes C

Déroulement, organisation du cours

- Site web présentant le matériel du cours ainsi que des éléments d'initiation et d'approfondissement
- Auto-formation aux outils par un tutoriel afin d'être prêt à suivre les cours
- Cours magistraux pour présenter les concepts
- Cours sur machine pour mettre en œuvre les concepts avec l'assistance d'un enseignant
- Bureaux d'étude avec réalisations concrètes pour mettre en œuvre les concepts et se les approprier

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fait en contrôle continu sur la qualité des rendus d'exercices (tutoriel, en autres), sur la participation aux bureaux d'étude et sur les rendus finaux.

Support de cours, bibliographie

<https://wdi.centralesupelec.fr/semantique/>

Moyens

Les moyens mis en œuvre pour ce cours combinent tutoriels pour se familiariser avec une problématique, cours magistraux pour définir les concepts, cours sur machine pour les mettre en œuvre avec l'assistance d'un enseignant et bureaux d'étude pour une pratique plus autonome. Un travail personnel d'approfondissement du contenu des bureaux d'étude est attendu.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- de donner un sens précis et formel à un modèle,
- de choisir l'approche sémantique adaptée au problème à traiter,
- d'établir les bases de la définition de cette sémantique dans un assistant de preuve,
- d'exploiter cette sémantique pour vérifier des propriétés d'un modèle ou d'un programme.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

- capturer les éléments essentiels à la sémantique des modèles
- les représenter de manière adaptée au problème posé
- construire plusieurs modèles à différents niveaux d'abstraction et les relier entre eux

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

- maîtriser la logique en tant qu'outil de modélisation

C5.2 Écouter, se faire comprendre et travailler avec des acteurs de culture, d'expérience et compétences variées

- analyser avec rigueur les différents sens que peut avoir un modèle, définir le modèle logique qui correspond à ce que pensent les utilisateurs.

C7.1 Convaincre sur le fond. Être clair sur les objectifs et les résultats attendus. Être rigoureux sur les hypothèses et la démarche. Structurer ses idées et son argumentation. Mettre en évidence la valeur créée

- mettre ses idées au clair grâce à la logique, éviter les modèles monolithiques, structurer les différents niveaux d'abstraction, expliciter les compromis expressivité/résolution.

3IF2225 – Génie Logiciel

Responsables : **Paolo Ballarini**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour principal objectif de fournir aux étudiants en ingénierie une vue d'ensemble sur les différentes approches, techniques et méthodes utilisées dans la réalisation des logiciels critiques (à fort impact sur l'économie, la vie humaine, ...) et de grande taille (mobilisant des ressources considérables). Il doit permettre à l'apprenant de :

- Comprendre ce que c'est le Génie Logiciel ainsi que ses objectifs,
- Connaître les différentes approches de développement logiciel,
- Percevoir de façon générique le processus unifié et ses caractéristiques,
- Maîtriser les différents enchaînements d'activités du processus unifié,
- Mettre en œuvre le processus unifié dans le cadre d'un projet.

Le cours va se concentrer sur le paradigme de la programmation orientée objet (POO) ainsi que sur l'application des formalismes de modélisation comme les diagrammes de classes et des séquences UML. Un accent particulier est mis sur des aspects tels que la réutilisabilité et l'adaptabilité du code à travers l'application des patrons de conception.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Notions de base du génie logiciel et de la qualité des logiciels.

- modèles de développement logiciel,
- facteurs de qualité (externe vs interne),
- principes et critères de modularité,
- Cycles de conception
 - cycle en V,
 - expression des besoins,
 - spécification, implémentation, vérification, validation
- Paradigme de la programmation orientée objet
 - Les langages de programmation en tant qu'abstractions du code machine.
 - Évolution de l'abstraction. Notion d'objet (état et comportement) et type d'objet.
 - Le calcul comme échange de messages entre objets.
 - Expression des problèmes en termes d'objets.
 - Structure des programmes de POO.
 - La POO comme paradigme naturel pour atteindre la qualité du logiciel.
 - POO en JAVA: classes et éléments de base du langage JAVA.
- Pratiques pour la qualité des logiciels en POO.
 - Réutilisation du code.

- Masquage de l'information. Encapsulation.
- Composition de classes vs. héritage.
- Notions liées à l'héritage : shadowing, overriding/hiding, polymorphisme. Classes abstraites. Interfaces.
- Tests de code et développement piloté par les tests (TDD).
 - Introduction et motivation : en quoi consistent les tests de code et pourquoi ils sont utiles.
 - Écrire des tests unitaires avec Junit.
 - Introduction à la méthodologie de développement piloté par les tests (TDD) : des unités de test qui échouent aux unités de test qui réussissent.
- Diagrammes de classe et diagrammes de séquence UML.
 - Rôle de la modélisation dans le développement de la POO.
 - Diagrammes de classes. Relations. Annotations de relations.
 - Association générique, agrégation, composition.
 - Relations entre classes : généralisation, implémentation.
 - Diagrammes de séquences : modélisation des interactions des processus disposés dans l'ordre chronologique.
- Patrons de conception.
 - Introduction et motivation.
 - Le principe d'ouverture et de fermeture.
 - Familles de patrons : patrons de conception créatifs, comportementaux et structurels.
 - Étude et application de quelques Patron de conception.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux pour présenter les concepts

- Séances pratiques avec réalisations concrètes pour mettre en œuvre les concepts et se les approprier

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera en contrôle continu sur la qualité du travail fourni et des rendus sur un mini-projet avec patrons.

Support de cours, bibliographie

- *"Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software"*. Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, and John Vlissides.
- *"Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development"*. Craig Larman

Moyens

Les moyens mis en œuvre pour ce cours combinent cours magistraux et séances pratiques favorisant l'assimilation des notions présentées.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- de développer des solutions standard de POO à partir d'un ensemble de spécifications/exigences,
- de prendre en compte les aspects de qualité du logiciel lors de la conception d'une solution logicielle,
- de distinguer les choix de conception qui aboutissent à des solutions plus flexibles de ceux qui aboutissent à un code dont l'extension est très coûteuse.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

- Définir la structure d'un système logiciel
- Concevoir un logiciel en tenant compte de son cycle de vie

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

- Connaissance des pratiques standards de modélisation des systèmes logiciels.

C6.4 Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

- Être capable de modéliser une solution logicielle.

3IF2235 – Programmation avancée

Responsables : **Dominique Marcadet**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours, qui vient compléter le cours "Programmation avancée et outils de développement" est double :

- présenter un panorama des langages de programmation utilisés actuellement avec leur principales caractéristiques et domaines d'utilisation,
- comprendre pourquoi de nouveaux langages de programmation sont créés sur un exemple de langage récent,
- présenter et mettre en œuvre quelques idiomes de programmation classiques dans des langages tels que Java, C++ ou Javascript.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

3IF1020 : Programmation avancée et outils de développement

Plan détaillé du cours (contenu)

- Panorama des langages de programmation
- Présentation de l'un des derniers langages de programmation inventés
- Idiomes de programmation

Déroulement, organisation du cours

Ce cours est constitué de cours magistraux pour présenter les concepts, de travaux dirigés permettant une appropriation opérationnelle de ces concepts et de travaux pratiques notés pour valider les compétences acquises.

Organisation de l'évaluation

Le cours est évalué sur le rendu des travaux pratiques.

Support de cours, bibliographie

Supports

- Transparents projetés pendant les cours magistraux
- Énoncés et corrigés des exercices des travaux dirigés, énoncé des travaux pratiques

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- de choisir un langage de programmation en fonction des contraintes et contexte d'un projet,
- de mettre en œuvre des techniques de programmation avancées.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C2.1 : Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique
- C6.2 : Concevoir un logiciel

3IF2240 – Méthodes et outils de conception

Responsables : **Frederic Boulanger**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour but de donner une culture des outils et méthodes de conception utilisés dans l'industrie (méthodes de développement agile, intégration continue, design patterns).

Il poursuit l'introduction faite en SD9 dans le cours *Ateliers de programmation et outils de développement*, et consiste en une série d'intervention et de cas d'études donnés par des industriels tout au long des séquences 10 et 11. Ce cours pourra être mutualisé avec la mention *Architecture des systèmes informatiques*.

Exemples de thèmes abordés :

- Agile at scale
- SCRUM
- Ingénierie des exigences

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Interventions d'industriels sur différentes thématiques, au gré des opportunités et des besoins identifiés.

Déroulement, organisation du cours

Formations interactives, immersion dans les processus métier, pratique sur des cas d'étude.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera soit directement sur la participation et les rendus pendant les interventions, soit sur l'application des méthodes présentées à un autre problème (par exemple, application d'une méthode au projet effectué pendant l'année).

Moyens

Ce cours se compose d'une série d'interventions d'industriels. L'interactivité est privilégiée, ainsi que le travail en équipe sur des cas d'étude.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables de s'insérer plus rapidement dans les processus mis en œuvre dans les entreprises. Ils auront également une meilleure vision des aspects humains et relationnels et de leur impact sur l'utilisation des méthodes et des techniques en entreprise.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C8.1 Travailler en équipe/en collaboration

C3.2 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles

C4.1 Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socio-économiques

3IF2250 – EventB

Responsables : **Idir Ait Sadoune**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours permettra aux étudiants de découvrir les concepts de base de la méthode B à travers les activités de modélisations et de la preuve en utilisant l'Atelier B, l'IDE principal de la méthode B. L'application d'une approche de spécification Top-Down permettra aux étudiants d'utiliser le raffinement, qui est l'une des opérations de base de la méthode B, et de générer automatiquement un code C vérifié et conforme à la spécification initiale. L'animation de modèles B en utilisant l'outil ProB est également abordée.

A la fin de ce cours, les étudiants seront capables d'appliquer un processus de développement de logiciels critiques complet en partant de la spécification jusqu'à la génération automatique du code source.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Cursus commun en informatique

Plan détaillé du cours (contenu)

- C1-C2 (CM-TD) : Le langage B
 - La théorie des ensembles
 - La logique du 1^e ordre et la Logique de Hoare.
 - Les substitutions généralisées et le calcul de la plus faible pré-condition de Dijkstra
- C3-C4 (CM-TD) : Le modèle B
 - La modélisation d'un système en utilisant la méthode B classique
 - Le raffinement d'un système en B
- C5-C6 (CM-TD) : La preuve en B
 - Les obligations de preuve d'un modèle B
 - La preuve interactive avec [l'atelier B](#)
- C7-C8 (CM-TD) : Le modèle checking en B
 - Animation de modèles B avec [ProB](#)
 - Visualisation de modèles B avec [BMotion](#)
- C9-C10 (CM-TD) : L'implémentation d'un modèle B
 - Génération de code par raffinement
- C11-C14 (TP) : TP sur machine

Déroulement, organisation du cours

- Cours magistraux pour présenter les concepts
- TD/TP pour mettre en œuvre les concepts

Organisation de l'évaluation

L'évaluation consiste en un TP noté.

Support de cours, bibliographie

- Jean-Raymond Abrial, The B-Book, Cambridge University Press, 1996
- <https://www.clearsy.com/wp-content/uploads/sites/3/ressources/manrefb1.8.6.uk.pdf> | B LANGUAGE REFERENCE MANUAL

Moyens

Les pratiques utilisés dans ce cours combinent cours magistraux et TD favorisant une pratique concrète sur les outils existants autour de la méthode B.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de :

- modéliser avec la méthode B.
- manipuler les notions de Machine abstraite et de raffinement.
- établir la preuve de consistance d'un modèle B et de son raffinement (avec le prouveur de l'Atelier B).
- animer un modèle B (avec le model-checker Pro-B).
- générer un code vérifié à partir d'un modèle B
- développer des logiciels critiques

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe
- C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.
- C6.4 Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

3IF2260 – SCADE et le synchrone pour les systèmes critiques

Responsables : **Frederic Boulanger**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est une introduction à l'approche synchrone et à son environnement formel.

Il comporte une part importante de pratique avec la réalisation d'un cas d'étude industriel avec la suite SCADE :

- Conception avancée basée sur les modèles
- Simulation et débogage
- Test et vérification
- Génération automatique de code certifié

Ce cours fait appel à des intervenants de la société ANSYS qui développe la suite SCADE.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

14 créneaux d'1h30 (21 HPE) : 2 cours magistraux (3h), 2 cours sur machine (3h), 5 bureaux d'étude consacrés au projet (15h) avec soutenance.

- CMs 1 & 2 : Introduction au paradigme synchrone
 - Contexte de développement de logiciel critique
 - Modèle synchrone : structure et gestion du temps
 - Le langage synchrone Lustre
 - opérateurs
 - causalité
- Cours sur machine (créneaux 3 & 4) : Initiation à l'environnement de programmation synchrone SCADE à travers un cas d'étude concret:
 - Modèle synchrone de Scade, flots et opérateurs
 - Diagrammes de flots, automates...
 - Simulation
 - Vérification en Scade
 - observateurs des propriétés
 - utilisation du moteur de preuve
 - test et couverture
- Cours/projet (créneaux 5 à 14) : Réalisation d'un cas d'étude complet
 - Couvrir toutes les étapes du processus de développement depuis la spécification jusqu'à la génération certifiée du code en passant par la modélisation, simulation, preuve et test...
 - Le projet portera sur une application concrète proposée par le partenaire industriel.
 - Les élèves seront encadrés en présentiel pour la prise en main et l'usage de la suite SCADE.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux théoriques en faible quantité, cours avec pratique très encadrée pour l'initiation, pratique plus autonome pour l'application à un cas industriel.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation portera sur la qualité des rendus et la soutenance du mini-projet.

Support de cours, bibliographie

- <https://www.ansys.com/blog/free-download-ansys-scade-student>
- The Synchronous Languages 12 Years Later. Albert Benveniste, Paul Caspi, Stephen A. Edwards, Nicolas Halbwegs, Paul Le Guernic, and Robert de Simone. Proceedings of the IEEE 91(1):64-83, January 2003.
- Synchronous programming of reactive systems. Nicolas Halbwegs, Kluwer Academic. 1993.

Moyens

Ce cours combine cours magistraux indispensables à la présentation de l'approche et pratique avec SADE suite, d'abord sur un exemple simple, puis sur un cas d'étude plus complet.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- d'évaluer la pertinence de l'approche synchrone pour la conception d'un système
- de mettre en œuvre cette approche dans la suite SCADE
- de spécifier les propriétés attendues du système, et de les vérifier
- de générer le code applicatif à partir des modèles

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

- Identifier les propriétés critiques d'un système, formuler une solution qui permette de les assurer
- Choisir le modèle réactif synchrone lorsqu'il est pertinent
- Capturer les différents aspects du système dans le paradigme synchrone

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

- Spécifier les propriétés attendues du système
- Construire un modèle de ce système
- Vérifier les propriétés sur le modèle et générer le code certifié du système.

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

- Approfondissement des notions de temps, de simultanéité, de parallélisme.

3IF2270 – Systèmes temps-réel

Responsables : **Pascale Le Gall**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours s'intéresse à la modélisation, spécification, validation et vérification des Systèmes Temps-Réels (STR). Il s'agit essentiellement des systèmes réactifs assujettis à des contraintes temps-réelles parfois critiques (systèmes embarqués, protocoles, services web, systèmes cyber-physiques,). Les contraintes temps-réelles sont particulièrement difficiles à énoncer et à garantir lorsque les systèmes sont concurrents ou distribués, car ces systèmes sont fortement non-déterministes, à cause des entrelacements des événements, de l'asynchronisme des communications, et des défauts de qualité de services (pertes de messages, latence du réseau).

Organisation

1. Présentation des Systèmes Temps-Réels : temps-réel dur/mou, contraintes temporelles, modélisation et simulation (e.g. DEVS Discrete Event System Specifications)

2. Automates temporisés à temps continu (Alur et Dill 1991) sont un formalisme de modélisation fondés sur l'utilisation d'horloges, de variables à valeurs réelles positives ou nulles, en charge de modéliser l'écoulement du temps. Ces horloges peuvent être remises à zéro et conditionnées pour le franchissement des transitions. L'outil UPPAAL (<http://www.uppaal.org/>) permet d'analyser les propriétés temporelles via des techniques de model-checking.

3. Systèmes de transitions symboliques à entrées sorties temporisés (TIOSTS) constituent un formalisme de modélisation des systèmes réactifs. Ils mettent en jeu des horloges pour modéliser le temps et des variables d'état pour modéliser les données échangées entre les systèmes. Ces systèmes sont étudiés au travers des techniques d'exécution symbolique, utiles à la fois pour valider la conception par animation de spécifications et vérifier les implémentations par le biais de techniques de test de conformité. L'outil DIVERSITY (<https://projects.eclipse.org/projects/modeling.efm>) est une plate-forme d'exécution symbolique permettant de modéliser et analyser les TIOSTS.

4. Etude de cas (par exemple l'algorithme "trickle" utilisé pour la propagation de la mise à jour des codes dans les réseaux de capteurs) : modélisation et analyse à l'aide des outils UPPAAL et DIVERSITY.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours sera organisé selon le schéma suivant :

- des cours magistraux
- des TP de prise en main des logiciels (UPPAAL, DIVERSITY) sur des exemples pédagogiques
- des séances dédiées à la réalisation d'un projet personnel

Organisation de l'évaluation

Réalisation d'un projet (rapport, implémentation, analyse, soutenance orale)

Support de cours, bibliographie

Diapositives - Articles de recherche

Moyens

Articles de recherche

Support des cours (diapositives)

Logiciels (UPPAAL, DIVERSITY) installés sur les machines personnelles des élèves

3IF2500 – Projet

Responsables : **Frederic Boulanger**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DU LOGICIEL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) :

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet de troisième année permet aux élèves de mettre en œuvre leurs compétences dans le cadre d'un projet industriel ou de recherche avec les contraintes métiers correspondants. Il leur permet notamment de découvrir les différentes facettes des métiers qu'ils pourront exercer. Il s'agit ici des projets de la dominante « Informatique et Numérique » comprenant les mentions « Architecture des Systèmes Informatiques », « Cybersécurité », « Intelligence Artificielle » et « Science du Logiciel ».

Les objectifs du projet sont :

- Le développement d'un « produit » répondant aux besoins d'un client (entreprise, laboratoire, association, élèves).
- La mise en application d'une méthodologie rigoureuse permettant de passer de l'idée au « produit ».
- La poursuite de l'apprentissage de la gestion de projets.
- La démonstration de la capacité de présentation à l'écrit et à l'oral dans un contexte professionnel.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9 SG10 SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Selon le projet. Les projets pourront être soit des projets de Dominante et donc couvrir des thématiques développées dans au moins deux des mentions de la dominante soit être des projets de mention et donc adresser des thématiques propres à une des mentions de la dominante.

Déroulement, organisation du cours

Travail en mode projet.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera par un point à mi-projet, et principalement par le rapport final, la soutenance finale, et l'avis du responsable et client du projet. Un jury, mobilisé pour les soutenances finales, intégrera ces éléments pour évaluer globalement le projet.

Moyens

- Les projets se déroulent en équipes de 2 à 3 étudiants.
- 200 heures à l'emploi du temps sont consacrées aux projets.
- Les modalités d'encadrement sont dépendantes du type de projet :
 - Pour les projets CEI (contrats d'étude industrielle), l'encadrement est partagé entre l'industriel et un enseignant de l'école qui dirige les élèves dans leurs travaux.

- Pour les projets « Laboratoires » proposés par un enseignant, l'encadrement est entièrement assuré par l'enseignant.
- Pour tous les autres types de projets (associations, partenaires, CPI), l'encadrement est principalement fait par la personne qui propose le projet (client), un enseignant de l'école s'assurant du bon déroulement du projet et des jalons intermédiaires.
- Un point à mi-projet sera organisé en décembre afin de s'assurer que le projet se déroule correctement.
- Une soutenance devant un jury a lieu à la fin du projet.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue du projet, les élèves auront appris :

- à travailler en équipe en dehors du contexte académique
- à prendre en compte les contraintes métier dans la réalisation d'un projet
- à gérer l'incertitude dans la définition des résultats attendus
- à présenter leur projet et leurs résultats dans un contexte professionnel

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Travailler en équipe en dehors du contexte académique s'inscrit dans C8 : « Mener un projet, une équipe » et C5.2 « Écouter, se faire comprendre et travailler avec des acteurs de culture, d'expérience et compétences variées ».

Présenter son projet et ses résultats dans un contexte professionnel s'inscrit dans la compétence C7 : « Savoir convaincre ».

Prendre en compte les contraintes métiers dans la réalisation d'un projet s'inscrit dans C1 : « Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques », C2.3 : « Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres », et C4 : « Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et son client ».

Gérer l'incertitude dans la définition des résultats attendus s'inscrivent dans C3.4 : « Prendre des décisions dans un environnement partiellement connu, gérer l'imprévu, savoir prendre des risques » et C3.7 : « Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles ».

Les compétences C9 : « Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique » et C6 : « Être à l'aise et innovant dans le monde numérique » pourront aussi être mobilisées.

3IF3020 – Apprentissage profond - Apprentissage de représentations

Responsables : **Wassila Ouerdane, Herve Le Borgne**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de ce cours est de familiariser les étudiants aux principes et méthodes de l'apprentissage profond (deep learning). Domaine en forte (re)croissance depuis dix ans, ces techniques d'intelligence artificielle ont permis d'améliorer significativement l'état de l'art dans plusieurs domaines tels que la reconnaissance de la parole, la vision par ordinateur ou la prise de décision assistée par ordinateur. Ces succès les ont fait connaître au-delà des spécialistes, et leur renommée a crû auprès du grand public, des journalistes, des décideurs politiques et économiques.

Le cours vise à donner une maîtrise théorique et pratique des bases du domaine.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Ce cours nécessite une bonne maîtrise de l'algèbre linéaire et des probabilités et statistiques. Il est aussi nécessaire d'être à l'aise avec un environnement informatique (linux de préférence, éventuellement max OX,...) et un langage de programmation (Python 3.x de préférence) pour les mises en pratique et le projet. Il faut disposer d'une machine pour la pratique. De préférence, cette machine doit être équipée d'un GPU.

Il est possible de travailler sur [Google colab](https://colab.research.google.com/) gratuitement.

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours vise à donner une maîtrise théorique et pratique des bases du domaine.

Concernant les aspects théoriques, il présentera les réseaux de neurones artificiels et les méthodes afférentes (régularisation, optimisation), ainsi que les principales architectures de l'apprentissage profond, les réseaux convolutifs et récurrents. Il abordera aussi certains sujets plus en pointe de l'état de l'art, en particulier les réseaux génératifs et l'apprentissage multi-tâche, notamment dans un contexte texte/image.

Par ailleurs, le cours s'attardera sur la mise en pratique des méthodes et présentera diverses applications dans des domaines variés (vision, langage, parole, décision...).

Enfin, le cours abordera les aspects éthiques liés aux techniques abordées. Il présentera les enjeux liés à la question, donnera des exemples de biais courant dans le domaine de l'apprentissage et pointera des recherches s'intéressant à la question, à la fois pour aujourd'hui et pour l'avenir. Enfin, le cours propose un cadre général de l'éthique, permettant de donner des bases générales aux étudiants et étudiantes pour les problèmes qu'ils seront susceptibles de rencontrer durant leur carrière.

Les aspects pratiques seront abordés en cours ainsi que lors de quatre TDs. Il est aussi demandé de réaliser un projet qui participe à l'évaluation. Les quatre TDs sont mis en œuvre en Python, avec le framework de *deep learning* PyTorch. Partant des bases, ils permettent ensuite la mise en œuvre des principales architectures (MLP, CNN, BiLSTM, GAN) ainsi que le transfert d'apprentissage.

Déroulement, organisation du cours

Le module est composé de 3 séances longues (3h) de cours magistral, puis de sept séances courtes de cours magistral (1h30). Les six premières séances courtes sont suivies de 1h30 de TD, essentiellement consacrés à la pratique de pyTorch sous forme d'exercices corrigés.

Lors des séances pratiques, les étudiants et étudiantes sont divisées en deux ou trois groupes de 20 à 30 personnes, encadrés par l'enseignant ou des doctorants experts en pyTorch. Des temps sont dédiés aux échanges relatifs aux projets, de manière à accompagner et aider à la conception et la réalisation des algorithmes résolvant le problème visé.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est réalisée par un devoir (1h30) comportant des questions de cours et problèmes. De manière optionnelle, il est permis de réaliser un projet en groupe de 1 à 3 personnes, qui pourra majorer la note obtenue au devoir.

Support de cours, bibliographie

Ian Goodfellow and Yoshua Bengio and Aaron Courville. *Deep Learning*. MIT Press, 2016
<https://www.deeplearningbook.org/>

Michael Nielsen. *Neural Networks and Deep Learning*, dec. 2019 <http://neuralnetworksanddeeplearning.com/>

Yann LeCun, Yoshua Bengio & Geoffrey Hinton. *Deep Learning*, Nature, vol 521, pp 436-421, 28 May 2015

Dive into Deep Learning <https://d2l.ai/index.html>

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- enjeux et historique du domaine, bases de l'apprentissage machine et de l'optimisation
- principes généraux des réseaux de neurones et de leur apprentissage. Application aux perceptrons multicouches
- réseaux convolutifs et récurrents ; utilisation pour des tâches de vision et traitement automatique des langues
- modèles basés sur l'attention (*transformers*)
- notions avancées d'optimisation et de régularisation des réseaux de neurones
- modèles génératifs et non supervisés. Contrôle des modèles génératifs, exploration de l'espace latent
- transfert d'apprentissage et apprentissage sur données bruitées
- apprentissage multi-tâche et rapprochement inter-modalités (texte-image)
- prolongement lexicaux classiques, modèles transformers et BERT
- frugalité et apprentissage semi-supervisé
- aspects éthiques de l'apprentissage : enjeux, biais, prises de conscience des acteurs, dilemmes éthiques.
- mise en œuvre en PyTorch de plusieurs modèles : MLP, CNN, (bi)LSTM et transfert d'apprentissage, GAN.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les personnes suivant ce cours connaîtront les principales notions théoriques relatives à l'apprentissage profond. Elles sauront mettre en œuvre les architectures de deep learning les plus connues et résoudre un problème simple avec ces outils, s'inscrivant ainsi dans la compétence C6.4 (« Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle »)

Les personnes ayant déjà des connaissances dans le domaine, ou faisant preuve d'un investissement très important, approfondiront certaines notions théoriques et comprendront mieux le fonctionnement de certaines techniques d'apprentissage profond. Cela s'inscrit dans la compétence C2.1 (« Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur »)

Le cours aborde les questions éthiques liées à l'apprentissage profond et participe ainsi à l'acquisition des compétences C9.1 (« Comprendre et analyser les conséquences possibles de ses choix et de ses actes ») et C9.2 (« Percevoir le champ de responsabilité des structures auxquelles on contribue, en intégrant les dimensions environnementales, sociales et éthiques »)

A travers le projet, tous et toutes auront l'occasion d'une mise en œuvre significative des techniques d'apprentissage profond, sur un problème de leur choix, les motivant tout particulièrement. Celles et ceux qui travailleront en groupe mobiliseront les compétences C8.1 (« Travailler en équipe/en collaboration »). Dans tous les cas, cela renforcera la compétence C2.5 (« Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior) ») et C3.6 (« Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées »)

3IF3030 – Connaissances et raisonnement

Responsables : **Fabrice Popineau**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'économie de la connaissance se traduit très concrètement aujourd'hui par le fait que de nombreuses grandes entreprises travaillant sur l'information (NY Times, Bloomberg, Facebook, Microsoft, Google, etc.) ont investi massivement dans la création de "graphes de connaissances". C'est aussi par ce moyen que Google a pu enrichir les réponses aux requêtes des utilisateurs sur son moteur de recherche et sur son assistant vocal. Ces graphes de connaissances représentent des connaissances symboliques et structurées qui sont exprimées à l'aide de langages formels. Diverses formes de logiques permettent de raisonner sur ces connaissances. L'explication et la justification des décisions et analyses produites par des systèmes d'IA reposent également largement sur la possibilité de manipuler des connaissances de ce type. L'objectif de ce cours est d'introduire les problématiques et les techniques qui s'appliquent à ces types de connaissances.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Cours de Modélisation Logique et Systèmes Formels de SD9

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction (3 HPE)

- Expression des connaissances
- Sémantique - Rapport entre langage naturel et langage formel
- La logique comme langage universel
- Objectifs du module.
- Démonstrations

Représentation des connaissances (6 HPE)

- Logiques de description
- Langage AL et extensions
- Raisonnement ontologique
- Méthode des tableaux
- Complexité vs expressivité
- OWL
- Protégé

Web sémantique (6 HPE)

- Ingénierie de la connaissance
- Graphes de connaissances
- SPARQL
- Ontologies d'ordre supérieur
- Représentation de connaissances spatiales, temporelles, etc.

Raisonnements (6 HPE)

- Langages de règles
- SWRL

- Négation et défauts
- Induction, déduction, abduction
- Programmation logique
- Answer Set Programming

Ouverture (3 HPE)

- Extension de la programmation logique vers la programmation probabiliste
- Approches neuro-symboliques

Déroulement, organisation du cours

Les séances de 3h sont mixtes cours - TDs.

Les concepts sont introduits et immédiatement illustrés par une mise en pratique.

Les étudiants peuvent poursuivre les exercices par un travail personnel.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera selon deux modalités :

Contrôle continu : 30%

Projet : 70%

Le projet consistera en un travail en binôme ou trinôme sur un sujet fourni au début du module.

Support de cours, bibliographie

- Gelfond, M., & Kahl, Y. (2014). Knowledge Representation, Reasoning, and the Design of Intelligent Agents: The Answer-Set Programming Approach. Cambridge: Cambridge University Press.

doi:10.1017/CBO9781139342124

- Ronald Brachman & Hector Levesque (2004). Knowledge Representation and Reasoning

<https://www.elsevier.com/books/knowledge-representation-and-reasoning/brachman/978-1-55860-932-7>

- Kejriwal, M., Knoblock, C. A., & Szekely, P. (2021). Knowledge Graphs: Fundamentals, Techniques, and Applications. MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/books/knowledge-graphs>

- Baader, F., Calvanese, D., McGuinness, D., Nardi, D., & Patel-Schneider, P. (Eds.). (2007). The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications. Cambridge: Cambridge University Press.

doi:10.1017/CBO9780511711787 <https://www.cambridge.org/core/books/description-logic-handbook/F050683766E57EE9BB07BC01BB7A7069>

Moyens

- Équipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Fabrice Popineau - XXX

- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 25 élèves

- Outils logiciels et nombre de licences nécessaires : logiciels libres installables sur les machines des étudiants

- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : Néant

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce module, les élèves seront capables de :

- représenter des connaissances à l'aide de langages formels,
- raisonner à l'aide de procédures formelles sur ces connaissances,
- modéliser des problèmes réels dans ce cadre en utilisant des outils spécifiques.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Compétence C1.2 - Modéliser : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes

- Compétence C1.4 - Concevoir : spécifier, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

- Compétence C2.1 - Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

- Compétence C6.3 - Traiter des données

- Compétence C8.1 - Construire le collectif pour travailler en équipe

3IF3040 – Systèmes de décision et préférence

Responsables : **Vincent Mousseau**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les préférences sont présentes et omniprésentes dans de nombreuses situations impliquant des interactions et des décisions humaines. Les préférences sont exprimées explicitement ou implicitement dans de nombreuses demandes et des décisions pertinentes doivent être prises en fonction de ces préférences. Ce cours vise à introduire des modèles de préférence pour décisions, en particulier dans un contexte multicritère, pour décision dans l'incertain et pour le choix collectif.

Nous présenterons des concepts, des méthodes et des algorithmes pour la modélisation des préférences et la prise de décision.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Principaux concepts pour les décisions multicritères,
décision sous incertitude, théorie de l'utilité, arbres de risque de décision
Procédures de vote, théorie du choix social,
choix social computationnel
Procédures d'agrégation fondées sur un critère de synthèse
Procédures d'agrégation basées sur des relations binaires, méthodes de surclassement
Apprentissage des préférences
Analyse de décision de portefeuille
Aspects comportementaux de la prise de décision
Applications sur la plateforme Decision Deck

Déroulement, organisation du cours

Cours et TD
Implémentations

Organisation de l'évaluation

Projet + examen final

Support de cours, bibliographie

- Salvatore Greco, Jose Figueira, Matthias Ehrgott, "Multiple criteria decision analysis: State of the Art Surveys" Springer, 2005.
- Ralph Steuer. "Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application", John Wiley, New York, 1986.

- Denis Bouyssou, Didier Dubois, Henri Prade and Marc Pirlot "Decision-Making Process, Concepts and Methods", Wiley, 2009.
- Denis Bouyssou, Thierry Marchant, Patrice Perny, Marc Pirlot, Alexis Tsoukiàs, Philippe Vincke. "Evaluation and Decision Models: a critical perspective", Springer-Verlag, 2001.
- Denis Bouyssou, Thierry Marchant, Marc Pirlot, Alexis Tsoukias, Philippe Vincke. "Evaluation and Decision Models with Multiple Criteria: Stepping stones for the analyst", Springer-Verlag, 2006.

Moyens

Support de cours (slides) + feuilles d'exercices (TD) + certains cours en video

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

à l'issue du cours, les étudiants auront assimilé des concepts, modèles et algorithmes leur permettant de mettre en œuvre des solutions d'aide à la décision dans des application et situations concrètes

3IF3050 – Explicabilité des systèmes d'IA

Responsables : **Jean-Philippe Poli**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'Intelligence Artificielle a pour but de résoudre des problèmes automatiquement. En particulier, le Deep Learning a permis d'atteindre des performances dépassant parfois celles des humains dans de nombreux domaines (analyse d'images médicales, traduction, reconnaissance de la parole).

Cependant, dans certains domaines d'application, les utilisateurs veulent comprendre pourquoi un algorithme propose une certaine décision. C'est en particulier vrai pour les domaines centrés sur l'humain, comme la médecine et la sécurité, ou pour ceux qui sont concernés par des lois proposant un droit à l'explication (secteur bancaire).

C'est pour ces raisons que le domaine de l'XAI (eXplainable Artificial Intelligence) a pris une grande importance ces dernières années, même si la problématique se posait déjà depuis plusieurs décennies.

Ce module a pour but de vous faire découvrir les outils issus des recherches récentes ou plus anciennes et qui permettent d'aider à la compréhension des modèles les plus opaques et de vous sensibiliser aux questions de transparence, d'interprétabilité et d'explicabilité.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Apprentissage automatique (mention IA)

- Statistiques et probabilités
- Programmation python

Plan détaillé du cours (contenu)

Interprétabilité / explicabilité locale / globale

- Modèles interprétables
- Interprétabilité post-hoc
- Evaluation
- Recherches en cours

Organisation de l'évaluation

Certains TPs seront évalués.

Support de cours, bibliographie

- Alexey Ignatiev. "Towards Trustable Explainable AI". Proceedings of the Twenty-Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Pages 5154-5158 (2020)

- Miruna A. Clinciu, Helen F. Hastie. "A Survey of Explainable AI Terminology". Proceedings of the 1st Workshop on Interactive Natural Language Technology for Explainable Artificial Intelligence (2019)
- Sessions XAI d'IJCAI
- Journal of Artificial Intelligence: XAI special issue

Moyens

Equipe enseignante : Wassila Ouerdane et Jean-Philippe Poli

- Outils logiciels:
 - python 3.x
 - notebook jupyter ou IDE personnel

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- A la fin de cet enseignement l'élève aura acquis :
- une vue générale du domaine de l'XIA et ses problématiques
- une connaissance et une pratique des derniers algorithmes du domaine
- une ouverture sur les problèmes de recherche

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1: Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2: Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C6: Etre à l'aise et innovant dans le monde numérique

C3: Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C9: Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3IF3060 – Challenges Etudes de cas

Responsables : **Jean-Philippe Poli**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le challenge a pour but de vous faire appliquer vos connaissances en IA sur des données réelles et des applications concrètes. Cela permet de sortir des sentiers bien balisés dont vous avez l'habitude en TP et de vous confronter, avant votre stage, à toutes les difficultés que l'on peut rencontrer. Pour cela, vous serez accompagnés de coaches afin de mener à bien votre mission, dans un temps relativement court.

Prérequis

Connaissances en intelligence artificielle, apprentissage automatique, analyse de données.
Programmation en python 3.x

Plan détaillé du cours (contenu)

Il n'y a pas de contenu pédagogique dans cette UE. Son but est de mobiliser vos connaissances et votre créativité pour résoudre un problème de décision.

Organisation de l'évaluation

Chaque groupe présentera devant un jury son approche.

Moyens

La promotion sera divisée en groupes. Chaque groupe développera son approche.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

C2: Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C6 : Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

C3 : Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C7 : Savoir convaincre

C8 : Mener un projet, une équipe

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Data Ops

ML Ops

3IF3210 – Apprentissage par renforcement

Responsables : **Hédi Hadiji**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'apprentissage par renforcement est un paradigme puissant d'apprentissage artificiel permettant à des systèmes ou agents autonomes d'apprendre à prendre de bonnes décisions. Il s'applique à de très nombreuses tâches comme la robotique et les jeux ou encore les systèmes autonomes. L'objectif de ce cours est de présenter les fondements de l'apprentissage par renforcement ainsi que ses principales approches et défis.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Apprentissage automatique (mention IA).
- Apprentissage profond (mention IA).
- Connaissances de base en algèbre linéaire.
- Connaissances en probabilités et statistiques.
- Programmation python.

Plan détaillé du cours (contenu)

Les sujets ci-dessous seront abordés :

- Aperçu général
- Cours Contrôle optimal :
- Cours Model-based MDP
- Cours Planning
- Cours DeepRL

Déroulement, organisation du cours

Equilibre entre les apports théoriques et leur mise en œuvre pratique en TDs/TPs.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation consistera en un projet avec rapport détaillé.

Support de cours, bibliographie

- Reinforcement Learning: An Introduction, Sutton and Barto, 2nd Edition (<http://incompleteideas.net/book/the-book-2nd.html>)
- Algorithms for Reinforcement Learning. Cs. Szepesvari, 2009 (http://chercheurs.lille.inria.fr/~munos/master-mva/docs/Csaba_book.pdf)

Moyens

- Enseignant : Hédi Hadji et une équipe d'assistants
- Taille des TD /TP: 25

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève aura acquis :

- Une connaissance approfondie des principes fondamentaux de l'apprentissage par renforcement.
- Une connaissance des principaux algorithmes de l'apprentissage par renforcement et leur mise en œuvre.
- Un savoir-faire concernant les principaux environnements disponibles pour l'apprentissage par renforcement.
- Pour un problème donné, un savoir-faire concernant sa formalisation comme un problème de RL ou non.
- Une connaissances des critères d'analyse des algorithmes RL et des techniques d'évaluation des algorithmes en fonction de ces paramètres.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Le contenu théorique des cours, qui décrivent les principes mathématiques sous-jacents aux algorithmes de RL sera systématiquement joint à des séances de travaux pratiques où ces principes seront illustrés. Les principales compétences mobilisées durant ce cours seront

C1.1 'Analyser le comportement global d'un système complexe' Les étudiants examineront en détail le comportement global des agents d'apprentissage par renforcement dans des environnements complexes. Ils analyseront l'évolution du comportement des agents et l'influence de divers paramètres au cours de l'entraînement.

'C1.3 - Estimer les valeurs de paramètres et évaluer la qualité d'approximation' Les étudiants seront amenés à estimer l'impact de divers paramètres des modèles d'apprentissage par renforcement à partir de données. Leurs choix de modélisation seront guidés par leur capacité à évaluer la qualité des approximations réalisées en fonction des performances de l'agent dans des environnements simulés.

C1.4 - 'Prototyper, réaliser et valider des systèmes complexes' : Les étudiants concevront, implémenteront et valideront des agents d'apprentissage par renforcement sur des environnements de simulation, en explorant différentes configurations et en évaluant les performances selon des critères spécifiques.

Les séances de TP hebdomadaires, ainsi que le projet final permettront aux étudiants d'"**Intégrer, consolider les nouvelles compétences acquises au sein d'un corpus de connaissances (C2.2)**", ainsi que de "**Mener un projet global dans un domaine scientifique (C2.1)**".

Les étudiants seront exposés à des cas d'utilisation réels où l'apprentissage par renforcement (par exemple dans l'aiguillage de train, l'agencement de composants électroniques sur un processeur, ou le contrôle d'un réacteur nucléaire) est appliqué dans des contextes professionnels, les préparant ainsi à relever les défis du monde réel. ``**C2.5 - Mener un projet dans un contexte professionnel**"

Le cours repose sur de nombreux exemples numériques et sur des mises en pratiques à chaque séance, durant lesquelles les étudiants implémenteront les méthodes vues en cours sur des environnements classiques de RL (gymnasium). Tous ces exemples amèneront les étudiants à employer des concepts de programmation avancés. Les étudiants pourront ainsi '**C6.1 - Résoudre numériquement un problème**' et '**C6.2 - Concevoir un logiciel**'. Ils seront aussi amenés à s'intéresser à la façon dont les données d'entraînement sont générées, et à leur impact sur l'agent entraîné. '**C6.3 - Traiter des données**'

L'évaluation finale est faite sur un projet complet de RL demandant la conception entière d'un algorithme pour résoudre une tâche complexe (par exemple : une IA pour un jeu de plateau), ainsi que la rédaction d'un rapport décrivant les justifications théoriques de l'approche, ainsi que l'organisation de l'équipe. Ainsi toutes les compétences du bloc C8 seront mobilisées et évaluées, notamment : ``**C8.1 Travailler de façon autonome et interdépendante vers un objectif commun**`, ``**C8.3 - Contribuer au développement des compétences des équipiers**`' et ``**C8.4 - Avoir un regard critique sur le fonctionnement d'un projet**`' .

3IF3220 – IA Responsabilité et droit

Responsables : **Céline Hudelot**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce module est de sensibiliser les étudiants à la notion d'IA responsable à l'image de récentes initiatives comme par exemple celle de l'UNESCO : <https://en.unesco.org/artificial-intelligence>.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Conférences sur différents sujets traitant de l'AI sociale et responsable - Activités autour de projets existants

Déroulement, organisation du cours

Conférences - Débats - Ateliers d'idéation

Organisation de l'évaluation

Etude de cas notée

Support de cours, bibliographie

- Livre Blanc CE : Intelligence artificielle Une approche européenne axée sur l'excellence et la confiance
- Valérie Beaudouin, Isabelle Bloch, David Bounie, Stéphan Cléménçon, Florence d'Alché-Buc, et al.. Flexible and Context-Specific AI Explainability: A Multidisciplinary Approach. 2020

Moyens

Conférences - Ateliers - Etudes de cas

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Savoir considérer un système d'IA dans sa globalité, en prenant en compte son impact sociétal et environnemental

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours permettra de mobiliser les compétences suivantes :

- + C 2.5 : " Développer les savoir-faire et savoir-être d'un des métiers de l'ingénieur"
- + C6 : "Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique"
- + C3 : "Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique"
- + C9 : "Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique"

3IF3240 – Reconnaissance visuelle et données multimédia

Responsables : **Céline Hudelot**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La vision par ordinateur est de plus en plus omniprésente dans notre société avec de nombreuses applications dans notre vie quotidienne ou dans le secteur industriel (robotique, moteurs de recherche multimédia, applications mobiles, diagnostic médical à bases d'images, voitures autonomes...). L'objectif de ce cours est de présenter les principes fondamentaux et les avancées récentes, ainsi que les applications importantes de la vision par ordinateur. Le cours se focalisera, notamment, sur les tâches de reconnaissance visuelle qui sont souvent au cœur de ces applications. Le cours présentera aussi le cas des données multimédia (vidéos, texte-image...).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Apprentissage automatique (mention IA).
- Apprentissage profond (mention IA).
- Connaissances de base en algèbre linéaire.
- Programmation python.
- Traitement du signal

Plan détaillé du cours (contenu)

Les sujets suivants seront abordés à la fois en cours et dans les séances pratiques :

- Vision humaine / Vision Artificielle.
- Formation de l'image - Géométrie de l'image.
- Introduction au traitement de l'image : filtrage ...
- Extraction et mise en correspondance de caractéristiques.
- Segmentation.
- Reconnaissance.
- Mouvement.
- Calibration - Reconstruction 3D.
- Cas des données multimédias.

Déroulement, organisation du cours

Chaque séance de 3H consistera en 1h30 de cours et 1h30 de mise en pratique directe des concepts vus dans le cours. Cette mise en pratique se fera sous la forme de travaux pratiques de type Laboratoires avec des notebooks python.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation consistera en un contrôle continu à hauteur de 40 % et qui consistera en la remise et la notation de certains des travaux pratiques. Le reste de l'évaluation (60%) consistera en un projet libre par équipe de 2 à 3 étudiants.

Support de cours, bibliographie

- Szeliski, Computer Vision: Algorithms and Applications, Springer, 2010 (en ligne : <http://szeliski.org/Book/>)
- Hartley and Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2004 (<https://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/hzbook/>)
- Forsyth and Ponce, Computer Vision: A Modern Approach, Prentice Hall, 2002 (<https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Forsyth-Computer-Vision-A-Modern-Approach-2nd-Edition/PGM111082.html>)

Moyens

- Equipe enseignante : Céline Hudelot et un ou deux vacataires.
- Taille des TD /TP: 25 (2 groupes)
- Outils logiciels et environnement technique :
 - Langage de programmation : python et la bibliothèque opencv (<https://opencv.org/opencv-4-4-0/>).
 - Environnement de développement : notebook jupyter ou IDE du choix de l'étudiant.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement l'élève aura acquis:

- Une connaissance approfondie des principes fondamentaux du traitement d'images et de la vision par ordinateur.
- Une connaissance des principaux algorithmes mis en œuvre pour les principales applications de la vision par ordinateur et notamment les tâches de haut niveau comme la reconnaissance visuelle.
- Un savoir-faire concernant le choix et la mise en œuvre les méthodes adaptées à la conception d'un système de vision dans un contexte spécifique.
- Un savoir-faire concernant l'évaluation de la performance d'un système de vision.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Une connaissance approfondie des principes fondamentaux du traitement d'images et de la vision par ordinateur et une connaissance des principaux algorithmes mis en œuvre pour les principales applications de la vision par ordinateur et notamment les tâches de haut niveau comme la reconnaissance visuelle s'inscrivent dans **C2.1**

"Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur".

Un savoir-faire concernant le choix et la mise en œuvre les méthodes adaptées à la conception d'un système de vision dans un contexte spécifique s'inscrit dans **C1.4 "Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe", C3.5 "Proposer des solutions/outils nouveaux soit en rupture soit en progrès continu".**

Un savoir-faire concernant l'évaluation de la performance d'un système de vision s'inscrit dans **C3.6 "Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées et C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles."**

Les compétences **C6.4 "Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle" et C6.5 "Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives"** seront aussi mobilisées.

3IF3250 – Planification automatique

Responsables : **Anaëlle Wilczynski**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La planification en IA s'intéresse à la génération de séquences d'actions qui doivent être réalisées afin d'atteindre un certain but prédéterminé. Les actions sont représentées par des opérateurs de transformation d'états, généralement exprimés à l'aide d'outils de la logique propositionnelle. De nombreux problèmes en industrie ou en robotique peuvent se formuler comme des problèmes de planification, et différentes techniques de l'IA et algorithmes sont utilisés afin de les résoudre. En planification classique, l'agent a connaissance parfaite des états et des effets des actions qui sont déterministes. Le relâchement de ces hypothèses ouvre le champ à de nombreuses extensions et méthodes de résolution reposant sur des outils divers de l'IA allant de la recherche heuristique aux processus Markoviens.

Dans ce cours, on introduira la formulation d'un problème de planification et les différentes techniques de résolution et algorithmes, en se basant sur la présentation de planificateurs de l'état de l'art et d'exemples classiques de problèmes de planification. L'accent sera mis sur la dimension pratique, avec un projet à réaliser lors des TPs.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Connaissances de base en logique propositionnelle et programmation

Plan détaillé du cours (contenu)

Problème de planification et langage PDDL ; planification classique, heuristiques et planificateurs ; planification conformante et contingente ; planification probabiliste.

Déroulement, organisation du cours

Cours, TDs et TPs

Organisation de l'évaluation

Projet et test de connaissance

Support de cours, bibliographie

- Hector Geffner and Blai Bonet. A concise introduction to models and methods for automated planning. *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*, 8(1):1–141, 2013
- Malik Ghallab, Dana Nau, and Paolo Traverso. *Automated Planning: theory and practice*. Elsevier, 2004
- Steven M. LaValle. *Planning algorithms*. Cambridge University Press, 2006
- Stuart J. Russell and Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson, 2003
- Régis Sabbadin, Florent Teichteil-Königsbuch, and Vincent Vidal. Planning in Artificial Intelligence. In *A Guided Tour of Artificial Intelligence Research*, pages 285–312. Springer, 2020

Moyens

Matériel sous forme de slides

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Techniques d'IA et algorithmes pour la planification, vision globale des différents problèmes de planification et approches.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Modéliser et formaliser un problème de planification, maîtriser les différentes approches d'IA utilisées en planification, choisir les techniques de résolution adaptées à un problème de planification particulier.

Compétences identifiées :

- C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers
- C6 : Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

3IF3260 – Sciences de l'humain et IA

Responsables : **Nicolas Sabouret**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de montrer comment les Sciences Humaines et Sociales (SHS) peuvent éclairer la conception de systèmes interactifs intelligents et, réciproquement, comment l'IA peut contribuer à l'étude de l'humain. À travers une étude de cas, la conception d'un agent conversationnel expressif, nous présentons une approche théorique et méthodologique pour concevoir le modèle d'IA en s'appuyant sur des théories psychologiques de la cognition et des émotions. Nous montrons ensuite comment construire des expérimentations pour étudier l'effet de ce modèle sur la perception des utilisateurs.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Programmation impérative avancée (C/C++/Java)
- Bases de la représentation des connaissances
- Bases des modèles d'apprentissage statistiques

Les cours suivants dans la dominante informatique et dans la mention IA du cursus CentraleSupélec sont :

- Modélisation logique et systèmes formels (Dominante informatique)
- Connaissances et Raisonnements (Mention IA)
- Apprentissage automatique (Mention IA)
- Ateliers programmation et développement (Dominante informatique)

Plan détaillé du cours (contenu)

- **Cours 1 : Introduction aux IHM.** Qu'est-ce que l'interaction homme-machine ? Qu'est-ce qu'un agent conversationnel ? Comment cela fonctionne-t-il ?
- **Cours 2 : Introduction aux SHS.** Qu'est-ce qu'un protocole expérimental en SHS ? Comment valide-t-on un système d'IA en interaction avec un humain ? Quelle place pour les questions éthiques dans les modèles et dans les protocoles ? Qu'est-ce qu'une situation expérimentale « écologique » ?
- **Cours 3 : Modèles SHS pour l'IA.** Quels modèles d'émotion issus des recherches en psychologie sociale et cognitive peuvent être utilisés en IA ? Comment peut-on les implémenter informatiquement ?
- **Cours 4 : Dimensions affectives et expressions non-verbales.** Comment rendre compte de ces états affectifs dans le comportement d'un agent conversationnel ? Quels sont les modèles physiologiques et informatiques ?
- **Cours 5 : Perception des comportements.** Quels sont les processus cognitifs de haut-niveau (jugements) ou de bas niveau (perception) des comportements de l'agent ? Comment peut-on les mesurer ?
- **Cours 6 : Analyse statistique.** Quelles analyses statistiques peuvent-être utilisées sur les résultats des expérimentations ? Comment interpréter ces résultats au regard des objectifs définis pour le modèle d'IA ?

Déroulement, organisation du cours

Les séances sont organisées sous la forme de cours-TP de 3h où les élèves peuvent mettre en pratique immédiatement les concepts théoriques vus en cours. Les interventions sont assurées par des enseignants-chercheurs en IA et en SHS :

- Brian Ravenet, Nicolas Sabouret (IA) ;
- Céline Clavel, Elise Prigent (SHS).

L'apprentissage se fait autour d'un projet (développement de l'agent conversationnel et évaluation) tout au long des séances.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation portera sur le travail effectué tout au long des séances, dans le cadre du projet qui sert de fil conducteur aux notions théoriques du cours. Le travail se fera en binômes. Les élèves devront préparer un rapport écrit et une présentation orale de leur travail qui répond aux questions suivantes. Quelle méthodologie a été mise en œuvre ? Quels choix techniques ont été faits pour la conception l'agent en termes de modèle affectif et d'expression d'émotion ? Quelle question scientifique portant sur l'interaction entre l'utilisateur et le système d'IA est étudiée dans le protocole ?

Support de cours, bibliographie

- Picard, R. W. (2000). *Affective computing*. MIT press.
- Minsky, M. (2007). *The emotion machine: Commonsense thinking, artificial intelligence, and the future of the human mind*. Simon and Schuster.
- Russel A. Jones. (2000). *Méthodes de recherche en sciences humaines*. De Boeck Supérieur.

Moyens

Les séances sont organisées sous la forme de cours-TP de 3h où les élèves peuvent mettre en pratique immédiatement les concepts théoriques vu en cours. Le cas d'étude est le développement d'un agent conversationnel en utilisant une plateforme existante en C++ ou en Java. Aucun matériel spécifique n'est requis. Tous les logiciels utilisés (Unity, C#, bibliothèques Python, OpenSesame, JASP) sont téléchargeables gratuitement.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables de :

- Concevoir un modèle informatique pour rendre compte de phénomènes cognitifs et de comportements humains ;
- Concevoir et mettre en œuvre un protocole d'évaluation d'un système d'IA en interaction avec un humain, pour étudier l'impact de modèle d'IA sur la perception de l'utilisateur ;
- Mobiliser des travaux théoriques et méthodologiques issus de la psychologie pour concevoir un modèle d'IA.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Cet enseignement contribue au développement des compétences suivantes :

- C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques ; en particulier :
 - C1.1 : Analyser le comportement global d'un système complexe (multi-agents, multi-échelles, etc.), avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc., incluant l'identification des facteurs qui influencent son comportement, et l'analyse des interactions entre composantes
 - C1.4 : Prototyper (par exemple par simulation), réaliser et valider un système ou une partie d'un système complexe
- C2.2 : Mener un projet intégrant pleinement des dimensions multisectorielles, multidisciplinaires, multiculturelles, internationales, etc.
- C5.2 : Travailler avec des acteurs de profils, cultures et compétences variées, et valoriser de cette diversité (par exemple via retour d'expérience ou soutenance en fin de projet)
- C6.3 : Traiter des données (issues d'expérimentation terrain dans ce cas précis)

- C8 : Mener un projet, une équipe ; en particulier :
 - C8.1 : Travailler de façon autonome et interdépendante vers un objectif commun à l'équipe – Contribuer à la cohésion et la motivation des coéquipiers quelles que soient les difficultés rencontrées
 - C8.3 : Contribuer au développement des compétences des équipiers grâce à l'acquisition et l'appropriation de ressources externes
 - C8.4 : Avoir un regard critique sur le fonctionnement d'un projet passé ou en cours et la pertinence du dimensionnement et de l'outillage du projet en regard des méthodes/outils acquis en Jalons 1 et 2. ; Réaliser un retour d'expérience et capitaliser sur la conduite de projet
- C9.5 : Interroger et vérifier les fondements des connaissances scientifiques utilisées et produites ; interroger les finalités du travail scientifique et la manière dont il tient compte de l'intérêt général ; expliciter la manière dont ce travail scientifique engage les relations entre sciences et société (débat, controverses possibles)

3IF3270 – Fouille de Données graphes à grande échelle

Responsables : **Nacera Seghouani**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les données que nous produisons ou consommons sont de plus en plus connectées et complexes, et ce, dans différents domaines comme la biologie, les réseaux sociaux, l'économie, les réseaux de communication et de transport. Le besoin croissant de traiter et d'analyser de telles données a conduit à l'émergence de la communauté recherche science de données graphes (Network Science) visant à définir des algorithmes permettant de caractériser ces structures complexes, comprendre leur topologie, leur évolution et interpréter les phénomènes sous-jacents.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Concepts de base graphes et algorithmes

Plan détaillé du cours (contenu)

Preliminaires : Rappels algèbre linéaire pour le calcul matriciel, Métriques de centralité et de similarité
Random walk, Hits et PageRank

Typologie de graphes : Loi des puissances, Loi aléatoire, Loi uniforme, ... Quelles typologies pour les graphes réelles

Etude des problèmes : détection des communautés, de propagation de label, de maximisation de l'influence, de partitionnement de graphes, prédiction des liens, échantillonnage

Réseaux neuronaux & graphes. Différents types de graphes (réseaux sociaux, graphes de connaissances)

Déroulement, organisation du cours

5 x 3h cours magistral

2 x 3h TD/TP/mini-projet

Organisation de l'évaluation

Mini-projet + Lecture articles scientifique

Moyens

Slides, travaux dirigés, QCMs

Références bibliographiques

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Fondements théoriques et algorithmes pour l'analyse de données graphes
Fondements théoriques des réseaux de neurones graphes

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques : **C1.1** Etudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines
- Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers : **C2.1** Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur
- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique : **C3.6** Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées :
- Être à l'aise et innovant dans le monde numérique : **C6.4** Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

3IF3280 – Systèmes multi agents Architecture et raisonnement

Responsables : **Wassila Ouerdane**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les systèmes multi-agents (SMA) sont très largement utilisés de nos jours, en particulier pour les applications complexes nécessitant une interaction entre plusieurs entités. Plus précisément, ils interviennent dans des applications où il est nécessaire de résoudre des problèmes de manière distribuée (traitement des données) ou pour concevoir des systèmes répartis respectant un certain niveau d'autonomie des entités qui les composent (contrôle des processus). C'est le cas, par exemple, des agents de négociation, des drones, ou des systèmes de distribution de l'énergie dans un "smart grid". Ce cours commencera par introduction à la notion d'agent et de système multi-agents, qui présentera les concepts nécessaires pour comprendre ce qu'est un agent et comment il peut être construit. Ensuite, nous aborderons un problème classique des SMA : la modélisation et la simulation d'un problème par le biais du concept d'agent. L'idée est de donner une base pour comprendre comment la simulation par des SMA peut être utilisée comme un outil pour comprendre les sociétés humaines ou des problèmes et situations complexes. De plus, nous discuterons de la manière dont les agents peuvent communiquer et interagir pour résoudre des problèmes, et plus précisément pour prendre des décisions non centralisées. Pour cela, nous nous appuyerons sur les protocoles de négociation basés sur la théorie de la l'argumentation, un processus de construction et d'évaluation d'arguments (de raisons/évidences positives et négatives) pour résoudre des conflits.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Système d'information et programmation (SIP, SG1), Algorithmique et Complexité (ST2), tous les cours de la SD9 dominante informatique et Numérique

Plan détaillé du cours (contenu)

1- Contenu des séances de cours :

- Introduction aux systèmes multi-agents : notions de base autour des concepts d'agent et de système multi-agents, quelques architectures et domaines d'application.
- Simulation multi-agents : introduction au concept de la simulation et sa mise en œuvre dans les systèmes multi-agents.
- Problème de résolution multi-agents : notions et concepts permettant de mettre en œuvre une décision distribuée entre des entités autonomes. En particulier nous aborderons des :
 - Mécanismes d'interaction (interactions directes et indirectes, protocoles d'interaction, ...)
 - Mécanismes de coordination (quelques outils de coordination : accent sur les systèmes d'argumentation et les systèmes de dialogue basés sur la négociation)

2- Contenu des séances de TPs :

Des travaux pratiques sont prévus pour la mise en pratique des notions et les concepts vus dans chaque partie de cours. Ces TP seront réalisés en Python. Deux sujets de TP seront réalisés :

- Le premier sera consacré à la simulation multi-agents.
- Le deuxième consistera en la mise en œuvre et l'implémentation d'un problème de décision distribuée.

Déroulement, organisation du cours

- Chaque séance sera composée d'une partie cours et d'une partie TP.
- La langue du cours est par défaut le français mais l'anglais peut être utilisé comme langue d'enseignement.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours se fera sur la base des TP réalisés en cours. Un rapport et un dossier contenant le code sont attendus.

Support de cours, bibliographie

- Ferber, J. (1995), *Les Systèmes Multi-Agents*, InterEditions. (French version)
- Ferber, J. (1999), *Multi-agent systems: An introduction to distributed artificial intelligence*, Addison Wesley. (English version)
- Michael Wooldridge (2002), *An Introduction to MultiAgent Systems*, John Wiley & Sons Ltd.
- [The AgentLink roadmap](#)
- Robert E. Shannon (1977), *Simulation modeling and methodology*, SIGSIM Simulation Digital.
- Robert E. Shannon (1998), *Introduction to the art and science of simulation*, IEEE Computer Society Press.
- Bernard P. Zeigler (2000), *Theory of Modeling and Simulation*, Academic Press, Inc.
- Rahwan, Iyad (2009), *Argumentation in Artificial Intelligence*, Springer.
- Lopes, Fernando & Coelho, Helder. (2014). *Negotiation and Argumentation in Multi-Agent Systems: Fundamentals, Theories, Systems and Applications*. Bentham Science Publishers.
- [Argumentation in Multi-Agent Systems \(ArgMAS\) Workshop Series](#)

Moyens

- Equipe enseignante : Wassila Ouerdane, Nicolas Sabouret
- Langages, outils et logiciels :
 - Python.
 - Mesa (<https://mesa.readthedocs.io>).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Comprendre les concepts d'agent artificiel et de systèmes multi-agents.
- Distinguer plusieurs architectures de systèmes multi-agents.
- Comprendre les différentes applications des systèmes multi-agents.
- Implémenter un mécanisme simple de négociation entre agents pour résoudre un problème de décision.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers
- C3.6: Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées.

3IF3300 – Apprentissage profond pour le traitement du langage naturel

Responsables : **Pierre COLOMBO**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est destiné aux étudiants qui s'intéressent aux dernières avancées en recherche en intelligence artificielle et dans les domaines connexes en s'intéressant à leur mise en application dans une démarche de recherche ou d'innovation.

Les étudiants liront, présenteront et discuteront des articles sur un sujet de pointe donné et ils réaliseront un mini-projet ou étude de cas sur ce sujet.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Cours fondamentaux en Intelligence Artificielle.

Plan détaillé du cours (contenu)

Les sujets abordés comprendront par exemple l'apprentissage auto-supervisé ou le meta-apprentissage, l'IA "hybride", l'argumentation explicative, le raisonnement causal et contre-factuel, la révision de connaissances... Il dépendra des différents sujets proposés par l'équipe enseignante.

Déroulement, organisation du cours

- Le cours s'appuiera très fortement sur la lecture d'articles récents concernant le sujet choisi et sélectionnés par l'équipe pédagogique.
- Des groupes de lecture seront mis en place pour la restitution et la discussion autour de ces articles.
- Pour certains sujets, des master-class pourront aussi être mises en place.
- Le cours comprendra une mise en application au travers d'une étude de cas ou d'un mini-projet.

Organisation de l'évaluation

Le cours sera évalué au travers de la réalisation d'un mini-projet portant sur le sujet choisi par le groupe.

Support de cours, bibliographie

Selon le sujet

Moyens

- Equipe enseignante : enseignants/chercheurs en IA de CentraleSupélec ou de l'Université Paris Saclay.
- Le travail se fera par groupe de 2 à 3 étudiants.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève saura :

- étudier et discuter d'un sujet de pointe dans une démarche scientifique rigoureuse ou d'innovation.
- Il aura de plus acquis :
- une connaissance sur plusieurs domaines récents et actuels de l'intelligence artificielle.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours mobilisera les compétences suivantes :

- C2.1 : Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.
- C2.4 Créer de la connaissance, dans une démarche scientifique
- C3.5 Proposer des solutions/outils nouveaux soit en rupture soit en progrès continu
- C8.1 Travailler en équipe/en collaboration.
- C9.4 : Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques

3IF3310 – Théorie des jeux

Responsables : **Christophe Labreuche, Céline Hudelot**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est double. Tout d'abord, nous présentons les grands principes de la décision sous incertitude, et nous nous concentrons sur l'utilisation de modèles graphiques lors de la prise de décision sous incertitude. Dans ce cadre, nous montrons comment les calculs probabilistes peuvent être effectués efficacement, et que l'apprentissage d'un tel modèle graphique (structure et/ou paramètres) peut être basé sur des données. Nous étudions en particulier les réseaux bayésiens dynamiques, qui permettent un raisonnement probabiliste tout en intégrant le temps. Ensuite, nous considérons les principes de la théorie des jeux et montrons comment cette théorie peut modéliser et analyser la décision dans des situations où des interactions incertaines et stratégiques sont impliquées.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction : Concepts et notions clés de la théorie de la décision en situation d'incertitude (préférences, critères de décision, aversion au risque, utilité espérée de Von Neumann Morgenstern).
- Représentation probabiliste de l'incertitude : dans les problèmes de décision du monde réel, représenter les incertitudes à l'aide de probabilités implique souvent d'utiliser des distributions de probabilité de grande taille qui nécessitent des techniques de stockage et de calcul spécifiques. Nous présenterons comment les réseaux bayésiens peuvent accomplir efficacement ces deux tâches. Comment les réseaux bayésiens peuvent-ils être transformés afin de modéliser, de manière simple, un système avec lequel un utilisateur peut interagir. Nous considérons le cas des diagrammes d'influence, qui permettent d'encoder les arbres de décision de manière compacte, et nous examinerons les aspects algorithmiques du calcul sur de tels réseaux.
- Les jeux non coopératifs : Nous nous intéressons ici aux cas où les joueurs ont des objectifs divergents et tentent de maximiser uniquement leur propre bénéfice.
- Jeux coopératifs : Nous nous intéressons ici aux cas où les joueurs ont, en raison de la situation de décision, un intérêt spécifique à coopérer.
- Application à la négociation

Déroulement, organisation du cours

Cours et TDs associés

Organisation de l'évaluation

Examen écrit lors de la dernière séance

Support de cours, bibliographie

- G. Chalkiadakis, E. Elkind, M. Wooldridge. Computational aspects of cooperative game theory, 2012.
- von Neumann, John and Oskar Morgenstern, Theory of Games and Economic Behaviour, Princeton University Press, 1947.
- Gilboa, Itzhak, Theory of decision under Uncertainty, Cambridge University Press, 2009.
- Savage, Leonard J., The Foundations of Statistics, Dover, 1954
- Myerson, Roger B., Game Theory: Analysis of Conflict, Harvard University Press, Cambridge (MA), 1991.

3IF3320 – Hybridation des techniques d'Intelligence artificielle

Responsables : **Wassila Ouerdane, Céline Hudelot**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'IA hybride désigne l'ensemble des approches d'intelligence artificielle qui combine des approches de représentation explicite de la connaissance (quelle que soit sa forme) avec les approches d'apprentissage à partir de données. C'est un domaine qui est de plus en plus étudié notamment car la combinaison de l'apprentissage et de l'ingénierie des connaissances peut contribuer à relever les futurs défis sociétaux, environnementaux, commerciaux et fondamentaux de l'IA.

L'objectif de ce cours est de présenter les principales approches, les avancées récentes et les applications notamment en ingénierie de ce domaine.

Prérequis

- Apprentissage automatique (mention IA).
- Apprentissage profond (mention IA).
- Représentation des connaissances et du raisonnement (mention IA)
- Modélisation mathématique (1A et 2A CS)
- Connaissances de base en algèbre linéaire.
- Programmation python.

Plan détaillé du cours (contenu)

Les sujets suivants seront abordés à la fois en cours et dans des séances pratiques permettant leur mise en œuvre.

- Introduction, motivations et taxonomie des différentes approches.
- Connaissances sous la forme d'équations algébriques et différentielles :
- Apprentissage et calcul scientifique
- Apprentissage d'équations différentielles
- Apprentissage physiquement informé
- Apprentissage d'opérateur
- Connaissances sous forme d'expressions logiques, de graphes ou d'ontologies
- Réseaux de neurones logiques
- Distillation de connaissances
- Programmation inductive différentiable
- Hybridation IA - humain

Déroulement, organisation du cours

Chaque séance de 3H consistera en 1h30 de cours et 1h30 de mise en pratique directe des concepts vus dans le cours. Cette mise en pratique se fera sous la forme de travaux pratiques de type Laboratoires avec des notebooks python.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation consistera en un contrôle continu (remise de certains travaux pratiques) et un QCM à la fin du cours.

3IF3500 – Projet InfoNum IA

Responsables : **Céline Hudelot**

Département de rattachement : **MENTION INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet de troisième année permet aux élèves de mettre en œuvre leurs compétences dans le cadre d'un projet industriel ou de recherche avec les contraintes métier correspondantes. Il leur permet notamment de découvrir les différentes facettes des métiers qu'ils pourront exercer. Il s'agit ici des projets de la dominante « Informatique et Numérique » comprenant les mentions « Architecture des Systèmes Informatiques », « Cybersécurité », « Intelligence Artificielle » et « Science du Logiciel ».

Les objectifs du projet sont :

- Le développement d'un « produit » répondant aux besoins d'un client (entreprise, laboratoire, association, élèves).
- La mise en application d'une méthodologie rigoureuse permettant de passer de l'idée au « produit ».
- La poursuite de l'apprentissage de la gestion de projets.
- La démonstration de la capacité de présentation à l'écrit et à l'oral dans un contexte professionnel.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9 SG10 SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Selon le projet. Les projets pourront être soit des projets de Dominante et donc couvrir des thématiques développées dans au moins deux des mentions de la dominante soit être des projets de mention et donc adresser des thématiques propres à une des mentions de la dominante.

Déroulement, organisation du cours

Travail en mode projet

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera par un point à mi-projet, et principalement par le rapport final, la soutenance finale, et l'avis du responsable et client du projet. Un jury, mobilisé pour les soutenances finales, intégrera ces éléments pour évaluer globalement le projet.

Moyens

- Les projets se déroulent en équipes de 2 à 3 étudiants.
- 200 heures à l'emploi du temps sont consacrées aux projets.
- Les modalités d'encadrement sont dépendantes du type de projet :

- Pour les projets CEI (contrats d'étude industrielle), l'encadrement est partagé entre l'industriel et un enseignant de l'école qui dirige les élèves dans leurs travaux.
- Pour les projets « Laboratoires » proposés par un enseignant, l'encadrement est entièrement assuré par l'enseignant.
- Pour tous les autres types de projets (associations, partenaires, CPI), l'encadrement est principalement fait par la personne qui propose le projet (client), un enseignant de l'école s'assurant du bon déroulement du projet et des jalons intermédiaires.
- Un point à mi-projet sera organisé en décembre afin de s'assurer que le projet se déroule correctement.
- Une soutenance devant un jury a lieu à la fin du projet.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue du projet, les élèves auront appris :

- à travailler en équipe en dehors du contexte académique
- à prendre en compte les contraintes métier dans la réalisation d'un projet
- à gérer l'incertitude dans la définition des résultats attendus
- à présenter leur projet et leurs résultats dans un contexte professionnel

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Travailler en équipe en dehors du contexte académique s'inscrit dans **C8 : « Mener un projet, une équipe »** et **C5.2 « Écouter, se faire comprendre et travailler avec des acteurs de culture, d'expérience et compétences variées »**.

Présenter son projet et ses résultats dans un contexte professionnel s'inscrit dans la compétence **C7 : « Savoir convaincre »**.

Prendre en compte les contraintes métiers dans la réalisation d'un projet s'inscrit dans **C1 : « Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques »**, **C2.3 : « Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres »**, et **C4 : « Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et son client »**.

Gérer l'incertitude dans la définition des résultats attendus s'inscrivent dans **C3.4 : « Prendre des décisions dans un environnement partiellement connu, gérer l'imprévu, savoir prendre des risques »** et **C3.7 : « Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles »**. Les compétences **C9 : « Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique »** et **C6 : « Être à l'aise et innovant dans le monde numérique »** pourront aussi être mobilisées.

3IF4010 – Architectures matérielles

Responsables : **Laurent Cabaret, Stephane Vialle**

Département de rattachement : **MENTION ARCHITECTURE DES SYSTÈMES INFORMATIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La connaissance des architectures matérielles modernes est un prérequis indispensable à la construction de solutions informatiques matérielles et logicielles respectant les contraintes énergétiques et les besoins applicatifs des utilisateurs dans un contexte de massification des données.

Ce cours donnera les connaissances et les outils de conception de programmes pour les architectures modernes telles que les CPU multi-cœurs avec extensions vectorielles et les GPU.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Systèmes d'Information et Programmation
Algorithmique et Complexité

Plan détaillé du cours (contenu)

Architecture des processeurs et principes du parallélisme

- Architectures multi-cœurs/Multi-processeurs
- Architectures des GPU

Déroulement, organisation du cours

Alternance de cours et de travaux pratiques permettant l'assimilation et la mise en œuvre rapide des concepts du calcul parallèle selon les trois paradigmes abordés dans le cours.

Organisation de l'évaluation

Évaluation individuelle directe durant les séances de travaux pratiques

Compte rendus de TP contraints en taille pour évaluer à la fois la compréhension des concepts et les qualités de synthèse

En cas d'absence non justifiée à un TP la note de 0 sera appliquée, en cas d'absence justifiée la moyenne des autres TP sera appliquée

Moyens

Centre de calcul du campus de Metz

- Mésocentre
- Equipe pédagogique :
 - Laurent Cabaret
 - Stéphane Vialle

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les étudiants connaîtront :

- Les principes généraux du parallélisme et du calcul parallèle
- L'architecture des processeurs
- La vectorisation d'un code de calcul sur CPU

A l'issue de ce cours les étudiants sauront :

- Multithreader un code sur CPU
- Paralléliser massivement un algorithme sur une architecture GPU.
- Mesurer la performance d'un code de calcul.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.3 Résoudre : résoudre un problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C6.2 Concevoir un logiciel

C7.1 Sur le fond : Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

3IF4020 – Infrastructures Modernes et Cloud

Responsables : **Thierry Rapatout, Luc Vo Van, Francesca Bugiotti**

Département de rattachement : **MENTION ARCHITECTURE DES SYSTÈMES INFORMATIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours donnera les connaissances et les outils pour concevoir, implémenter et déployer des solutions informatiques tant au niveau infrastructure (réseaux, stockage, machines virtuelles), que logiciel (containerisation, serverless, bases de données) dans des environnements modernes, et Cloud en particulier.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Systèmes d'Information et Programmation
Algorithmique et Complexité

Plan détaillé du cours (contenu)

Réseaux, Serveurs et Datacenters

- Fondamentaux : stockage, calcul et réseau
- Sensibilisation aux notions associées de coûts et d'impact environnemental

Bases de données

- Concept des bases de données
 - Bases de données NoSQL : introduction
 - Modèle Graphe
- Lab : sur l'utilisation de base de données hétérogènes et développement et déploiement d'une application native cloud

Virtualisation / Cloud / Orchestration

- Evolution des environnements purement physiques vers la virtualisation
 - Principes techniques de la virtualisation
 - Virtualisation dans le cloud et principes de déploiement
 - Introduction aux conteneurs
- Lab : Déploiement d'applications sur plusieurs cibles d'hébergement (PaaS applicatif, container, serverless)

Deep Dive Cloud Computing :

- Les modèles de services (IaaS, SaaS, PaaS, ...)
 - Etude de cas (acteur majeur sur une solution cloud-native)
 - Développement natif cloud en serverless
- Lab : Application serverless avec Azure Logic Apps

Plateformes de Données :

- (invité) Rappel sur le DevOps, et introduction à MLOps
- Challenges des plateformes de données modernes
- Principes et architecture d'une plateforme de données
- Considérations de sécurité, de souveraineté, d'éthique et de respect de la vie privée

Architecture des Applications 'Cloud native'

- Introduction aux principes du 'cloud native'
- Design patterns classiques du cloud native
- Approches architecturales : Microservices, API Management, théorème CAP, couches applicatives, hybridation et edge

Lab : Utilisation hybride d'un container (IA déportée sur l'edge)

Kubernetes, DevOps et Infrastructure as Code

- Introduction à Kubernetes
- Introduction à l'infrastructure-as-code et au 'gitops' avec GitHub et Terraform

Lab : Infrastructure-as-Code avec Terraform

Déroulement, organisation du cours

Alternance de cours et de travaux pratiques permettant l'assimilation et la mise en œuvre rapide des concepts.

Organisation de l'évaluation

Examen sous forme de QROC (Questions à réponse ouverte courte)

Moyens

Equipe pédagogique :

- Francesca Bugiotti
- Thierry Rapatout
- Luc Vo Van

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les étudiants auront une connaissance précise :

- Des composants essentiels utilisés dans la conception d'architectures d'informatique d'entreprise modernes et orientées cloud
- Des concepts, méthodes et outils associés
- Des différentes approches relatives aux bases de données classiques, NoSQL graphes et leurs usages

Ils auront la capacité de mettre en œuvre :

- Des services fondamentaux offerts par les services Cloud
- La conception d'architectures applicatives traditionnelles et Cloud
- Des bases de données SQL, NoSQL et graphe

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2 Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C7 Savoir convaincre

3IF4030 – Architectures applicatives

Responsables : **Dominique Marcadet**

Département de rattachement : **MENTION ARCHITECTURE DES SYSTÈMES INFORMATIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **36,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La conception des applications informatiques est en constante évolution avec l'apparition régulière de nouvelles approches qui cohabitent avec de nouveaux cadres modernisant la mise en œuvre d'approches plus matures. Ce cours vous présentera un panorama des différentes architectures applicatives et approfondira les plus pertinentes du moment.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

3IF1020 : Ateliers programmation et développement

Plan détaillé du cours (contenu)

- Typologie des architectures
- Intégration applicative
- Technologies Java (JakartaEE, Spring) - Approche par services
- Technologies JavaScript (NodeJS) - Micro-services
- Technologies .Net - Architectures pour le Cloud, serverless, Management d'API
- Architectures à base de messages (Kafka)

Déroulement, organisation du cours

Ce cours est constitué de cours magistraux pour présenter les concepts et de travaux pratiques permettant une appropriation opérationnelle de ces concepts

Organisation de l'évaluation

Résultats des travaux pratiques : 100%

Support de cours, bibliographie

- Supports
 - Transparents projetés pendant les cours magistraux
 - Énoncés des exercices à réaliser lors des travaux pratiques et en travail personnel

Moyens

Équipe pédagogique :

- Dominique Marcadet
- Idir Ait Sadoune
- Benoît Valiron
- Luc Vo Van

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce module, les élèves :

- connaîtront les différentes architectures applicatives existantes
- comprendront les avantages et inconvénients de ces architectures
- seront capables de concevoir une architecture répondant à un cahier des charges
- connaîtront les principales technologies disponibles pour mettre en œuvre une architecture applicative

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1 : Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

- Connaissance des architectures applications

C6.2 : Concevoir un logiciel

- Gain en compétences

3IF4040 – Economie et pilotage de l'IT

Responsables : **Thierry Rapatout, Joachim Treyer, Pierre-Frédéric Rouberties, Laurent Cabaret**

Département de rattachement : **MENTION ARCHITECTURE DES SYSTÈMES INFORMATIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **36,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours immerge les élèves dans le monde de l'IT en abordant à la fois :

- Les enjeux économiques des systèmes d'information des entreprises traités sous les angles techniques et financiers : définition, typologie, processus de construction et d'opération.
- La transposition de pilotage économique à un pilotage de l'empreinte carbone de l'IT
- L'architecture technologique des entreprises à l'heure de la transformation numérique : stratégie IT, usages et architectures Big Data en entreprise, modélisation des processus, urbanisation, écosystèmes numériques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Systèmes d'Information et Programmation

Plan détaillé du cours (contenu)

- Qu'est-ce qu'un SI ?
- « every company is a software company », le modèle économique du Cloud (OPEX vs CAPEX)
- Optimisation de la performance technico économique des SI
- Cout et Valeur - Pilotage économique
- Architecture d'entreprise Agile - Trajectoire d'un système d'information - Urbanisation du SI avec les méthodes d'aujourd'hui
- Transformation digitale

Déroulement, organisation du cours

Apports théoriques et études de cas

Organisation de l'évaluation

Examen sous forme de QROC (Questions à réponse ouverte courte)

Moyens

Equipe pédagogique :

- Ygal Levy
- Thierry Rapatout
- Pierre-Frédéric Rouberties
- Joachim Treyer

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les étudiants connaîtront :

- Le modèle économique du Cloud
- Le modèle économique de la DSI
- Les principes d'architectures d'entreprises
- Les éléments permettant le pilotage économique et écologique de l'IT

A l'issue de ce cours les étudiants sauront :

- Faire des choix d'architecture d'entreprise
- Analyser la structure d'un budget IT
- Identifier les leviers de performance économique
- Faire des choix d'infrastructure d'un point de vue technico économique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2 Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C4 Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

3IF4210 – Etude de cas : technique

Responsables : **Laurent Cabaret**

Département de rattachement : **MENTION ARCHITECTURE DES SYSTÈMES INFORMATIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **15**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **9,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

En plus des apports scientifiques, techniques et méthodologiques des différents modules, les études de cas mettront les étudiants en face de situations concrètes issues de problématiques d'entreprise. Cela permettra de développer des savoir-faire tout en mettant en lien et en action les différents savoirs.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

En plus des apports scientifiques, techniques et méthodologiques des différents modules, les études de cas mettront les étudiants en face de situations concrètes issues de problématiques d'entreprise. Cela permettra de développer des savoir-faire tout en mettant en lien et en action les différents savoirs.

Déroulement, organisation du cours

Cas d'étude

Organisation de l'évaluation

Évaluation par la soutenance et le niveau de participation

Moyens

Équipe pédagogique :
Équipe de l'entreprise partenaire

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves sauront mobiliser leur connaissances et compétences en vue de répondre à un cas concret.
Ils sauront formaliser de manière synthétique leur proposition.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1 Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

C4.2 : Proposer une ou des solutions répondant à la question reformulée en termes de création de valeur et compléter par l'impact sur les autres parties prenantes et par la prise en compte des autres dimensions.

Quantifier la valeur créée par ces solutions. Arbitrer entre des solutions possibles

C6.2 : Concevoir un logiciel

3IF4220 – Etude de cas : business

Responsables : **Laurent Cabaret**

Département de rattachement : **MENTION ARCHITECTURE DES SYSTÈMES INFORMATIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

En plus des apports scientifiques, techniques et méthodologiques des différents modules, les études de cas mettront les étudiants en face de situations concrètes issues de problématiques d'entreprise. Cela permettra de développer des savoir-faire tout en mettant en lien et en action les différents savoirs.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

En plus des apports scientifiques, techniques et méthodologiques des différents modules, les études de cas mettront les étudiants en face de situations concrètes issues de problématiques d'entreprise. Cela permettra de développer des savoir-faire tout en mettant en lien et en action les différents savoirs.

Déroulement, organisation du cours

Cas d'étude

Organisation de l'évaluation

Évaluation par la soutenance et le niveau de participation

Moyens

Équipe pédagogique :
Équipe de l'entreprise partenaire

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves sauront mobiliser leur connaissances et compétences en vue de répondre à un cas concret.
Ils sauront formaliser de manière synthétique leur proposition.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C4.2 : Proposer une ou des solutions répondant à la question reformulée en termes de création de valeur et compléter par l'impact sur les autres parties prenantes et par la prise en compte des autres dimensions. Quantifier la valeur créée par ces solutions. Arbitrer entre des solutions possibles.

3IF4230 – Base de données pour les données massives

Responsables : **Francesca Bugiotti**

Département de rattachement : **MENTION ARCHITECTURE DES SYSTÈMES INFORMATIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'électif approfondi les bases de données et les notions associées à l'exécution des opérations :

- 1) comment les bases des données relationnelles et les systèmes noSQL stockent les données physiquement
- 2) comment les requêtes sont traduites dans les opérations de plus bas niveau qui agissent sur les données stockées physiquement dans le pattern spécifique des bases des données sous analyse
- 3) comment écrire et re-écrire les requêtes en prenant en considération cette organisation physique peut améliorer les performances.

Du point de vue des technologies :

En partant des bases de données relationnelles on ira voir comment une requête SQL est traduite dans un arbre d'exécution d'Operations élémentaires et comment la taille des tables et la façon d'écrire ces requêtes va produire des arbres différents (et donc comment on peut améliorer les performances de certaines requêtes seulement en les écrivant de façon plus consciente en pensant à la taille des tables qui sont utilisés).

Spark et son arbre d'exécution des opération seront analysés en détail.

Arrow qui est à la base de Spark et de plusieurs autres utiles dans le cloud, sera présenté.

Enfin les bases de données graphes seront présentés ensemble à l'exécution des requêtes en ce contexte.

L'acquisition de ces connaissances pourra permettre d'utiliser des données massives dans le cadre du BigData avec une vision consciente de la manipulation et du stockage des données.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Chapitre 1. Introduction

- Contexte.
- Bases de données relationnelles et systèmes NoSQL.
- Concepts de distributions de données.

Chapitre 2. RDBMS

- Model physique des bases de données relationnelles.
- Stockage de données.
- Plan d'exécution une requête SQL.
- L'optimisation des requêtes.
- Jointure: une opération plusieurs algorithmes.

Chapitre 3. Systèmes NoSQL

- Analyse des nouveaux modèles physiques.
- Architecture et requêtes.
- Data exploration

Chapitre 4. Apache Spark.

- Introduction aux stockage des données.
- Plan d'exécution des opérations dans Spark.

Chapitre 5. Apache Arrow.

- SIMD (Single instruction, multiple data) opérations.
- Format de mémoire.
- Optimisation vectorielle du processus d'analyse de données.

Déroulement, organisation du cours

Introduction. Cours magistral : 1,5h
 RDBMS. Cours magistral : 6h, TD: 3h
 Systèmes NoSQL. Cours magistral : 3h
 Apache Spark. Cours magistral : 3h, TD: 3h
 Apache Arrow. Cours magistral : 1,5h, TD: 1,5h
 Cours 7,5h TD, 15h cours magistral,

Organisation de l'évaluation

Control continu

Moyens

Equipe enseignante : Francesca Bugiotti

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, l'élève sera capable de :

- Maîtriser les structures physiques utilisées dans bases des données classiques (RDBMS - Oracle, DB2, SQLServer, etc.) et dans les systèmes NoSQL (HBASE, MongoDB, etc.).
- Comprendre comment une requête est traduite et exécutée sur les structures physiques des DBMS.
- Abstraire les traitement des requêtes sur des plateformes distribuées (Spark + Arrow).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2 Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers.

C6 Etre à l'aise et innovant dans le monde numérique.

- C6.5 Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.

C8 Mener un projet, une équipe.

- C8.1 Travailler en équipe/en collaboration.

3IF4240 – Architecture logicielle front End pour le web

Responsables : **Alexandre Blondin**

Département de rattachement : **MENTION ARCHITECTURE DES SYSTÈMES INFORMATIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet électif a plusieurs objectifs :

- Architecture : Connaître le fonctionnement des différentes architectures webs, leurs avantages, inconvénients et leurs cas d'usage
- Performance : Savoir monitorer et résoudre les différents problèmes de performance web
- Sécurité : Connaître les principales failles et comment s'en prémunir
- Qualité : Connaître et mettre en pratique les outils d'analyse, statique et dynamique, qui garantissent la qualité du code

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours 1 : Architectures webs

- Présentation chronologique des différentes architectures web (SSG, SSR, SPAs, hybrides), avec leurs avantages comparatifs
- Implémentation minimale de chaque architecture

Cours 2 : Performance

- Décomposition d'une analyse de performance (TTFB, TT1)
- Revue de solutions pour tacler chacun des problèmes de performance
- Application de la méthode d'analyse à des sites réels, avec revue des solutions potentielles à implémenter pour améliorer la performance

Cours 3 : Sécurité

- La sécurité n'est bien sûr pas un sujet uniquement frontend, mais notre point de départ sera le navigateur de client.
- Revue des différentes failles de sécurité: XSS, CORS,...
- Exemples pratiques

Cours 4 : Analyse statique

- Impossible de coder professionnellement sans une analyse statique permanente de son code.
- Cela sera l'occasion de parler typage (TypeScript), linter, AST.
- Implémentation de règles complexes de linter

Cours 5 : Analyse dynamique

- Brève revue de la pyramide des tests.
- Présentation de tests moins utilisés : snapshot testing, visual testing, property-based testing, mutation testing

Déroulement, organisation du cours

Alternance de cours et de mises en situation

Organisation de l'évaluation

Projet

Moyens

Équipe pédagogique : Alexandre Blondin

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Chaque cours commence par de la théorie, mais la majorité du temps sera consacré à la pratique : analyse de sites webs publics, implémentation par les élèves tirée d'exemples réels.

En sortie du cours, les élèves auront une base théorique solide et seront capables de mettre en place sur leurs futurs projets les outils et méthodes abordés.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe
- C2.3 Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres.

3IF4250 – Design par les tests

Responsables : **Antoine Boileau, Laurent Cabaret**

Département de rattachement : **MENTION ARCHITECTURE DES SYSTÈMES INFORMATIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est d'offrir aux élèves une introduction à la notion de Test Driven Development ainsi que d'architecture testable.

Si le TDD et les principes d'architecture seront présentés dans leur cadre général, la fin du cours fera une ouverture sur l'application de ces principes à une application de gestion de type serveur web.

Trois étapes successives permettront de monter en compétence :

- Principes et outils de la méthodologie TDD
- Approfondissement sur du design testable
- Principes d'abstractions, de design et d'architectures pour la conception d'applications robustes.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Indispensable : Expérience précédente en développement

Plan détaillé du cours (contenu)

Principes et outils de la méthodologie TDD

- Typologie de test et ligne directrice du TDD
- Mise en pratique de la méthodologie TDD

Approfondissement sur du design testable

- Gestion des dépendances
- Amélioration du code durant la refactorisation
- Boîte à outils pour tester du code malgré lui

Principes d'abstractions, de design et d'architectures pour la conception d'applications robustes

- Importance du code métier et gestion du changement et des incertitudes
- Application à l'architecture web

Déroulement, organisation du cours

Alternance de cours et de travaux pratiques permettant l'assimilation et la mise en œuvre rapide des concepts.

Organisation de l'évaluation

- QCM
- Soutenance de projet (en équipe)

Moyens

Equipe pédagogique :
Antoine Boileau

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les élèves seront capables de :

- Comprendre et appliquer les principes et outils de la méthodologie TDD
- Mettre en œuvre les principes d'abstractions, de design et d'architectures pour la conception d'applications robustes

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2 Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers
C3 Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

3IF4260 – Calcul à Haute Performance pour l'analyse de données

Responsables : **Stephane Vialle**

Département de rattachement : **MENTION ARCHITECTURE DES SYSTÈMES INFORMATIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours propose d'étudier les environnements de programmation distribuée "Spark" et "MPI", avec suffisamment d'approfondissement pour une mise en œuvre sur des problèmes d'analyse de données, avec des exécutions sur clusters de PC et avec une approche permettant un "passage à l'échelle". Des TP avec mesures et analyses de performances jalonnent le déroulement du cours.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Cours commun de 1A : Systèmes d'Information et Programmation (1CC1000)
- Cours commun de 1A : Algorithmique & Complexité (1CC2000)
- Cours de 3A : Systèmes concurrents et répartis (3IF1040)
- Cours de 3A : Architectures matérielles (3IF4010)

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours comprend 2 parties avec TP et un examen final : CM 12h00, TP 12h00 (total : 24 HPE)

- **Algorithmique et programmation distribuée selon un schéma "map-reduce" en Spark** : CM 6h00, TP 6h
 - Rappel de programmation Spark RDD
 - Concept et programmation SQL en Spark (*Spark-SQL*)
 - Concept et mécanismes de traitements de flux de données en Spark (*Spark Structured Streaming*)
 - TPs de Spark distribué sur cluster de PC (TP1.1 : Spark-SQL, TP1.2 : TP Spark structured streaming)
- **Algorithmique et programmation distribuée par envois de messages en MPI** : CM 6h00, TP 6h
 - Rappels de *déploiement* sur cluster de PC multi-cœurs de code MPI+OpenMP
 - Entrées/Sorties disques depuis un programme MPI
 - Distribution d'un algorithme de clustering par k-means
 - Communications asynchrones, recouvrement calculs-communications
 - TPs de MPI sur clusters de PCs (TP2.1: k-means distribué en mpi4py, TP2.2: produit de matrices avec recouvrement calculs-communications en C+MPI+OpenMP)

Déroulement, organisation du cours

Les concepts vus en cours seront mis en œuvre et approfondis dans 4 TP. Chaque solution développée sera exécutée sur un cluster de PC et ses performances seront mesurées et analysées. Des optimisations des codes et des algorithmes seront effectuées si nécessaire pour obtenir des solutions performantes et aptes au passage à l'échelle.

- Cours : 12h00
- TP sur cluster de PC, avec rapports et évaluations : 12h00

Organisation de l'évaluation

Evaluation à partir des TP des parties MPI et Spark:

- 50% : Comptes rendus des TP de la partie 1
- 50% : Comptes rendus des TP de la partie 2

Rmq : Le contenu et le nombre de pages des comptes rendus sont contraints, afin de forcer les étudiants à un effort de synthèse et de clarté

En cas d'absence non justifié à une séance de TP la note de 0 sera appliquée, en cas d'absence justifiée à une séance de TP la note finale sera calculée à partir des autres séances de TP.

L'examen de rattrapage sera un examen écrit ou oral, qui constituera 100% de la note de rattrapage.

Moyens

Equipe enseignante :

S. Vialle et G. Quercini (CentraleSupélec)

Ressources de calcul :

les TP se dérouleront sur les clusters de PC du Data Center d'Enseignement du campus de Metz, accédées à travers Internet.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants sauront :

- **AA1** : concevoir et implanter un algorithme MPI avec communications par circulation de données et par communications collectives,
- **AA2** : concevoir et implanter un algorithme MPI avec recouvrement des calculs et des communications,
- **AA3** : concevoir et implanter un algorithme Spark traitant un flux de données,
- **AA4** : mesurer les performances et optimiser des codes Spark distribués sur clusters de PC,
- **AA5** : tester l'aptitude d'un code à "passer à l'échelle".

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- **C2**: Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers (en liaison avec les acquis d'apprentissage AA1, AA2 et AA3)
- **C6** : Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique (en liaison avec les acquis d'apprentissage AA4 et AA5).
- **C7** : Savoir convaincre (en liaison avec les comptes-rendus des TP).

3IF4500 – Projet InfoNum ASI

Responsables : **Laurent Cabaret**

Département de rattachement : **MENTION ARCHITECTURE DES SYSTÈMES INFORMATIQUES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet de troisième année permet aux élèves de mettre en œuvre leurs compétences dans le cadre d'un projet industriel ou de recherche avec les contraintes métiers correspondants. Il leur permet notamment de découvrir les différentes facettes des métiers qu'ils pourront exercer. Il s'agit ici des projets de la dominante « Informatique et Numérique » comprenant les mentions « Architecture des Systèmes Informatiques », « Cybersécurité », « Intelligence Artificielle » et « Science du Logiciel ».

Les objectifs du projet sont :

- Le développement d'un « produit » répondant aux besoins d'un client (entreprise, laboratoire, association, élèves).
- La mise en application d'une méthodologie rigoureuse permettant de passer de l'idée au « produit ».
- La poursuite de l'apprentissage de la gestion de projets.
- La démonstration de la capacité de présentation à l'écrit et à l'oral dans un contexte professionnel.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10, SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Selon le projet. Les projets pourront être soit des projets de Dominante et donc couvrir des thématiques développées dans au moins deux des mentions de la dominante soit être des projets de mention et donc adresser des thématiques propres à une des mentions de la dominante.

Déroulement, organisation du cours

Travail en mode projet.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera par un point à mi-projet, et principalement par le rapport final, la soutenance finale, et l'avis du responsable et client du projet. Un jury, mobilisé pour les soutenances finales, intégrera ces éléments pour évaluer globalement le projet.

Moyens

- Les projets se déroulent en équipes de 2 à 3 étudiants.
- 200 heures à l'emploi du temps sont consacrées aux projets.
- Les modalités d'encadrement sont dépendantes du type de projet :

- Pour les projets CEI (contrats d'étude industrielle), l'encadrement est partagé entre l'industriel et un enseignant de l'école qui dirige les élèves dans leurs travaux.
- Pour les projets « Laboratoires » proposés par un enseignant, l'encadrement est entièrement assuré par l'enseignant.
- Pour tous les autres types de projets (associations, partenaires, CPI), l'encadrement est principalement fait par la personne qui propose le projet (client), un enseignant de l'école s'assurant du bon déroulement du projet et des jalons intermédiaires.
- Un point à mi-projet sera organisé en décembre afin de s'assurer que le projet se déroule correctement.
- Une soutenance devant un jury a lieu à la fin du projet.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue du projet, les élèves auront appris :

- à travailler en équipe en dehors du contexte académique
- à prendre en compte les contraintes métier dans la réalisation d'un projet
- à gérer l'incertitude dans la définition des résultats attendus
- à présenter leur projet et leurs résultats dans un contexte professionnel

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Travailler en équipe en dehors du contexte académique s'inscrit dans C8 : « Mener un projet , une équipe » et C5.2 « Écouter, se faire comprendre et travailler avec des acteurs de culture, d'expérience et compétences variées ».

Présenter son projet et ses résultats dans un contexte professionnel s'inscrit dans la compétence C7 : « Savoir convaincre ».

Prendre en compte les contraintes métiers dans la réalisation d'un projet s'inscrit dans C1 : « Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques », C2.3 : « Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres », et C4 : « Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et son client ».

Gérer l'incertitude dans la définition des résultats attendus s'inscrit dans C3.4 : « Prendre des décisions dans un environnement partiellement connu, gérer l'imprévu, savoir prendre des risques » et C3.7 : « Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles ».

Les compétences C9 : « Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique » et C6 : « Être à l'aise et innovant dans le monde numérique » pourront aussi être mobilisées.

3IF5010 – Rétroingénierie, Virologie

Responsables : **Jean-Francois Lalande**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs de ce module sont de présenter les outils nécessaires à la bonne compréhension d'un logiciel malveillant (virus, malware visant les plateformes de type Windows ou Android).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Lorsqu'un analyste de sécurité doit estimer la portée d'un code malveillant auquel il est susceptible d'être exposée, il doit être en mesure de comprendre rapidement le but de l'attaque (la payload) et les moyens d'attaque (les vulnérabilités exploitées). Pour cela, l'analyste ne dispose généralement pas du code source mais du code binaire ou du byte-code. Le module s'organise donc autour de deux activités principales: la rétro-conception du code (desassemblage, décompilation, représentation sous forme intermédiaire) et la conduite d'analyse de code malveillant :localisation de la payload, analyse statique et dynamique. Les participants à ce cours seront amené à analyser eux meme du code malveillant (code réel mais neutralisé auparavant).

Partie virologie x86

- CM 2h assembleur
- TP 1h assembleur
- CM Reverse 3h
- CM Malware 3h
- TP Reverse de Malware x86 6h

Partie virologie Android

- CM 3h Reverse Android
- TP 3h Reverse Android

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et TPs.

Organisation de l'évaluation

- 50% TP Retro-analyse de malware x86
- 50% TP Retro-analyse de malware Android

Moyens

Cours et travaux pratiques sur des codes malveillants réels (mais neutralisés).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Retro-conception de code assembleur x86, retro-conception et analyse de code malveillant Android, maitrise des enjeux et difficultés de l'analyse de la menace.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2 - Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

3IF5020 – Introduction aux attaques en mémoire

Responsables : **Pierre Wilke**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans ce cours, nous nous intéressons à une large classe d'attaques à savoir celles liées à des corruptions de la mémoire.

Ces attaques sont en grande partie dues à des erreurs de programmation lors de la gestion manuelle de la mémoire dans des langages de programmation tels que C et C++.

Elles sont une des principales sources de vulnérabilités exploitées par des attaquants et ce depuis au moins 30 ans.

L'absence de mécanisme de sûreté autour de la gestion de la mémoire laisse le champ libre aux attaquants pour détourner à leur profit l'exécution de programmes vulnérables.

Un très grand nombre de palliatifs à ces problèmes ont été proposés ; pour autant aucun d'entre eux n'a encore permis d'arrêter complètement le flot d'attaque reposant sur cette classe de vulnérabilités.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Pour suivre ce cours avec profit, il faut avoir suivi au préalable un cours d'assembleur (idéalement celui du processeur Intel X86 mais tout autre processeur peut suffire pour suivre, notamment le processeur RiscV étudié en InfoSec1), un cours de langage C et un cours de fonctionnement des systèmes d'exploitation.

Idéalement un cours de compilation permet de mieux comprendre les problèmes de sécurité liés à la manipulation manuelle de la mémoire, ainsi que les contre-mesures possibles au niveau du compilateur.

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours est organisé de la manière suivante :

1. Introduction.
2. Bref rappels des connaissances supposées acquises (C, assembleur, systèmes d'exploitation)
3. Étude d'un code présentant une erreur de programmation grossière (débordement dans la pile) :
 - Étude du code binaire
 - Analyse dynamique au débogueur.
4. Étude d'un code modifiant lui-même son adresse de retour :
 - Étude du code binaire.
 - Analyse dynamique au débogueur.
5. Principe général d'une attaque par débordement de mémoire sur la pile.
6. Conception d'une charge offensive pour une attaque par débordement de mémoire sur la pile.
7. Revue des principales contre-mesures :
 - Protection stricte des différentes zones de mémoire (code, tas, pile, bibliothèques).
 - Randomisation des espaces d'adressage virtuels.
 - Utilisation d'un canari.
 - Placement intelligent des variables dans la pile.
8. Pour aller plus loin (quelques éléments sur des attaques plus élaborées).

Les séances de travaux pratiques sont consacrées à une mise en situation permettant de mettre en pratique ces connaissances sur une attaque visant un serveur accessible par le réseau.

Déroulement, organisation du cours

CM 9 h
TP 15 h

Organisation de l'évaluation

Le module sera évalué par une mise en situation conduisant à analyser l'attaque d'un système d'information via l'exploitation à distance d'un service vulnérable.

Cette mise en situation se déroulera durant des séances de TP.
Le TP fera l'objet d'une restitution orale notée.

CF: Présentation orale en binôme.

L'examen oral permettra de valider les compétences C2 (pour la partie technique, travail réalisé) et C7 (pour la qualité de la présentation).

Support de cours, bibliographie

One, Aleph. "Smashing the Stack for Fun and Profit." *Phrack* 7 , no. 49 (1996)

Moyens

Enseignants: Frédéric Tronel et Pierre Wilke
Logiciels: Virtualbox, chaîne de compilation (gcc et gdb).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Auditer un code source en langage C dans le but de trouver des erreurs de manipulation de la mémoire (dépassement de tampon ou buffer overflow, double libération, utilisation après libération, chaînes de format, ...).
- Déboguer un code binaire à l'aide d'un débogueur (ou dévermineur) afin de traquer des erreurs de manipulation de la mémoire (afficher le code source, le code assembleur, afficher les registres du processeur, faire fonctionner le code en mode pas à pas, savoir poser un point d'arrêt, savoir poser un point d'observation, ...).
- Auditer le fonctionnement d'un code binaire inconnu à l'aide d'outils spécialisé (comme Valgrind par exemple)
- Collecter des indicateurs de compromission sur un système d'information inconnu (trace réseau, exploration des journaux systèmes, audit des fichiers de configuration).
- Analyser une charge offensive à partir de son code binaire.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.5 Développer les savoir-faire et savoir-être d'un des métiers de l'ingénieur
C7.4: Créer une communication à fort impact pour le destinataire et réutilisable ultérieurement.

3IF5030 – Cryptographie 2

Responsables : **Christophe Bidan**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La cryptographie est un ensemble de techniques qui permettent d'assurer des propriétés de sécurité dans un système, à savoir notamment la confidentialité des échanges, l'intégrité des messages échangés et l'authenticité des données. Ces techniques reposent sur des fondements mathématiques, mais sont mis en œuvre avec des algorithmes (primitives de chiffrement et déchiffrement par exemple) et des protocoles cryptographiques (manière de procéder à des échanges de manière sécurisée). Cette seconde partie de cours est dédiée aux protocoles cryptographiques, et aux attaques par canaux auxiliaires.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- Enseignement de première année : Cours SIP, cours Algorithmique, électif réseau et sécurité
- Enseignement de 3A : Crypto 1

Plan détaillé du cours (contenu)

- Cours 1 (3h) - Protocoles cryptographiques : authentification, échanges de clé, canal sécurisé
- Cours 2 (3h) - Exemple de protocoles cryptographiques : Diffie-Hellman, TLS, IPSEC ...
- TP 1 (3h) - Déploiement de TLS
- TP 2 (3h) - Déploiement de IPSEC.
- Cours 3 (3h) - Attaques par canaux auxiliaires.
- TP 3 (3h) - Attaques par analyse de consommation de courant.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux (9h) et travaux pratiques (9h)

Moyens

Enseignants :

- Christophe BIDAN (CentraleSupélec).
- Ronan LASHERMES (Inria)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :

- Analyser des protocoles cryptographiques afin de s'assurer qu'ils assurent les propriétés de sécurité voulues,
- Utiliser les protocoles cryptographiques adéquates pour assurer les propriétés de sécurité voulues,
- Appréhender les risques liés aux attaques par canaux auxiliaires.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1: Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

3IF5050 – Techniques Avancées d'Attaques en mémoire

Responsables : **Pierre Wilke**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans ce cours, nous nous intéressons à une large classe d'attaques à savoir celles liées à des corruptions de la mémoire.

Nous tentons de couvrir l'ensemble des techniques mises au point par les attaquants afin d'exploiter ces vulnérabilités.

Nous faisons aussi le tour de l'ensemble des contre-mesures à l'état de l'art en matière de lutte contre ces vulnérabilités.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Afin de suivre ce cours avec profit, il est obligatoire d'avoir suivi la première partie du cours consacrée aux attaques de base contre la mémoire.

Il est par ailleurs utile d'avoir suivi un cours de compilation afin de comprendre les contre-mesures implémentées au niveau du compilateur.

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours commence par passer en revue les différentes méthodes d'exploitation des vulnérabilités liées aux erreurs de manipulation de la mémoire.

Pour chacune des classes de vulnérabilité, on illustre la faute de programmation à son origine, ainsi que la manière dont l'erreur qu'elle peut provoquer à l'exécution du code fautif se propage jusqu'à permettre à un attaquant d'exploiter la vulnérabilité :

- Erreurs liées aux chaînes de format (*format string error*).
- Erreurs liées aux débordements de capacité des entiers et leur lien avec les erreurs de gestion de la mémoire (*integer overflow*).
- Débordement de tampon dans le tas (*heap overflow*):
 - Étude de la structure du tas sous Linux: algorithmes *dmalloc* et *ptmalloc*; exploitation des erreurs de programmation des allocations dans le tas.
 - Étude de la structure du tas sous Windows; exploitation des erreurs de programmation des allocations dans le tas.
- Contre-mesures les plus répandues dans les systèmes d'exploitation : randomisation des espaces d'adressage et application d'une politique de droits sur les zones mémoire (ASLR et bit NX).
- Contournement des contre-mesures classiques :
 - Retour vers la librairie C (*Ret-to-libc*): introduction du concept et exemple d'exploitation.
 - *Return Oriented Programming* (ROP): introduction du concept et exemple d'exploitation.
- Outils de découverte des gadgets pour le ROP.
- Détournement de l'exécution vers les zones de code compilées à la volée : JIT et *Heap spraying*.
- Confusion de types dans les langages "sécurisés" :
 - table de pointeurs dans les langages orienté objet ou orienté prototype

- principe des confusions de type dans les langages typés (dynamiquement ou statiquement)
- Étude des formats de binaires:
 - Format de fichiers binaire ELF:
 - Entête, rôle des sections et des segments.
 - Traitement des relocalisations (*relocations*).
 - Fonctionnement du chargeur (ld.so). Lien avec la mise en place de la randomisation de l'espace d'adressage et de l'application d'une politique de droits stricts sur les différentes zones de mémoire.
 - Résolution dynamique des symboles par l'éditeur de liens dynamique (ld.so). Lien avec la mise en place de
 - la randomisation de l'espace d'adressage. Fonctionnement des sections .got et .plt.
 - Appels système et VDSO.
 - Détournement du flot d'exécution via la GOT et la PLT.
 - Contre-mesures à la compilation.
 - Format de fichiers binaire PE:
 - Entête et rôle des tables d'import et d'export
 - Fonctionnement du chargeur et l'éditeur de lien dynamique
 - Randomisation de l'espace d'adressage
- Contre-mesures :
 - Protection du flot de contrôle (*Control Flow Integrity*) via le compilateur.
 - Protection du flot de données (*Data Flow Integrity*) via le compilateur.
 - Protection des pointeurs (Cheri par exemple) via le matériel.
 - Intel CET

Déroutement, organisation du cours

CM 9h
TP 15h

Organisation de l'évaluation

Ce module sera évalué via une mise en situation conduisant à analyser l'attaque d'un système d'information via l'exploitation à distance d'un service vulnérable. La charge utile utilisée par l'attaquant sera capable d'outrepasser plusieurs contre-mesures de sécurité mises en place sur le système. Son analyse permettra d'illustrer les différents concepts vus durant le cours. Cette mise en situation se déroulera durant des séances de TP. Le TP débouchera sur une présentation orale.

CF: présentation orale

La présentation orale permettra de valider la compétence C2 (partie technique) et C7 (présentation orale).

Support de cours, bibliographie

- Solar Designer, "Return-into-lib(c) exploits" sur seclists.org, août 1997
- Nergal, "The advanced return-into-lib(c) exploits", Phrack, n°58, 2001
- Sebastian Kraemer, "x86-64 buffer overflow exploits and the borrowed code chunks exploitation technique", septembre 2005
- Jonathan Salwan et Allan Wirth, "ROPgadget, Gadgets finder and auto-roper"
- Laszlo Szekeres, Mathias Payer, Tao Wei, Dawn Song, "SoK: Eternal War in Memory", Proc. of the 2013 IEEE Symposium on Security and Privacy

Moyens

Enseignants: Frédéric Tronel et Pierre Wilke

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Auditer un code source écrit en langage C ou C++ afin d'y trouver des vulnérabilités relevant des différentes classes d'attaques liées à la manipulation manuelle de la mémoire.
- Auditer une charge malveillante évoluée.

- Auditer la configuration d'un système d'exploitation, et de sa chaîne de compilation afin d'en qualifier la robustesse.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.3: Intégrer, consolider les nouvelles compétences acquises au sein d'un corpus de connaissances

C7.1 Maîtriser son sujet pour imposer son argumentation dans une situation de concurrence ou de débat contradictoire.

3IF5060 – Programmation fonctionnelle et Sécurité du logiciel

Responsables : **Pierre Wilke**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La sécurisation d'un système informatique nécessite la sécurisation de chacun de ses composants : le matériel, le système d'exploitation et les applications qui sont exécutées. Ce cours s'intéresse à cette dernière partie : la sécurisation des programmes.

Pour des systèmes critiques, il est souhaitable d'avoir une grande confiance dans nos programmes. Pour ce faire, nous étudierons la notion de sémantique des langages de programmation, ainsi que la logique de Hoare, qui permet de raisonner sur le comportement des programmes. Nous étudierons également les bases de l'analyse statique, qui permet d'obtenir automatiquement des informations correctes sur les programmes, sans pour autant les exécuter. Finalement, nous nous intéresserons à la compilation vérifiée, qui permet de transporter des propriétés vraies sur un programme source sur un programme compilé. Ces notions seront illustrées dans l'assistant de preuve Coq.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Sémantiques des langages de programmation
Propriétés de sécurité et de sûreté
Analyse statique - Interprétation abstraite
Preuve de programmes - Logique de Hoare
Preuves formelles (Coq)

Déroulement, organisation du cours

- CM : 12HPE
- TP : 18HPE

Organisation de l'évaluation

Compte-rendu de TP
La compétence C1 est validée par la validation du rapport.

Support de cours, bibliographie

Software Foundations, Benjamin Pierce et al. <https://softwarefoundations.cis.upenn.edu/lf-current/index.html>
Certified Programming with Dependent Types, Adam Chlipala, <http://adam.chlipala.net/cpdt/>
Patrick Cousot, Radhia Cousot: Abstract Interpretation: A Unified Lattice Model for Static Analysis of Programs by Construction or Approximation of Fixpoints. POPL 1977
C. A. R. Hoare. "An axiomatic basis for computer programming". Communications of the ACM, 1969

Moyens

Enseignant : Pierre Wilke
Effectif maximal : 35
Logiciels : Coq (libres, pas de licences nécessaires)
Salles du niveau 5 du campus de Rennes

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Savoir comprendre et définir la sémantique d'un langage de programmation
Savoir énoncer des propriétés de sécurité et de sûreté d'un programme
Concevoir une analyse statique de programmes
Écrire des preuves formelles

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

3IF5210 – Sécurité des systèmes d'exploitation

Responsables : **Guillaume Hiet**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **36,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les systèmes d'exploitation forment une interface entre le matériel et les applications lancées par l'utilisateur. Des applications de criticités et de niveaux de confiance variés peuvent être exécutées en même temps et il est primordial de fournir des mécanismes de sécurité qui assurent une certaine forme d'isolation entre celles-ci, tout en autorisant des coopérations légitimes entre applications.

Les systèmes d'exploitation comme Linux, MacOS et Windows fournissent divers mécanismes de sécurité que l'on étudiera.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Systèmes d'Information et Programmation (SIP)
Algorithmique et Complexité
Réseaux et Sécurité
Systèmes d'Exploitation

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction, démarche de sécurisation d'un système d'exploitation
Intégrité du système et du démarrage
Chiffrement de partition et systèmes de fichiers
Authentification et gestion des utilisateurs
Contrôle d'accès
Cloisonnement et contrôle d'accès obligatoire
Administration sécurisée

Déroulement, organisation du cours

- Cours magistraux (15 x 1h30)
- Travaux pratiques (3 x 3h)

Organisation de l'évaluation

- Contrôle final oral (soutenance de TP + questions)

Support de cours, bibliographie

- Support de cours (PDF des slides sur Edunao)
- Introducing Windows Server 2012, Mitch Tulloch with the Windows ServerTeam, Microsoft Press.

- Active Directory, Brian Desmond, Joe Richards, Robbie Allen, Alistair G.Lowe-Norris, Fourth Ed., O'Reilly Media Inc.
- Linux Administration - Tome 3 : Sécuriser un serveur Linux, [Jean-François Bouchaudy](#), Eyrolles

Moyens

- Équipe enseignante : Guillaume Hiet, Frédéric Tronel, Jean-François Lalande
- Nombre d'étudiants : 35
- Outils logiciels et licences : VirtualBox, images Microsoft Windows (36 licences)
- Salles de TP : Campus de Rennes, niveau 5 (1x35 ou 2x18)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les étudiants seront capables :

- d'analyser la sécurité d'un système d'exploitation
- de mettre en place différents mécanismes de sécurité (sous Linux et Windows)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2 - Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers
C7 - Savoir convaincre

3IF5220 – Développement et sécurité web

Responsables : **Pierre-François Gimenez**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les applications web sont devenues un paradigme de développement et de programmation majeur, gagnant souvent une place centrale dans les systèmes d'information modernes. Du point de vue de la sécurité informatique, elles constituent également la plus grande source de vulnérabilités et le point d'entrée le plus courant pour un attaquant. Ce module a pour objectif de fournir des compétences de base en développement web, une vision synthétique des principes de fonctionnement et d'architecture des applications web modernes et un aperçu de quelques technologies de développement parmi les plus utilisées. Sur ces fondations, les problématiques de sécurité spécifiques aux applications web sont introduites, d'une façon à la fois théorique et expérimentale, de manière à acquérir les outils et compétences nécessaires à l'évaluation de la sécurité d'une application web. Un projet de développement significatif, dans une technologie au choix, permet aux étudiants de se mesurer au problème de la conception d'une application web sécurisée.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Enseignements de première année : Réseaux et Sécurité.

Enseignements de troisième année :

- Ateliers de programmation et outils de développement ;
- Introduction à la Sécurité ;
- Cryptographie 1.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Cours 1 (3h) : Introduction, architectures modernes pour les applications web
- Cours 2 (3h) : JavaScript
- TP 1 (3h) : Frameworks JavaScript (Angular, Node.js)
- Cours 3 (3h) : React
- Cours 4 (3h) : Un framework de développement Python côté serveur : Flask
- TP 2 (3h) : Flask + React
- Cours 5 (3h) : Sécurité des applications web
- Cours 6 (3h) : Sécurité - vulnérabilités logiques
- Cours 7 (3h) : Sécurité - vulnérabilités côté client
- Cours 8 (3h) : Sécurité - vulnérabilités côté serveur
- Cours 9 (3h) : Sécurité - vulnérabilités chaînées
- TP 3 (3h) : Projet de développement
- TP 4 (3h) : Projet de développement
- TP 5 (3h) : Projet de développement

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux : 27h

Travaux pratiques : 15h

Organisation de l'évaluation

Évaluation d'un projet de développement d'une application web sécurisée.

Moyens

Outils logiciels :

- Environnements courants de développement web ;
- Burp Suite Community Edition ;
- Plate-forme de challenges de sécurité dédiée mise à disposition pour les travaux pratiques.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de :

- Concevoir et développer une application web moderne incluant des traitements côté serveur comme côté client
- Anticiper les risques de sécurité lors de la conception d'une application web ;
- Évaluer la sécurité d'une application web en utilisant les outils et méthodologies appropriés ;
- Mener des activités de tests d'intrusion en environnement web ;
- Conseiller architectes et développeurs web sur l'amélioration de la sécurité de leurs produits.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C4.2 Proposer une ou des solutions répondant à la question reformulée en termes de création de valeur et compléter par l'impact sur les autres parties prenantes et par la prise en compte des autres dimensions. Quantifier la valeur créée par ces solutions. Arbitrer entre des solutions possibles
- C7.1 Sur le fond : Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)
- C8.1 Construire le collectif pour travailler en équipe

3IF5230 – Audit - Pentest

Responsables : **Jean-Francois Lalande**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **70**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **42,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours permet de découvrir les activités d'audit et de pen-testeur. Il s'agit d'un métier spécifique de la cybersécurité qui consiste à évaluer la sécurité d'un système en tentant de réaliser des intrusions sur un système réellement en production. La partie audit est le pendant du pentesting: l'auditeur étudie les mécanismes de défense qu'un système a mis en place en ayant tous les accès nécessaires.

D'un point de vue du module, l'audit et le pentest font appels à l'intégralité des modules de sécurités vus jusqu'ici. Très focalisé sur la pratique, le pentest et l'audit seront réalisés par des industriels du domaine, ce qui permettra de travailler sur des cas d'étude terrain (systèmes à base de Windows, Linux, systèmes embarqués).

Un cours de synthèse introduira les concepts fondamentaux (vocabulaire, démarche).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Introduction à la sécurité

Cryptographie 1 & 2

Sécurité des systèmes d'exploitation

Sécurité réseau (Infosec) ou Système d'exploitation (dominante)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Cours d'introduction (vocabulaire, methods)
- Challenge Airbus: intrusion d'un système industriel
- Challenge Cogiceo: pentest d'un Active directory
- Challenge Wavestone: CTF
- Challenge Enedis

Déroulement, organisation du cours

Challenge

Organisation de l'évaluation

Evaluation des résultats des challenges

Moyens

Capture the flags, simulations.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- réaliser des tests d'intrusion contre des systèmes réels
- mettre en œuvre des cyber attaques
- évaluer des défenses

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 - Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C9 - Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3IF5240 – Développement Sécurisé

Responsables : **Pierre Wilke**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La sécurité des logiciels est souvent absente des considérations au cours du développement des applications. Pourtant, il est possible -- et souhaitable -- de faire des choix de spécification et de conception qui favorisent la sécurité du logiciel produit. Certaines pratiques de programmation permettent d'implémenter des concepts de sécurité comme l'authentification, l'encapsulation, la gestion des exceptions, etc. L'objectif de ce cours est de présenter les différents concepts de sécurité qui sont soit intégrés aux langages, soit à redévelopper dans le langage utilisé.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Compilation
Systèmes d'exploitation
Modélisation et conception d'un système de supervision de capteurs

Plan détaillé du cours (contenu)

- Patrons de conception pour la sécurité
- Patrons de conception pour l'implémentation de la sécurité
- Sécurité applicative en Java
- Implémentation de la sécurité dans Spring
- Analyse statique de code C avec Frama-C

Déroulement, organisation du cours

CM 6h
TP 6h

Organisation de l'évaluation

2 Comptes-rendus de TP (1 TP Spring, 1 TP analyse statique)
La compétence C6 est validée par une note supérieure ou égale à 10 sur l'ensemble des comptes-rendus.

Support de cours, bibliographie

The Cybersecurity Body of Knowledge: The ACM/IEEE/AIS/IFIP Recommendations for a Complete Curriculum in Cybersecurity (Internal Audit and IT Audit) 1st Edition
by Daniel Shoemaker (Author), Anne Kohnke (Author), Ken Sigler (Author)

Moyens

Enseignants : Jean-François Lalande, Pierre Wilke

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Développer des logiciels sécurisés
Choisir le langage approprié pour des besoins de sécurité donnés
Tester un logiciel déjà conçu
Connaître les protocoles de gestion d'identité et d'authentification

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C6.3 : spécifier, concevoir, valider un logiciel

3IF5500 – Projet CyberSec

Responsables : **Jean-Francois Lalande**

Département de rattachement : **MENTION CYBER SÉCURITÉ (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet de sécurité vise à mettre en œuvre tous les acquis, compétences et savoir de la mention. Il répond à une demande d'un partenaire de la mention, un industriel extérieur ou à un problème posé par un chercheur académique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9 SG10 SG11

Prérequis

Tous les modules de la mention.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Choix du sujet
- Déroulement du projet
- Soutenance et rapport

Déroulement, organisation du cours

Pédagogie par projet.

Organisation de l'évaluation

Soutenance et rapport.

Moyens

Projet avec un superviseur.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

C1, C2, C6, C3, C4, C7, C8, C9

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1, C2, C6, C3, C4, C7, C8, C9

DOMINANTE MATHÉMATIQUE et DATA SCIENCES (MDS)

3MD1010 – Machine learning

Responsables : **Arthur Tenenhaus, Emilie Chouzenoux, Frederic Pascal, Pauline Lafitte**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'évolution technologique amène à des acquisitions de données de plus en plus volumineuses (signaux, images, résultats de mesure, etc.) qui nécessitent l'utilisation de techniques permettant d'en extraire la connaissance utile. La classification et l'apprentissage automatique qui cherchent à transformer les données brutes en connaissances plus structurées, fournissent des outils adaptés à ce type de problème.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Niveau normal (ML-B)
Statistique et Apprentissage
Optimisation

Niveau avancé (ML-A)
- algèbre linéaire
- analyse fonctionnelle.
- concepts de base des probabilités
- bases des concepts d'apprentissage (cours électif de 2ème année, stage de césure, etc.)
De plus, les élèves doivent savoir programmer en Python.

Plan détaillé du cours (contenu)

Niveau normal (ML-B)
- Apprentissage supervisé par minimisation du risque empirique pénalisée
1. Régression et classification (Régression Ridge, Modèle Linéaire Généralisé -incluant régression logistique, Support Vector Machines). Extensions aux méthodes à noyaux.
2. Modèle Linéaire Généralisé et Sélection de variables (contraintes de parcimonie)
3. Méthodes d'agrégation (Random forest, Boosting)
- Apprentissage non-supervisé
1. Modèle de mélanges
2. Réduction de dimension (Analyse en Composantes Principales, tSNE)
3. K-means/ Clustering hiérarchique

Les méthodes décrites seront mise en oeuvre dans le cadre de Travaux Pratiques (au travers de langage R ou Python).

Niveau avancé (ML-A)

1. Rappels sur le ML et la théorie bayésienne
2. Approches de régression robustes
3. Algorithmes d'approximation stochastique
4. Regroupement hiérarchique
5. Factorisation de la matrice non négative
6. Modèles de mélanges adaptés

- 7. Sélection de l'ordre des modèles
- 8. Inférence sur les modèles graphiques

Déroulement, organisation du cours

Niveau normal (ML-B)

Cours magistral. Les cours seront ponctués de séances pratiques de mise en œuvre (R ou Python).

Niveau avancé (ML-A)

Chaque créneau est divisé en un cours de 1h30 et un TD de 1h30. Les TD comprendront des exercices et des travaux pratiques en langage Python.

Organisation de l'évaluation

Niveau normal (ML-B)

Devoir Maison + Data Challenge

Niveau avancé (ML-A)

Un examen écrit qui portera sur les questions théoriques liées au cours, et sur l'étude d'un article de recherche et des rapports de TP (un élève devra rendre un rapport individuel pour 3 des séances de TD).

La répartition de la note finale est la suivante : 50% de la note de contrôle écrit, 50% de la note des rapports de TP.

Support de cours, bibliographie

Niveau 1 (ML-B)

[1] T. Hastie, R. Tibshirani, et J. Friedman, "The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction", Springer, 2001.

[2] R. Duda, P. Hart, et D. Stork, "Pattern classification", John Wiley, 2001.

Niveau 2 (ML-A)

James, G., Witten, D., Hastie, T. and Tibshirani, R. (2013) An Introduction to Statistical Learning, with Applications in R. Springer.

Hastie, T., Tibshirani, R. and Friedman, J. (2009) The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Second edition. Springer.

C. M. Bishop (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. Springer.

Moyens

Equipes pédagogiques : Arthur Tenenhaus et Hani Hamdan [niveau normal, ML-B] / Emilie Chouzenoux, Frédéric Pascal [niveau avancé, ML-A]

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Vue d'ensemble des méthodes d'apprentissage automatique et de classification ainsi que des exemples d'application des différentes approches développées.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables de définir, comprendre, choisir une Méthode d'apprentissage automatique et la mettre en œuvre, en adéquation avec le problème posé.

3MD1020 – Optimisation

Responsables : **Vincent Lescarret**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **46**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'optimisation est le domaine étudiant la minimisation ou la maximisation d'un critère à valeurs réelles. Pour l'optimisation continue, le critère est défini sur un ensemble fermé, d'intérieur non vide. Pour l'optimisation discrète, le critère est défini sur un ensemble fini ou dénombrable. L'objectif de ce cours est tout d'abord de présenter le cadre formel des problèmes d'optimisation et d'étudier les questions d'existence et d'unicité, de caractérisation des solutions et de méthodes numériques.

Prérequis

Calcul Différentiel

Plan détaillé du cours (contenu)

- Problèmes d'optimisation, Existence et unicité
- Optimisation sous contraintes, Multiplicateurs de Lagrange
- Lagrangien et dualité, Théorème KKT
- Algorithme d'uzawa
- Optimisation discrète en programmation linéaire, algorithme du simplexe

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral, travaux dirigés et une session pratique (3h) avec le logiciel python.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit (3h) + Note de TP

Support de cours, bibliographie

[1] Optimisation et contrôle, Grégoire ALLAIRE, Alexandre ERN, Ecole Polytechnique, <http://www.cmap.polytechnique.fr/~allaire/map435/poly435.pdf>

Moyens

Equipe pédagogique : V. Lescarret

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Plusieurs méthodes de résolution numérique seront exposées. Pour l'optimisation continue, ces méthodes concerneront la recherche d'optima locaux ou globaux, avec ou sans contraintes. Pour l'optimisation discrète, ces méthodes pourront être exactes ou approchées.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les principales compétences acquises dans ce cours concernent l'obtention de l'existence et l'unicité (ou non unicité) de solutions d'un problème de minimisation, la caractérisation mathématique abstraite d'un minimum contraint et l'utilisation de quelques méthodes numériques standard.

3MD1030 – Intégration Stochastique

Responsables : **Sarah Lemler, Pauline Lafitte, Hana Baili**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement contient une initiation au calcul stochastique utile pour étudier des phénomènes aléatoires dépendant du temps. Ce qu'on appelle communément calcul stochastique est constitué de la théorie des intégrales stochastiques et des règles de calcul qui président à l'usage de ces intégrales.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Cours de probabilités de première année [niveau normal] / cours de probabilités avancées (processus gaussien, espérance conditionnelle, temps d'arrêt, martingale) [niveau avancé]

Plan détaillé du cours (contenu)

Quelques rappels sur les processus.
Filtrations.
Temps d'arrêt.
Espérance conditionnelle.
Martingales.
Mouvement brownien.
Construction de l'intégrale stochastique.
Formule d'Itô.
Théorème de Girsanov.
Equations différentielles stochastiques.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral, travaux dirigés.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit (3h).

Support de cours, bibliographie

P. Protter (2005), "Stochastic Integration and Differential Equations", Springer, 2nd edition.
B. Øksendal (2003), "Stochastic Differential Equations: An Introduction with Applications", Springer, 6th edition.
J.-F. Le Gall, "Mouvement brownien et calcul stochastique", Notes de cours de DEA 1996-1997, Université Pierre et Marie Curie.
J. Jacod, "Mouvement brownien et calcul stochastique", Notes de cours de DEA 2007-2008, Université Pierre et Marie Curie.

Moyens

Equipe pédagogique : Hana Baili [niveau normal] / Sarah Lemler [niveau avancé]

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Théorie des intégrales stochastiques et formule d'Itô

Description des compétences acquises à l'issue du cours

. À l'issue de ce cours les élèves seront capables :

- de comprendre les mécanismes de construction d'une intégrale stochastique ; ils verront en particulier la différence par rapport à l'intégration classique au sens de Lebesgue ;
- de manipuler les semimartingales et en particulier les processus de diffusion via la formule d'Itô.

3MD1040 – Statistique

Responsables : **Sarah Lemler, Pauline Lafitte, Gilles Faÿ**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Stat A : Dans ce cours théorique, nous nous intéresserons à l'estimation en grande dimension (lorsque le nombre de variables explicatives est supérieur au nombre d'observation) à l'aide de méthodes régularisées dans des modèles de régression (linéaire, non-linéaire, linéaire généralisé). Nous étudierons les garanties théoriques de l'estimateur Lasso dans ces différents modèles. Enfin nous présenterons des variants du Lasso adaptés à différents cas d'application.

Stat B : Dans ce cours plus méthodologique que théorique, nous proposons quelques prolongements au cours de 1ère année. Estimation non-paramétrique d'une densité, méthodes de ré-échantillonnage, régression non-paramétrique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Les élèves doivent avoir une bonne connaissance des concepts de base des probabilités et de statistique.

Stat A : les élèves devront avoir vues les notions suivantes :

- modèle de régression linéaire
- estimation paramétrique et non paramétrique (estimateur du maximum de vraisemblance, estimateur des moindres carrés, étude du risque d'un estimateur)

Stat B : les élèves doivent avoir assimilé un cours de d'introduction aux statistiques incluant les notions de modèles statistiques, d'estimateurs, de test, tel que le cours de première année "Statistiques et Apprentissage".

Plan détaillé du cours (contenu)

Stat A :

- Méthodes pénalisées
- Etude théorique de l'estimateur Lasso dans un modèle de régression linéaire
- Etude théorique de l'estimateur Lasso dans un modèle de régression non-linéaire
- Modèle linéaire généralisé et Lasso
- Les variants du Lasso

Stat B :

- Introduction et rappels
- Estimation non paramétrique d'une distribution (Glivenko-Cantelli, histogrammes et estimateurs à noyau, sélection de la largeur de bande, validation croisée)
- Méthode Bootstrap (justification et quelques estimateurs bootstrap)
- Régression linéaire (rappels)
- Régression non paramétrique (estimation par noyau, estimations par projection, validation croisée)

Déroulement, organisation du cours

Des notes de cours, ainsi que les sujets et corrigés des TD, sont disponibles sur les sites web de l'équipe pédagogique (Edunao).

Le cours est organisé en 7 séances de 3h, les séances étant en général composées de 1h30 de cours en amphitheâtre et 1h30 de TD en petits groupes.

Pour Stat B: les TD pourront comporter une partie numérique, qui requiert un ordinateur personnel avec le logiciel R installé.

Organisation de l'évaluation

Les connaissances des élèves acquises pendant ce cours seront évaluées par un examen écrit, incluant problèmes et questions relatives au cours.

Support de cours, bibliographie

Les 4 premières références contiennent les éléments classiques pour un cours de statistique mathématique, incluant des rappels de probabilités. Les références suivantes contiennent des résultats avancés sur la théorie asymptotique, les statistiques multivariées, les statistiques robustes et les approches non-paramétriques.

- Casella, George, and Roger L. Berger. Statistical inference. Vol. 2. Pacific Grove, CA: Duxbury, 2002.
- Lehmann, Erich Leo, and George Casella. Theory of point estimation. Springer Science & Business Media, 2006.
- Lehmann, Erich L., and Joseph P. Romano. Testing statistical hypotheses. Springer Science & Business Media, 2006.
- Gourieroux & Monfort, Statistique et modèles économétriques, vol. 1 et 2, 2e éd., 1996, Economica
- Van der Vaart, Aad W. Asymptotic statistics. Vol. 3. Cambridge university press, 2000.
- Bilodeau, Martin and Brenner, David. Theory of multivariate statistics. Springer Verlag, 1999.
- Anderson, T. W. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis. John Wiley & Sons, New York, 3rd ed., 2003.
- Maronna, A., Martin, D. R. and Yohai, Robust Statistics: Theory and Methods. J. V. Wiley Series in Probability and Statistics, John Wiley & Sons, 2006.
- Wasserman, All of Nonparametric Statistics, 2006, Springer
- Dobson & Barnett, An introduction to General Linear Models, 3rd ed., 2008, Chapman & Hall / CRC.

Moyens

Equipe pédagogique : Sarah Lemler (Stat A) et Gilles Fay (Stat B)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cours, les élèves doivent être capable d'appliquer les méthodes statistiques étudiées en connaissant leurs limites et les garanties théoriques les concernant.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Il est attendu qu'à la fin du cours, les élèves soient capables d'appliquer des méthodes / outils de statistiques avancées dans des applications avec des données réelles, tout en comprenant leurs fondements théoriques, leurs garanties théoriques et leurs limites.

3MD1050 – Analyse Harmonique

Responsables : **Pauline Lafitte, Laurent Moonens**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à présenter quelques techniques importantes d'analyse harmonique, susceptibles d'être utilisées dans plusieurs domaines d'applications (analyse des É.D.P., théorie géométrique de la mesure, *etc.*).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Une bonne connaissance de l'analyse réelle et des bases de l'analyse de Fourier « hilbertienne ».

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours s'articulera comme suit :

Partie théorique :

1. Transformation de Fourier (discrète et continue), noyau de Poisson, extension aux distributions tempérées.
2. Recouvrements et fonctions maximales ; principes de Stein. Applications à la convergence presque partout (des processus, des moyennes, des sommes partielles de Fourier).
3. Décompositions de Calderón-Zygmund ; une application à la convergence presque partout.

Si le temps le permet, on étudiera encore divers aspects de la formule de Stokes (théorème de Gauss-Green, ou de la divergence).

Partie applicative :

Un certain nombre d'applications de l'analyse harmonique seront présentées dans le contexte de l'informatique.

En particulier,

1. Traitement et filtrage du signal.
2. Représentation pour l'apprentissage automatique.
3. Compression des données (JPEG, MP3).
4. Imagerie computationnelle (IRM, télescopes computationnels de la taille de la Terre).

En outre, une session de laboratoire (1h30) suivra, au cours de laquelle sera démontrée la manière dont la transformée de Fourier peut être utilisée pour le traitement du signal (audio, image). Pour le laboratoire, les étudiants devront disposer de leurs ordinateurs portables personnels, python sera utilisé au sein de la plateforme google colab.

Déroulement, organisation du cours

Partie théorique : Cours magistral. En plus des séances de cours, des suggestions d'exercices seront régulièrement formulées.

Partie applicative : Cours + TP.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit (3h).

Support de cours, bibliographie

L.C. Evans et R. Gariepy, *Measure theory and fine properties of functions*, CRC Press.
A. Garsia, *Topics in almost everywhere convergence*, Markham Publishing Company.
P. Mattila, *Geometry of sets and measures in Euclidean spaces*, Cambridge.
M. Willem, *Analyse harmonique réelle*, Hermann.

Moyens

Equipe pédagogique : Laurent Moonens, Laboratoire de Mathématiques d'Orsay (partie théorique), Stergios Christodoulidis, CS (partie applicative)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Techniques avancées de décomposition de fonctions.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Une maîtrise des techniques étudiées afin d'être en mesure de les utiliser dans d'autres parties de l'analyse.

3MD1060 – Infrastructure de traitement parallèle des Big Data

Responsables : **Gianluca Quercini**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif d'introduire les principales technologies pour faire face aux nombreux défis posés par les Big Data.

Big Data est un terme utilisé pour décrire une collection de données qui est énorme en volume et qui pourtant croît de façon exponentielle avec le temps. En bref, ces données sont si volumineuses et complexes qu'aucun des outils traditionnels de gestion des données n'est capable de les stocker ou de les traiter efficacement.

Ce cours présente les technologies existantes qui rendent possible le traitement efficace de grands volumes de données, à savoir *Hadoop MapReduce* et *Apache Spark*.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

- Programmation Python
- Notions en bases de données relationnelles

Plan détaillé du cours (contenu)

Programmation MapReduce

- Introduction à MapReduce: motivations et exemples.
- Mise en œuvre de MapReduce.

Hadoop

- Introduction à Hadoop et ses fonctionnalités.
- Hadoop Distributed File System (HDFS)

Introduction à Apache Spark

- Introduction à Spark et ses fonctionnalités (RDD, transformations, actions, dataframes, datasets).
- Architecture de Spark et modèle d'exécution.
- Mise en œuvre d'Apache Spark.

Composantes d'Apache Spark

- SparkSQL, Spark Streaming, Machine learning and Graph analysis.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit à la fin (3h) et un TP noté

Support de cours, bibliographie

- Transparents fournis par l'enseignant.
- Singh, Chanchal, and Manish Kumar. Mastering Hadoop 3: Big data processing at scale to unlock unique business insights. Packt Publishing Ltd, 2019.
- Mehrotra, Shrey, and Akash Grade. Apache Spark Quick Start Guide: Quickly learn the art of writing efficient big data applications with Apache Spark. Packt Publishing Ltd, 2019.
- Karau, Holden, et al. Learning spark: lightning-fast big data analysis. " O'Reilly Media, Inc.", 2015.

Moyens

Equipe pédagogique : Gianluca Quercini

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre les concepts à la base du Big Data.
- Utiliser des paradigmes de calcul distribué : MapReduce et Spark.
- Concevoir des algorithmes de calcul distribué sur les données.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.

3MD1070 – Séries chronologiques

Responsables : **Pascal Bondon, Pauline Lafitte**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours de séries temporelles est de présenter des modèles paramétriques de séries d'observations et leurs applications à l'analyse et à la prévision de données observées séquentiellement dans le temps. On considère dans le détail le modèle à courte mémoire autorégressif à moyenne mobile (ARMA), le modèle à longue mémoire autorégressif à moyenne mobile fractionnaire (ARFIMA), ainsi que des modèles non linéaires utilisés dans l'analyse des séries financières tels que le modèle autorégressif conditionnellement hétéroscédastique (ARCH) et ses généralisations. Enfin, pour des séries de comptage corrélées dans le temps, on introduit le modèle autorégressif à valeurs entières (INAR). Le cours est illustré d'exemples de modélisation de séries réelles au moyen du logiciel R.

Prérequis

Convergence Intégration Probabilités ; Statistique et apprentissage.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Séries chronologiques stationnaires au second ordre : fonction de covariance et mesure spectrale, processus linéaire, domaines temporels et fréquentiels.
2. Processus ARMA : existence, stationnarité, causalité, invisibilité, série ARIMA saisonnière, série à longue mémoire.
3. Prédiction linéaire : équations de prédiction, méthodes récursives de calcul des prédicteurs, prédiction linéaire à passé infini, formule de Kolmogorov.
4. Estimation de la moyenne et de covariance : stationnarité stricte et ergodicité, théorèmes limites, formule de Bartlett.
5. Estimation d'un modèle ARMA : estimation préliminaire, estimation du maximum de vraisemblance gaussien, estimation des moindres carrés, propriétés asymptotiques des estimateurs, exemples.
6. Modèles conditionnellement hétéroscédastiques : modèles ARCH, GARCH, modèles à volatilité stochastique, modèles à longue mémoire.
7. Modèles de séries de comptage : propriétés, estimation et prédiction des modèles INAR et INGARCH.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et TP.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit (2h) et comptes rendus de TD.

Support de cours, bibliographie

P. J. Brockwell and R. A. Davis. Time Series : Theory and Methods. Springer Verlag, New York, second edition, 1991.

J. D. Cryer and K. S. Chan, Time Series Analysis with Applications in R. Springer Verlag, New York, second edition, 2008.
C. Francq and J.-M. Zakoïan. GARCH models. Structure, Statistical Inference and Financial Applications. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 2nd edition edition, 2019.
W. A. Fuller. Introduction to Statistical Time Series. Wiley, New York, second edition, 1995.
R. H. Shumway and D. S. Stoffer, Time Series Analysis and Its Applications with R Examples, Springer Verlag, New York, second edition, 2005.
R. S. Tsay. Analysis of Financial Time Series. Wiley Series in Probability and Statistics : Probability and Statistics. Wiley-Interscience, New York, 2001.
C. H. Weiss. An introduction to discrete-valued time series. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 2018.

Moyens

Equipe pédagogique : Pascal Bondon, CNRS, L2S (cours)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Modèles paramétriques de séries d'observations et leurs applications à l'analyse et à la prévision de données observées séquentiellement dans le temps.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Maîtrise du choix de méthodes statistiques avancées pertinentes pour les séries temporelles.

3MD1080 – C++

Responsables : **Dominique Marcadet**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

C++ est un langage permettant la programmation sous de multiples paradigmes (procédural, fonctionnel, objet, générique...). Conçu comme une extension de C, il en conserve ses très bonnes performances, ce qui en fait un des langages de programmation les plus utilisés dans les applications où la performance est critique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

1CC1000 : Systèmes d'Information et Programmation

1CC2000 : Algorithmique et Complexité

Plan détaillé du cours (contenu)

- Rappels sur l'architecture d'un ordinateur et sur l'exécution de programmes
- Préprocesseur, éditeur de liens, main (), espaces de noms
- Variables, types simples, tableaux
- Définition de fonctions, passage d'arguments, retour de valeur
- Lecture et affichage
- Structures de contrôle
- Pointeurs, allocation dynamique
- Agrégats, énumérations
- Références
- Concepts objets
- Mise en œuvre en C++
- Constructeurs, destructeur
- Méthodes et attributs de classe
- Héritage, polymorphisme
- Surchage des opérateurs
- Entrées/sorties pour les types utilisateurs
- Identification dynamique de type
- Exceptions
- Généricité
- Bibliothèque standard
- Pointeurs intelligents
- Threads, synchronisation
- Parallélisme via des bibliothèques

Déroulement, organisation du cours

- Cours magistraux : 9h00
- Travaux dirigés : 6h00
- Travaux pratiques : 9h00

Organisation de l'évaluation

Les exercices, commencés lors des travaux pratiques et terminés par un travail personnel, sont évalués.

Support de cours, bibliographie

Livres

- The C++ Programming Language - Bjarne Stroustrup
- Programmer en C++ : Des premiers pas à la maîtrise de C++20 - Alain Gibaud - Ellipses
- Effective Modern C++: 42 Specific Ways to Improve Your Use of C++11 and C++14 - Scott Meyers

Supports

- Transparents projetés pendant les cours magistraux
- Énoncés et corrigés des exercices des travaux dirigés, énoncés des exercices des travaux pratiques

Moyens

Ce cours est constitué de cours magistraux pour présenter les concepts, et de travaux dirigés et pratiques permettant une appropriation opérationnelle de ces concepts.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables :

- d'écrire des programmes corrects et performants en C++ ;
- d'utiliser des bibliothèques adaptées au problème à résoudre.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4 Concevoir : spécifier, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

- Réaliser en C++ et tester un logiciel

C6.1 Résoudre numériquement un problème

- Utiliser C++ pour calculer la solution d'un problème

C6.2 Concevoir un logiciel

- Conception d'un logiciel en C++

C6.3 Traiter des données

- Utiliser C++ pour traiter des données

3MD1510 – Ingénierie des applications logicielles

Responsables : **Virginie Galtier**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ), DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **22,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'architecture applicative d'un système définit ses composants logiciels et les flux qu'ils échangent, ainsi que leur implantation sur l'architecture matérielle. Elle se trouve naturellement à la croisée des métiers de développement et d'exploitation. Ce cours dresse une typologie des principales architectures applicatives et présente les concepts du « devops », ensemble de pratiques facilitant l'automatisation de la livraison de logiciels. Quelques concepts seront mis en œuvre sur une architecture illustrative, en préparation du projet de SD9.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Avant ce cours les élèves doivent réviser leur cours de SIP de 1A. Ils doivent en outre être à l'aise en Java (des ressources préparatoires sont fournies), avec Git et Linux.

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction au devops (cycle de vie du logiciel, agilité, CI CD pipeline, build, versioning, tests, containers, infrastructure as code) : principes et aperçu de quelques outils
Typologie des architectures applicatives et technologies associées, middleware (accent sur un MOM)
Le dernier cours présentera un sujet d'ouverture d'actualité.

Déroulement, organisation du cours

Les concepts généraux seront présentés en cours et les étudiants seront encouragés à reproduire en direct certaines démonstrations sur leur ordinateur personnel. Des ressources d'approfondissement seront fournies accompagnées d'exercices corrigés de mise en application ou de tests d'auto-évaluation. Enfin, des scénarii plus complets seront développés lors de séances de travaux pratiques.

Organisation de l'évaluation

L'acquisition des connaissances et compétences visées par ce cours sera évaluée sur la base de quelques tests écrits individuels au cours des séances de TP du projet de SD9

Support de cours, bibliographie

Voir l'espace Edunao du cours.

Moyens

Équipe enseignante : Virginie Galtier et Michel Ianotto

Les parties pratiques du cours utilisent des logiciels libres qui pourront être installés directement sur les ordinateurs personnels des étudiants. Une machine virtuelle « clef-en-main » est également fournie. Les étudiants bénéficient des clusters du campus pour certains déploiements.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables de choisir l'architecture applicative la plus adaptée à leur projet et sauront mettre en œuvre une solution logicielle à base de file d'attente de messages. Ils pourront s'intégrer rapidement dans une chaîne de développement et de déploiement d'application et seront familiarisés avec l'utilisation de quelques outils.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétence C3.7 - Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles, Jalon 2

Compétence C3.8 - Savoir concevoir, réaliser et passer à l'industrialisation, Jalon 2

3MD1520 – Programmation avancée en C++

Responsables : **Herve Frezza-Buet**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ), DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **35,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Savoir coder efficacement un algorithme dans un langage de programmation donné suppose comprendre préalablement le modèle de calcul associé et la façon dont les instructions de ce langage sont traduites en instructions machine. Trop d'étudiants abordent encore la programmation de façon superficielle et hasardeuse, faute de connaître les notions de base nécessaires à l'écriture d'un code élégant et performant.

La force singulière du langage C++ est de permettre la production de codes compilés proches du code machine optimal tout en offrant différentes approches de programmation de haut-niveau comme le typage fort, la programmation objet, la programmation fonctionnelle et la méta-programmation (génération automatique de code à la compilation). Pour cette raison, C++ est devenu le langage incontournable pour développer des algorithmes optimisés. Son seul inconvénient tient à sa richesse qui n'a cessé de croître dans ses versions les plus récentes (C++11/14/17/20) et qui rend le langage difficile à appréhender dans sa totalité sans formation adéquate. Ce cours est destiné aux étudiants, y compris débutants, désireux de maîtriser les différents aspects de la programmation en C++ pour pouvoir écrire du code qui concilie performance et élégance. Le cours adopte une approche bottom-up en partant des mécanismes d'exécution de programmes élémentaires pour aller progressivement vers les fonctionnalités les plus avancées du langage.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Savoir programmer (boucles, fonctions, rudiments d'approche objet) dans un langage informatique, avoir des rudiments d'architecture des ordinateurs (processeur, mémoire, etc.).

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Chaîne de compilation (1h30)
2. Variables et mémoire : typage, pile, tas, pointeurs, allocation, références (lvalue, rvalue) ... (1h30)
3. Programmation objet en C++ : classes et héritage (1h30)
4. Notions avancées de programmation objet : polymorphisme, héritage multiple,... (1h30)
5. Programmation fonctionnelle : lambda fonctions, types appelables, wrappers, exceptions, ... (1h30)
6. La bibliothèque standard (1h30)
7. Programmation système (1h30)
8. Patrons (1h30)
9. Notions avancées sur les patrons : spécialisation, SFINAE, etc (1h30)
10. Programmation générique versus orientée objet, concepts (1h30)

Déroulement, organisation du cours

L'objectif est de transmettre aux étudiants un réel savoir-faire de la programmation, d'une part en illustrant les notions à travers des exemples d'utilisation pertinents, d'autre part en consacrant une part importante du volume horaire aux travaux de laboratoire (> 50 %).

Organisation de l'évaluation

QCM. Exercices de programmation.

Support de cours, bibliographie

- Site web réalisé par les professeurs
- Effective Modern C++, Scott Meyers, 2014
- Professional C++, Marc Gredoire, 2014
- A Tour of C++, Bjarne Stroustrup, 2013

Moyens

Enseignants: Hervé Frezza-Buet, Frédéric Pennerath
TP sous PC Linux / g++
40 étudiants max.
2 étudiants par machine max.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Savoir écrire un programme en C++ utilisant différents paradigmes de programmation comme la programmation objet, la programmation fonctionnelle et la programmation générique.
- Connaître certains aspects du langage C++ qui ont une influence déterminante sur les performances des programmes lors de leur exécution.
- Connaître les fonctionnalités offertes par les spécifications les plus récentes du langage C++ (C++11, C++14, C++17, C++20).
- Savoir utiliser un environnement de compilation et de débogage C++

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C6.3: Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel
C6.4 : Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

3MD1530 – Modèles statistiques pour l'apprentissage automatique

Responsables : **Frederic Pennerath**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **26,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les cours "Modèles statistiques pour l'apprentissage automatique" ModStat1 et ModStat2 abordent le problème de l'apprentissage automatique sous l'angle des modèles probabilistes et de l'estimation statistique. Si les cours présentent les modèles et les méthodes les plus utiles dans ce contexte, ils ne se veulent pas être un catalogue exhaustif.

L'objectif est davantage de présenter au sein d'une théorie cohérente les concepts et outils théoriques communs à l'ensemble de ces modèles et méthodes et de montrer comment à partir d'hypothèses de modélisation propres à chaque type de problème traité, ces concepts sont assemblés logiquement avant d'aboutir à une méthode d'apprentissage opérationnelle.

L'enjeu est non seulement de donner aux étudiants les moyens de comprendre et d'utiliser les modèles existants à bon escient mais aussi de concevoir de nouveaux modèles (ou à défaut d'adapter des modèles existants) pour répondre aux particularités de problèmes nouveaux.

Les cours auront pour autre objectif de réaliser un continuum de la théorie à la pratique, que ce soit en cours ou en TP : sont d'abord identifiées les hypothèses associées à une classe de problèmes donnée, s'ensuit un travail théorique de modélisation, qui conduit à définir un modèle et ses algorithmes d'estimation. Ces résultats font alors l'objet d'un travail d'implémentation (en Python) et d'évaluation sur des données.

Le cours ModStat1 introduira les outils de bases de la modélisation statistique quand le cours ModStat2 se concentrera sur les modèles à variables cachées.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

- Connaissances de base en théorie des probabilités, statistique et apprentissage machine (machine learning)
- Niveau débutant en programmation Python / Numpy

Plan détaillé du cours (contenu)

Volume total : 13,5 h. de cours, 4,5 h. de TD, 6 h. de TP et 2 h. d'examen écrit

Cours (13.5h)

- Introduction et rappels (1,5h).
- Rappels sur l'estimation statistique (1,5h)
- Modélisation, évaluation, calibration, etc : exemple de Naive Bayes (1,5h)
- Complément sur l'inférence Bayésienne (1,5h)
- Réseaux bayésiens (3h)
- Modèles gaussiens pour la classification : QDA, LDA, etc (1,5h)
- Famille exponentielle et modèles linéaires généralisés (3h)

TD (4.5h)

- Inférence bayésienne (1,5h)
- Réseaux bayésiens (1,5h)
- Régression (1,5h)

TP (6h)

- Modélisation (3h)
- Régression linéaire et GLM (3h)

Examen écrit (2h)

Déroulement, organisation du cours

- Les cours font appel dans la mesure du possible à des démos ou des exemples pour illustrer les concepts abstraits.
- Des TD (1,5h) et TP sur machine (3h) permettent de mettre en application d'un point de vue théorique et pratique les chapitres du cours.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de 2 heures sans document portant sur des questions de cours et des exercices.

Support de cours, bibliographie

- Support de cours (Présentation du cours, polycopié)
- "Machine Learning – A Probabilistic Perspective" de Kevin Murphy (MIT Press, 2012)
- "Bayesian Reasoning and Machine Learning" de David Barber (Cambridge University Press, 2012)
- "All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference" de Larry Wasserman (Springer-Verlag, 2004)

Moyens

- Enseignant : Frédéric Pennerath (Cours, TD, TP), Joël Legrand (TP)
- Programmation en Python et ses bibliothèques standards.
- 1 groupe de TD
- 2 groupes de TP
- 2 étudiants max par PC

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Être capable de choisir un modèle/ une méthode statistique adaptée au problème considéré et de la mettre en œuvre de façon appropriée.
- Être capable de comprendre les concepts théoriques sous-jacents à une méthode d'inférence statistique présentée dans un article scientifique.
- Être capable d'implémenter un modèle / une méthode statistique dans un langage tel que Python.
- Être capable d'adapter un modèle / une méthode pour tenir compte des spécificités du problème traité.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.2 - Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème
- C2.1 - Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur
- C6.4 - Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

3MD1540 – Apprentissage automatique

Responsables : **Herve Frezza-Buet**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **37,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours introduit l'apprentissage automatique par une présentation globale du domaine, avant d'aborder plus précisément des aspects théoriques de l'apprentissage statistiques et plusieurs algorithmes. Les travaux pratiques présentent des situations où la mise en œuvre des méthodes nécessite de comprendre la théorie qui leur est associée.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Ce cours requiert de connaître l'algèbre linéaire et la théorie des probabilités. Pour les travaux pratiques, une bonne connaissance de python (en particulier Jumpy) est requise.

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours présente une vue en largeur du domaine de l'apprentissage automatique, puis aborde plus en détail les notions de risque, d'analyse préalable et préparation des données, de machines à vecteurs supports, d'arbres de décision, de boosting et bagging, de quantification vectorielle.

Déroulement, organisation du cours

L'enseignement se présente sous forme de cours magistraux qui décrivent en profondeur les concepts théoriques liés aux algorithmes tout en présentant des démonstrations illustrant la mise en œuvre de ces concepts. Les travaux pratiques visent à implémenter les méthodes, en gardant le souci de bien comprendre le rôle des paramètres et leurs limitations. L'examen est également préparé par des annales traitées en classe de travaux dirigés.

Organisation de l'évaluation

Le module sera évalué par un examen écrit, où l'idée est de tester la capacité de l'étudiant à utiliser intelligemment des méthodes, à analyser les résultats d'un algorithme, etc.

Support de cours, bibliographie

Le cours s'accompagne d'un support écrit en anglais, au sein duquel les références bibliographiques du domaine sont citées.

Moyens

Les cours et travaux de pratiques sont donnés par Hervé Frezza-Buet et Jérémie Fix. Les cours présentent les aspects théoriques, des preuves mathématiques, mais sont également illustrés par des démonstrations des algorithmes. Les travaux pratiques s'effectueront en python, en utilisant sickit-learn, en binômes.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre les fondements théoriques des méthodes d'apprentissage automatique abordées.
- Mettre en œuvre ces méthodes de façon adaptée, sans les considérer comme des boîtes noires.
- Faire le lien entre les différentes méthodes.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C3.5, Jalon 1 : Proposer des solutions/outils nouveaux soit en rupture soit en progrès continu

C3.6, Jalon 1 : Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées

C3.7, Jalon 2 : Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles.

3MD2010 – Systèmes Hyperboliques de Lois de Conservation

Responsables : **Pauline Lafitte, Cedric Eaux**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Présentes dans de nombreux modèles physiques divers et variés (écoulement de fluide, trafic routier, dynamique de pandémie, etc.), les lois de conservation sont des équations aux dérivées partielles dotées d'une forme simple, mais dont le caractère non linéaire justifie à lui seul l'émergence d'une branche moderne des mathématiques appliquées. En effet, lorsqu'elles sont non linéaires, les lois de conservation développent des solutions discontinues (formation et propagation de « chocs ») indépendamment de la régularité des données initiales.

La présence des discontinuités explique l'échec des méthodes numériques de type Différences Finies – basées sur l'hypothèse de solutions régulières – à converger vers la solution d'intérêt. Par ailleurs, l'absence de formulation faible vérifiant les hypothèses du théorème de Lax-Milgram empêche d'utiliser les méthodes de type Eléments Finis. Ainsi la résolution numérique des lois de conservation nécessite l'emploi de méthodes numériques spécifiques, dites de type Volumes Finis, dont la construction et l'efficacité ne peuvent être expliquées que par l'analyse mathématique et numérique des équations considérées.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Cours d'EDP 1A

Plan détaillé du cours (contenu)

- séances 1 et 2 (2x3h) : théorie mathématique des systèmes hyperboliques de lois de conservation (Hyperbolicité, solutions classiques, méthode des caractéristiques, solutions faibles, relations de Rankine-Hugoniot, etc.)
- séance 3 (3h) : projet individuel - démarrage (Présentation des sujets, analyse mathématique, prise en main de l'outil informatique)
- séances 4 et 5 (2x3h) : méthodes numériques pour les systèmes hyperboliques de lois de conservation (Rappels de Différences Finies, méthode des Volumes Finis, construction et analyse de quelques flux numériques, etc.)
- séance 6 (3h) : projet individuel - poursuite (Analyse numérique et développement d'un schéma aux Volumes Finis pour la résolution du problème)

Déroulement, organisation du cours

Organisation du cours : 4x3h de cours magistral + 2x3h de suivi de projet individuel.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit (3h) et soutenance de projet individuel (15min)

Support de cours, bibliographie

[1] E. Godlewski & P.-A. Raviart (1995), Numerical approximation of hyperbolic systems of conservation laws, Springer ISBN 0-387-94529-6.

[2] R.J. LeVeque (1992), Numerical methods for conservation laws, Birkhäuser ISBN 3-7643-2723-5.

[3] D. Serre (1999), Systems of conservation laws 1: hyperbolicity, entropies, shock waves, Cambridge University Press ISBN 0-5215-8233-4.

Moyens

Equipe pédagogique : Cédric Eaux

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Notions fondamentales et outils de l'analyse mathématique et numérique des systèmes de lois de conservation

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Acquérir un savoir-faire, via la réalisation suivie d'un projet individuel de résolution numérique d'un système donné.

3MD2020 – Equations de Hamilton-Jacobi

Responsables : **Pauline Lafitte**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de présenter une vue d'ensemble des différentes approches permettant de caractériser et d'approcher numériquement les équations décrivant la propagation de fronts, et plus généralement les équations de Hamilton-Jacobi. Ces équations interviennent dans plusieurs domaines tels que la propagation d'ondes (dans l'approximation haute fréquence), la modélisation de propagation d'interfaces ou le calcul de plus courts chemins (géodésiques) en théorie du contrôle optimal.

Après avoir étudié trois approches de l'équation de Hamilton-Jacobi (les caractéristiques, les équations d'Euler-Lagrange et le calcul variationnel) et introduit la notion de solution de viscosité, le lien entre l'équation de Hamilton-Jacobi et le contrôle optimal sera esquissé. Enfin, différentes méthodes numériques seront présentées, analysées (stabilité, convergence) et programmées sur ordinateur.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Notions d'analyse et de méthodes de discrétisation, EDP

Plan détaillé du cours (contenu)

- 1) Introduction
- 2) Trois approches
Résolution par la méthode des caractéristiques
Equations d'Euler-Lagrange
Calcul variationnel et EDO
- 2) Solutions de viscosité
- 3) Contrôle optimal
- 4) Schémas aux différences finies
- 5) Schémas de propagation d'interfaces
Level-Sets
Fast-Marching

Déroulement, organisation du cours

Cours au tableau.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit.

Support de cours, bibliographie

- [1] L. C. Evans. Partial differential equations, volume 19 of Graduate Studies in Mathematics. American Mathematical Society, Providence, RI, 1998.
- [2] R. P. Fedkiw and S. Osher. Level set methods : An overview and some recent results. J. Comput. Phys, pages 463–502, 2001.
- [3] Pierre-Louis Lions. Generalized solutions of Hamilton-Jacobi equations, volume 69 of Research Notes in Mathematics. Pitman (Advanced Publishing Program), Boston, Mass., 1982.
- [4] E. Trélat. Contrôle optimal. Mathématiques Concrètes. [Concrete Mathematics]. Vuibert, Paris, 2005. Théorie & applications. [Theory and applications].
- Divers articles de recherche récents qui seront précisés au fur et à mesure.

Moyens

Equipe pédagogique : Pauline Lafitte (CentraleSupélec)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Connaissance fine du comportement des solutions des équations HJB, de la modélisation des fronts de propagation et de leurs approximations

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Expertise aussi bien théorique que numérique pour la résolution de certains problèmes non linéaires en leur proposant de programmer, de tester et de comparer ces méthodes sur des problèmes concrets.

3MD2030 – Optimisation et Calcul des Variations

Responsables : **John Cagnol**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'optimisation est la sélection d'un « meilleur » élément dans un ensemble de possibilités. Les applications sont nombreuses en ingénierie, finance, économie, informatique, etc. Optimiser suppose donc de définir un critère pour « meilleur », de caractériser l'ensemble des possibilités et de mettre en œuvre des méthodes permettant de rechercher ce meilleur élément dans l'ensemble admissible.

Il est possible d'avoir recours à des méthodes basées sur des données existantes et disponibles (data science), il est également possible d'avoir recours à des méthodes liées au calcul des variations ou encore à des méthodes formelles. Chaque classe de problème, chaque contexte, doit donner lieu à une analyse permettant de déterminer la méthode la plus pertinente et efficace.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Analyse, Probabilités, EDP / CIP (1A), Modélisation (1A), Algorithmique et complexité (1A), SIP (1A), Contrôle (2A), Optimisation (2A), Enseignements d'intégration de 1A et 2A, Cours d'optimisation du tronc commun de 3e année de MDS.

Plan détaillé du cours (contenu)

Après avoir introduit les principes généraux du calcul des variations et de l'optimisation, dont certains prolongent les éléments donnés dans le cours de tronc commun, nous présenterons les méthodes de modélisation de ces problèmes, c'est-à-dire la formalisation du problème d'optimisation pour un phénomène réel ou virtuel d'intérêt. Parmi les méthodes présentées, nous discuterons du principe de moindre action. Nous étudierons les différentes méthodes d'optimisation pour ces méthodes. Le cours de tronc commun prend comme cadre le cas où l'ensemble des états admissibles est un sous-ensemble fermé d'un espace de Banach ; dans ce cours, nous nous intéresserons également à certains cas qui n'entrent pas dans ce cadre, en particulier la question de l'optimisation de forme où la variable à optimiser est la géométrie du domaine.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral.

Organisation de l'évaluation

Un contrôle continu [25% de la note finale]

Un mini-projet [25% de la note finale]

Un examen final [50% de la note finale]

Support de cours, bibliographie

Clarke Frank H (1983) Optimization and nonsmooth analysis. Chichester Brisbane: Wiley-Interscience, New York
Cournède Paul-Henry Optimisation continue et contrôle optimal : cours de 3e année de l'École centrale Paris. Ecole Centrale Paris (CentraleSupélec)
Delfour Michel C. (2012) Introduction à l'optimisation et au calcul semi-différentiel. Dunod, Paris
Pierre Donald A (1969) Optimization theory with applications. J. Wiley & Sons, New York
Sokolowski J, Zolesio JP (1992) Introduction to shape optimization : shape sensitivity analysis. Springer-Verlag

Moyens

Equipe pédagogique : John Cagnol

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Méthodes de formalisation du problème d'optimisation pour un phénomène réel ou virtuel d'intérêt

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Dans le cadre d'un mini-projet, les élèves seront amenées à prendre un problème réel, le modéliser, formaliser le problème d'optimisation, déterminer la méthode optimale puis la mettre en œuvre.

3MD2040 – Méthodes de Moments dérivés d'une équation cinétique

Responsables : **Frederique LAURENT-NÈGRE, Pauline Lafitte**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les méthodes de moments sont utilisées dans diverses applications en ingénierie :

Description de la dynamique des gaz, des populations de particules (gouttes, suies, nanoparticules), des transferts radiatifs, ... Dans ce cours, il s'agit de comprendre comment on développe ces méthodes macroscopiques à partir d'une description dite mésoscopique de type cinétique, et en particulier quels types de fermetures sont utilisées, de caractériser l'espace dans lequel évoluent ces moments (espace des moments), d'étudier certaines propriétés mathématiques des modèles obtenus et de donner quelques méthodes de résolution des équations, en lien avec leurs propriétés mathématiques et préservant l'espace des moments.

Prérequis

Bases d'algèbre et de théorie de la mesure

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction: applications - équation cinétique / population balance équation
2. Espace des moments - lien avec la théorie des polynômes orthogonaux
3. Méthodes de moments classiques pour les gaz mono-atomiques – propriétés mathématiques
4. Cas des populations de particules: fermetures dans le cas mono-varié
5. Méthodes numériques réalisables dans le cas mono-varié
6. Cas multi-varié: difficultés théoriques et numériques supplémentaires - quelques exemples de modèles et méthodes numériques
7. Cas du transfert radiatif: moments sur la sphère unité

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral.

Organisation de l'évaluation

Évaluation orale (synthèse d'article) et évaluation par contrôle continu.

Support de cours, bibliographie

- [1] D. L. Marchisio, R. O. Fox, Computational Models for Polydisperse Particulate and Multiphase Systems, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013.
- [2] H. Dette, W. J. Studden, The Theory of Canonical Moments with Applications in Statistics, Probability, and Analysis, Wiley-Interscience, 1997.
- [3] J. B. Lasserre, Moments, positive polynomials and their applications, Vol. 1 of Imperial College Press Optimization Series, Imperial College Press, London (2010).

Moyens

Equipe pédagogique : Frédérique Laurent-Nègre (CNRS, laboratoire EM2C), Teddy Pichard (Ecole Polytechnique)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Il s'agira ici de comprendre dans quel espace évoluent les moments, comment on ferme les équations sur les moments, que ce soit dans le cas mono-varié (moment par rapport à une seule variable) que dans le cas multi-varié, très différent d'un point de vue théorique. On verra aussi quelques méthodes de résolution numérique de ces équations, préservant l'espace des moments.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compréhension fine des méthodes d'obtention d'équations macroscopiques pour une équation cinétique sous-jacente. Compréhension des enjeux de la résolution numérique de ces modèles.

3MD2050 – Analyse mathématique de problèmes de bords irréguliers et fractals issus de la physique

Responsables : **Anna Rozanova-Pierrat**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans le monde actuel on a besoin de faire face aux problèmes qui contiennent des géométries complexes, très irrégulières, dont une modélisation la plus simple fait apparaître des bords ou géométries pré-fractales ou fractales (des fissures des matériaux, les côtes du Royaume Unies, les électrodes, les poumons, les tumeurs cancéreuses, les murs anti-bruits acoustiques, ...). Cet axe de la modélisation des surfaces (en 3D) ou des longueurs (en 2D) infinies de domaines au volume fini et aux mesures de dimension fractionnaire des bords par des fractales s'est beaucoup développé récemment depuis la publication du livre de B. Mandelbrot «The fractal geometry of nature» en 1982.

Suivant l'application et la nature du phénomène étudié (on pourrait citer deux exemples typiques: la propagation de la chaleur si on vise le refroidissement des microprocesseurs par exemple, ou encore la propagation des ondes pour le problème d'absorption des ondes le plus efficace) le modèle mathématique (dans le premier cas l'équation de la chaleur et dans le deuxième cas l'équation d'onde ou de Helmholtz en fréquentiel) est différent mais il hérite les propriétés connues pour l'équation de Poisson, ou même tout simplement les propriétés du Laplacien, dans des domaines aux bords fractals.

Le cours propose donc l'étude détaillée des problèmes elliptiques sur les domaines à bords fractals qui se généralisent en une notion de d -ensembles (donc des ensembles de dimension d qui est un nombre réel). Les résultats présentés dans ce cours se sont développés à partir des années 80 du siècle dernier et sont à la base de nombreuses questions ouvertes des mathématiques appliquées actuelles qui se développent de plus en plus pour répondre à la demande des applications physiques, médicales et en ingénierie.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Cours d'EDP 1A

Plan détaillé du cours (contenu)

On étudie en détail les espaces de Sobolev et leurs propriétés.

On traite l'équation de Poisson sur des domaines non convexes (avec un coin entrant dans une boule par exemple) et on étudie la régularité de la solution faible.

On présente ensuite la notion de d -ensemble et de d -mesure en donnant des exemples typiques des bords fractals, comme les fractales de Von Koch.

On définit des aspects d'analyse fonctionnelle pour trouver la solution de l'équation de Poisson sur un domaine à bord fractal :

1) l'existence d'un opérateur d'extension continu qui permet de prolonger les fonctions sans perte de leur régularité, à savoir, l'appartenance à un espace de Sobolev
2) l'introduction de l'opérateur de trace pour les distributions régulières, l'étude de sa compacité
3) la formule de Green et l'intégration par parties sur les domaines avec des bords donnés par des supports des mesures de Borel à dimension finie
On étudiera ensuite le problème de Poisson pour différents cas de conditions au bord et on regardera l'apport de la géométrie irrégulière dans le problème spectral associé à Laplacien. On établira pour un domaine borné à bord fractal l'existence d'une suite de valeurs propres et d'une base orthonormée de modes propres. On étudiera le phénomène de localisation des modes propres.
On appliquera la méthode de Galerkin pour montrer le caractère bien posé de l'équation de chaleur sur le même type des domaines irréguliers. On étudiera la convergence des domaines et des solutions correspondantes (convergence de Mosco).

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral au tableau, 4 TD d'une heure.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de 3h.

Support de cours, bibliographie

- [1] B. Mandelbrot. The fractal geometry of nature, Cover of the hardcover edition, 1982.
- [2] L. C. Evans. Partial Differential Equations. Graduate Studies in Mathematics, 1994.
- [3] K.J. Falconer. Techniques in Fractal Geometry. Chichester: John Wiley, 1997.
- [4] Barlow, M.T., Kigami, J.: Localized eigenfunctions of the Laplacian on p.c.f. self-similar sets. J. London. Math. Soc.(2) 56, 320–332 (1997)
- [5] A. Jonsson and H. Wallin, Boundary value problems and brownian motion on fractals, Chaos, Solitons & Fractals, 8 (1997), 191–205.
- [6] K. Arfi, A. Rozanova-Pierrat, Dirichlet-to-Neumann or Poincaré-Steklov operator on fractals described by d-sets. DCDS - S, 12 (2019), 1-26
- [7] M. Filoche, S. Mayboroda. Universal mechanism for Anderson and weak localization. PNAS, 109 (2012), 14761–14766.

Moyens

Equipe pédagogique : Anna Rozanova-Pierrat (CentraleSupélec)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Bord réguliers et irréguliers : influence sur des solutions des EDPs; domaines d'extension de Sobolev; l'opérateur de trace sur un bord multi-fractal, formules de Green sur des bords irréguliers; les compacts et les opérateurs compacts; convergence faible et faible*; espaces de Sobolev; problèmes spectrales et méthode de Galerkin; localisation des fonctions propres du Laplacien; convergence des domaines (Hausdorff, en fonctions caractéristiques); convergence de Mosco et gamma-convergence (approximation des solutions sur des bords irréguliers par des solutions sur des domaines à bords réguliers).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours théorique dans les thématiques des EDP, d'analyse fonctionnelle et de la modélisation vise intéresser les personnes qui souhaitent faire de la recherche dans le domaine des mathématiques appliquées, ainsi que dans le cadre de R&D, étant donné l'application à des problèmes d'ingénierie que la théorie de ce cours permettra de résoudre.

3MD2210 – Théorèmes limites

Responsables : **Alexandre Richard**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

En sciences, et en physique particulièrement (mais aussi en biologie, systèmes complexes, etc.), on cherche à obtenir des équations (EDO, EDP(S), etc.) décrivant des phénomènes macroscopiques à partir de propriétés observées telles que des lois de conservation ou encore la propagation d'ondes.

Or bien souvent, ces équations macroscopiques représentent une approximation aux grandes échelles de systèmes microscopiques composés de grands nombres de particules interagissant selon des principes physiques élémentaires, par exemple des atomes/molécules en physique ; des neurones/canaux ioniques en neurosciences

; des agents en économie, etc. Déduire de ces systèmes microscopiques des lois macroscopiques représente bien souvent un problème aussi fondamental que difficile.

L'objectif de ce cours sera de présenter certains outils mathématiques de convergence de variables aléatoires, et de les appliquer à des systèmes de particules probabilistes en interaction dont le nombre de composantes tend vers l'infini. A la limite, on identifiera selon les exemples des équations de la mécanique des fluides ou de la biologie.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Chaînes de Markov et martingales à temps discret ; Calcul stochastique.

Plan détaillé du cours (contenu)

I Introduction et « rappels » sur les processus de Markov

II Théorèmes limites

- Tension des mesures dans les espaces métriques

- Convergence en distribution et théorème de Prokhorov

- Tension dans l'espace des fonctions continues et Théorème de Donsker

III Théorie d'approximation des diffusions de Stroock-Varadhan

IV Systèmes de particules diffusives en interaction et propagation du chaos

- Limite champ moyen de systèmes à coefficients réguliers

- Problème de martingale, EDS de McKean-Vlasov et propagation du chaos

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral, ponctué d'exercices à chercher en classe ou à la maison.

Organisation de l'évaluation

Un devoir maison et un contrôle final écrit de 3h.

Support de cours, bibliographie

- * P. Billingsley, Convergence of Probability Measures, Wiley, 1999.
- * A.-S. Sznitman, Topics in propagation of chaos, St-Flour Lecture Notes, 1988.
- * Divers articles de recherche récents dont les références seront fournies au fur et à mesure.

Moyens

Equipe pédagogique : Alexandre Richard (CentraleSupélec)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les théorèmes limites classiques, et notamment le théorème de Donsker ;
Approximation particulière et représentation probabiliste d'EDP ;
Problèmes de martingales et propagation du chaos.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Maîtrise de la convergence des variables aléatoires dans certains espaces fonctionnels par méthodes de tension
Les élèves maîtriseront des concepts d'approximation et de passage à la limite par changement d'échelle.

3MD2220 – Quantification des incertitudes dans les simulations numériques

Responsables : Claire CANNAMELA, Pauline Lafitte

Département de rattachement : MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 40

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 24,00

Présentation, objectifs généraux du cours

La simulation numérique est devenue incontournable en recherche et développement en créant un pont entre la théorie et l'expérience. La simulation s'appuie sur des codes de calcul capables de décrire et prédire des systèmes physiques complexes. Ces codes sont composés de paramètres d'entrées représentant l'état du système et délivrent en sortie des réponses le caractérisant. Les paramètres d'entrées peuvent être sujets à de multiples sources d'incertitudes (erreurs de mesure, variabilité naturelle, manque d'information) et les sorties sont alors entachées d'incertitudes qu'il est nécessaire de caractériser. Les analyses d'incertitudes peuvent être variées : estimation d'une valeur moyenne et d'une variabilité, garantie du bon fonctionnement d'un système, recherche des principales sources de variabilité, etc.

Prérequis

Statistiques (cours de 1e et 3e années)

Déroulement, organisation du cours

Chaque séance est composée d'une partie cours et d'une partie travaux pratique. Les TPs se déroulent en R, cependant aucune connaissance de ce langage n'est nécessaire. Les scripts sont fournis et l'accent est mis sur l'analyse et l'interprétation des résultats.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se déroule sous forme de projet.

Support de cours, bibliographie

- [1] E. de Rocquigny , N. Devictor, Stefano Tarantola, editors. Uncertainty in Industrial Practice. Wiley, 2008.
[2] R.Ghanem, D. Higdon, H. Owhadi, editors. Handbook of Uncertainty Quantificatio. Springer, 2017.
Handbook of Uncertainty Quantification

Moyens

Equipe pédagogique : Claire Cannamela, Ingénieur-chercheur au CEA

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les objectifs de ce cours sont, d'une part d'identifier les différentes étapes de la « démarche incertitudes » et d'autre part, d'appréhender les principales méthodes essentielles à la résolution des analyses d'incertitudes.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le premier objectif est que l'élève soit sensibilisé à l'importance de la prise en compte des incertitudes dans les simulations numériques. Le second objectif est de savoir mettre en œuvre la « méthodologie incertitudes » sur des exemples simples.

3MD2240 – Filtrage et contrôle stochastique

Responsables : **Nina-Hadis Amini**

Département de rattachement : **MATHÉMATIQUES, MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans ce cours, nous introduirons le filtrage stochastique et le contrôle stochastique. Nous considérons les systèmes dynamiques qui sont décrits par des équations différentielles stochastiques pilotées par des processus de Wiener. Dans la théorie du filtrage, l'objectif est de fournir une estimation de l'état d'un système dynamique basé sur des processus d'observation partielle. Les processus d'observation sont également décrits par des équations différentielles stochastiques. Ce problème se pose dans de nombreux domaines tels que les télécommunications, la finance mathématique, etc. Nous présentons ici les différentes méthodes permettant de résoudre un tel problème. Dans la deuxième partie de ce cours, nous introduisons la théorie du contrôle stochastique et nous définissons la stabilisation stochastique. Enfin, nous mentionnons quelques applications des méthodes développées dans différents domaines.

Prérequis

Processus et calcul stochastiques

Plan détaillé du cours (contenu)

- Filtrage de Kalman en temps discret et continu ;
- Filtrage stochastique non linéaire : la méthode de changement de mesure de référence ; la formule de Kallianpour-Striebel ; l'équation de Zakai et l'équation de Kushner-Stratonovich ;
- Introduction au contrôle stochastique et à la stabilisation stochastique ;
- Applications dans différents domaines.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, notes et slides.

Organisation de l'évaluation

Projet avec soutenance.

Support de cours, bibliographie

- Karatzas, I.- Shreve, S. Brownian motion and stochastic calculus, Springer, Berlin, 1991.
- Oksendal, B. Stochastic Differential Equations. An Introduction with Applications, Springer, Berlin, 2013.
- A. Bain and D. Crisan. Fundamentals of Stochastic Filtering. New York: Springer, 2009.
- H. Kushner. Stochastic stability and control. Academic Press, 1967.

Moyens

Equipe pédagogique : Nina Amini (CNRS)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Bases de la théorie du filtrage et du contrôle stochastique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Application et manipulation du contrôle stochastique.

3MD3010 – Fondements de l'optimisation distribuée et à grande échelle

Responsables : **Emilie Chouzenoux, Fragkiskos Malliaros**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans un large éventail de domaines d'application (problèmes inverses, apprentissage automatique, vision par ordinateur, analyse de données, mise en réseau, ...), des problèmes d'optimisation à grande échelle doivent être résolus.

L'objectif de ce cours est d'introduire le contexte théorique qui permet de développer des algorithmes efficaces pour résoudre ces problèmes en tirant parti des architectures modernes de calcul multicore ou distribué. Ce cours sera principalement axé sur les outils d'optimisation non linéaire pour traiter les problèmes convexes. Les outils proximaux, les techniques de fractionnement et les stratégies de Majorisation-Minimisation qui sont maintenant très populaires pour le traitement des ensembles de données massives seront présentés. Des illustrations de ces méthodes sur divers exemples applicatifs seront fournies.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours se compose de huit sessions (3h chacune) combinant cours et exercices. Les concepts suivants seront présentés :

1. Contexte de l'analyse convexe
2. Méthodes de fractionnement proximal parallèles et distribuées
3. Parallélisation à travers les approches de Majorisation-Minimisation.

Plus d'informations sont disponibles sur le site web du cours :

<https://pages.saclay.inria.fr/emilie.chouzenoux/ECP/index.htm>

Déroulement, organisation du cours

The course will be based on the following:

- Lectures
- Lab sessions
- Homeworks/projects

Organisation de l'évaluation

- Rapport : code + réponse aux questions (jupyter notebook utilisant Python 3), 1 rapport pour 2 étudiants.
- Chaque rapport doit être remis au plus tard deux semaines après la session de laboratoire correspondante.
- Examen écrit

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin du cours, l'étudiant acquerra des connaissances et des compétences sur les techniques d'optimisation distribuées et parallèles.

3MD3015 – Modélisation en Grande Dimension

Responsables : **Sarah Lemler, Fragkiskos Malliaros**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans ce cours, nous examinerons la question de la haute dimensionnalité lorsque le nombre de covariables (ou variables explicatives) dépasse le nombre d'observations.

Nous montrerons les limites des procédures standard dans ce contexte. Nous présenterons des méthodes de sélection de variables, en soulignant leurs avantages et inconvénients d'un point de vue théorique et pratique. Nous présenterons des méthodes de régularisation adaptées à différents problèmes. Enfin, nous introduirons des méthodes de criblage pour traiter le cas des dimensions ultra-élevées lorsque les méthodes de régularisation sont insuffisantes. Des exercices pratiques en R permettront de mettre en pratique les différents concepts abordés dans le cours.

Prérequis

Bonne connaissance des statistiques

Plan détaillé du cours (contenu)

- Motivations
- Sélection des variables (Cp-Mallows, AIC, BIC...)
- Méthodes de régularisation (Ridge regression, Lasso et variantes Lasso pour les régressions linéaires et logistiques)
- Méthodes de criblage (dans le cas de la très haute dimension)

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, exercices pratiques en R, examen

Organisation de l'évaluation

Projet, examen écrit

3MD3020 – Apprentissage profond

Responsables : **Fragkiskos Malliaros, Maria Vakalopoulou**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Avec l'augmentation de la puissance de calcul et des quantités de données disponibles, mais aussi avec le développement de nouveaux algorithmes d'apprentissage et de nouvelles approches globales, de nombreuses percées ont eu lieu ces dernières années dans le domaine de l'apprentissage profond pour la reconnaissance d'objets et du langage parlé, la génération de textes et la robotique. Ce cours couvrira les aspects fondamentaux et les développements récents de l'apprentissage profond dans différents domaines : Vision par ordinateur, traitement du langage naturel, et apprentissage profond par renforcement.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Il n'y a pas de prérequis officiel pour ce cours. Cependant, les étudiants doivent avoir une connaissance de base de Python.

Plan détaillé du cours (contenu)

- histoire de l'apprentissage profond et sa relation avec les sciences cognitives ;
- réseaux feedforward, régularisation et optimisation ;
- apprentissage par représentation et réseaux siamois ;
- GAN et apprentissage par transfert ;
- réseaux récurrents et LSTM pour le traitement du langage naturel ;
- détection d'objets ;
- méthodes auto-supervisées ;
- apprentissage par renforcement profond.

Déroulement, organisation du cours

Chaque section du cours est divisée en 1h30 de cours et 1h30 de laboratoire. Les laboratoires permettront aux étudiants de commencer à développer les mini-projets sur lesquels l'évaluation est basée, et de recevoir un feedback.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours sera basée sur 2 mini-projets individuels sur la reconnaissance d'objets, le traitement du langage naturel et l'apprentissage par renforcement.

Support de cours, bibliographie

Reading material

- Deep Learning. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville, MIT Press, 2016.

Resources

- Software tools: Python, Keras, PyTorch
- Related conferences: NIPS, ICML, ICLR, CVPR, ECCV, ICCV
- Related Courses: Deep Learning in Practice (second semester)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le cours a pour objectif d'initier les étudiants au Deep Learning à travers le développement de projets pratiques. Nous espérons qu'à la fin du cours, les étudiants seront en mesure de mettre en œuvre et de développer de nouvelles méthodes dans différents domaines.

3MD3021 – Principes Théoriques de l'Apprentissage Profond

Responsables : **Fragkiskos Malliaros, Hédi Hadiji, Sarah Lemler**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les algorithmes d'apprentissage automatique impliquant des réseaux neuronaux profonds ont accumulé les succès empiriques à un rythme spectaculaire au cours des dernières années. Nombre de ces réussites ne peuvent être expliquées par l'intuition issue de la théorie de l'apprentissage standard. En outre, à mesure que la popularité de l'apprentissage profond augmente, le fossé entre la théorie et la pratique ne cesse de se creuser. Construire les bases d'une théorie satisfaisante de l'apprentissage profond, avec l'objectif de guider les praticiens, est un défi majeur de la recherche moderne.

Dans ce cours, nous discuterons des progrès théoriques récents réalisés pour décrire les performances empiriques des méthodes de deep learning. Nous nous concentrerons principalement sur l'étude de la capacité de *généralisation* étonnamment bonne des réseaux profonds. Considérons une tâche de classification, dans laquelle, étant donné un ensemble de features et de labels d'entraînement, nous souhaitons prédire l'étiquette inconnue d'une nouvelle caractéristique de test. Une connaissance superficielle de théorie classique de l'apprentissage laisserait penser que des modèles très complexes doivent overfitter sur les données d'apprentissage, mais la pratique a prouvé à maintes reprises que les réseaux neuronaux donnent de bons résultats malgré un surparamétrage massif. Nous décrirons quelques idées qui ont été proposées pour expliquer ce phénomène ; les sujets que nous pourrions aborder sont les suivants : théories de la généralisation (capacité, marge, stabilité, compression, ...), régularisation implicite par SGD et paysage d'optimisation, bornes PAC-bayes, approximation théorique des grands réseaux (NTK).

Prérequis

- probabilités, statistiques, algèbre linéaire élémentaires
- optimisation: convexité, descente de gradient
- apprentissage statistique: PAC-learning, dimension VC
- connaissances des principes de base du deep learning

Plan détaillé du cours (contenu)

- Rappels d'apprentissage statistique et optimisation
- Bornes PAC pour les réseaux de neurones
- Bornes PAC-Bayes et bornes de compression
- Limites du framework PAC et 'biais inductifs' liés à l'optimisation
- NTK et dynamique d'apprentissage

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et TP.

Organisation de l'évaluation

Présentation d'articles, parmi une liste proposée:

- présentation du contexte et des résultats principaux,
- esquisse de preuve des résultats théoriques,
- illustration numérique.

Moyens

Enseignant: Hédi HADIJI

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- une compréhension approfondie des aspects spécifiques à l'apprentissage profond qui le différencient d'autres techniques de machine learning.
- une connaissance de différents critères d'évaluation théoriques pour les méthodes de machine learning
- une connaissance des principales hypothèses avancées par la communauté scientifique pour expliquer des succès du deep learning, ainsi que des limites de ces hypothèses.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les principales compétences mobilisées durant ce cours seront

- C1.1 - 'Analyser le comportement global d'un système complexe' Le thème central du cours est l'analyse générale des comportements de méthodes contenant des réseaux de neurones.
- C1.3 - 'Estimer les valeurs de paramètres et évaluer la qualité d'approximation'. Les étudiants apprendront à anticiper l'impact de différents paramètres guidant l'entraînement, et a fortiori la performance, de réseaux de neurones profonds.
- C1.4 - 'Prototyper, réaliser et valider des systèmes complexes' : les connaissances théoriques acquises permettront aux étudiants de développer une intuition qui les guidera dans le développement de méthodes de deep learning. Des séances de TP viendront illustrer ces intuitions.

Le contenu du cours reposera sur des résultats de recherche, et les étudiants seront invités à lire des articles de recherche récents. Les séances de TD/TP ainsi que la présentation finale permettront au étudiants d'"Intégrer, consolider les nouvelles compétences acquises au sein d'un corpus de connaissances (C2.2)".

Le sujet du cours étant le deep learning, des séances de TP illustrant certaines idées discutées en classe seront proposées. Les étudiants seront ainsi amenés à 'Résoudre numériquement un problème (C.6.1)' et 'Concevoir un logiciel (C6.2)'. Ils s'intéresseront aussi à nature des données d'entraînement, et à leur impact sur le modèle entraîné — 'C6.3 - Traiter des données'

3MD3030 – Méthodes géométriques dans l'analyse des données

Responsables : **Fragkiskos Malliaros**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'analyse des données est le processus de nettoyage, de transformation, de modélisation ou de comparaison des données, afin de déduire des informations utiles et de mieux comprendre des phénomènes complexes. D'un point de vue géométrique, lorsqu'une instance (un phénomène physique, un individu, etc.) est donnée comme une collection de taille fixe d'observations à valeurs réelles, elle est naturellement identifiée à un point géométrique ayant ces observations comme coordonnées. Toute collection de telles instances est alors considérée comme un nuage de points échantillonné dans un espace métrique ou normé.

Ce cours passe en revue les constructions fondamentales liées à la manipulation de tels nuages de points, en mélangeant les idées de la géométrie et de la topologie computationnelle, des statistiques et de l'apprentissage automatique. L'accent est mis sur les méthodes qui non seulement présentent des garanties théoriques, mais qui fonctionnent également bien dans la pratique. En particulier, des références logicielles et des jeux de données d'exemple seront fournis pour illustrer les constructions.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Il n'y a pas de prérequis officiel pour ce cours. Cependant, il est attendu des étudiants qu'ils aient une bonne connaissance de :

- Des bases en algorithmique (notions de complexité).
- Bases en algèbre linéaire, géométrie, théorie des probabilités.

La maîtrise d'un langage de programmation (C/C++, python, R) est également attendue.

Plan détaillé du cours (contenu)

Les plus proches voisins dans les espaces euclidiens et métriques : structures de données et algorithmes de recherche

Plus proches voisins dans les espaces euclidiens et métriques : analyse

Algorithmes de réduction de la dimensionnalité

Couvertures et nerfs : inférence géométrique et l'algorithme Mapper

Algorithmes de classification et introduction à l'homologie persistante

Tests d'hypothèses statistiques et tests à deux échantillons (TST)

Comparaison de distributions à haute dimension, comparaison de clustering

Signatures de forme : stabilité et aspects statistiques

Déroulement, organisation du cours

Chaque cours comprend deux conférences (1h30' chacune), fournissant les bases théoriques, ainsi que des illustrations des méthodes sur des ensembles de données pratiques.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours sera basée sur un projet, réalisé par des groupes de deux étudiants. Deux types de projets seront proposés, en fonction de la formation des étudiants. D'une part, les projets à tendance mathématique-algorithmique permettront d'approfondir la compréhension théorique d'un résultat de recherche récent. D'autre part, les projets de traitement de données permettront d'acquérir une compréhension fine de données complexes, en utilisant les méthodes (sélectionnées) étudiées pendant le cours. Pour chaque projet, le code développé et un rapport seront rendus.

Support de cours, bibliographie

A reading list for each course is provided on the course web site:

<https://www-sop.inria.fr/abs/teaching/centrale-FGMDA/centrale-FGMDA--cazals-carriere.html#>

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les objectifs sont doubles :

maîtriser les principes fondamentaux de l'analyse des données géométriques,
acquérir l'expertise nécessaire pour décider quelles sont les méthodes les plus appropriées pour traiter des données d'un certain type.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les étudiants sont censés maîtriser les principes fondamentaux de l'analyse des données géométriques et acquérir l'expertise nécessaire pour décider quelles méthodes sont les mieux adaptées en pratique pour traiter des données d'un certain type.

3MD3040 – Modèles graphiques: inférence discrète et apprentissage

Responsables : **Fragkiskos Malliaros**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les modèles graphiques (ou modèles graphiques probabilistes) constituent un paradigme puissant permettant d'exploiter conjointement la théorie des probabilités et la théorie des graphes pour résoudre des problèmes complexes du monde réel. Ils constituent un élément indispensable dans plusieurs domaines de recherche, tels que les statistiques, l'apprentissage automatique, la vision par ordinateur, où un graphe exprime la dépendance conditionnelle (probabiliste) entre des variables aléatoires.

Ce cours se concentrera sur les modèles discrets, c'est-à-dire les cas où les variables aléatoires des modèles graphiques sont discrètes. Après une introduction aux bases des modèles graphiques, le cours se concentrera sur les problèmes de représentation, d'inférence et d'apprentissage des modèles graphiques. Nous couvrirons les algorithmes classiques ainsi que l'état de l'art utilisés pour ces problèmes. Plusieurs applications en apprentissage automatique et en vision par ordinateur seront étudiées dans le cadre du cours.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- Bonne compréhension des modèles mathématiques
- Algèbre linéaire
- Transformations intégrales
- Équations différentielles
- Idéalement, un cours de base en optimisation discrète.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction au cours
- Modèles graphiques
- Propagation des croyances
- Introduction aux coupes de graphes
- Coupes de graphes + Primal-dual, Partie I
- Coupes de graphes + Primal-dual, Partie II
- Systèmes de recommandation + 2 articles
- Causalité
- Apprentissage
- Réseaux bayésiens
- Présentations de projets

Déroulement, organisation du cours

Conférences et projet

Organisation de l'évaluation

- Projets en groupes de 3 personnes au maximum
- Rapport et présentation
- Sujets : les vôtres ou ceux donnés en classe

Moyens

Le cours s'articule autour de deux modules :
Conférences
Projet pour l'évaluation

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les étudiants acquerront des connaissances en ce qui concerne :
les méthodes fondamentales
les applications dans le monde réel.
ainsi que des indications pour utiliser ces méthodes dans votre travail.

3MD3050 – Introduction à la vision par ordinateur

Responsables : **Fragkiskos Malliaros, Maria Vakalopoulou**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La vision par ordinateur est un domaine interdisciplinaire dont l'objectif est de permettre le traitement automatique et la compréhension des images numériques. Ces images peuvent être capturées par des caméras vidéo, des radars, des satellites ou même des capteurs très spécialisés tels que ceux utilisés à des fins médicales. Ce cours couvre à la fois les aspects théoriques et pratiques de la vision par ordinateur. Il a été conçu pour fournir une introduction à la vision par ordinateur, y compris les principes fondamentaux du traitement d'images, de la photographie informatique, de la géométrie multi-vues, de la stéréo, du suivi, de la segmentation et de la détection d'objets. Il exposera les étudiants à un certain nombre d'applications du monde réel qui sont importantes dans notre vie quotidienne. Le cours se concentrera uniquement sur les techniques classiques de vision par ordinateur, présentant une vue d'ensemble détaillée des méthodes de vision classiques, sans couvrir les méthodes basées sur l'apprentissage profond.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Il n'y a pas de prérequis officiel pour ce cours. Cependant, les étudiants doivent avoir des connaissances en algèbre linéaire, en analyse multivariable réelle, en théorie probabiliste de base, en statistiques et en programmation informatique en Python.

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction à la vision par ordinateur
Vision faible
Sélection et mise en correspondance des caractéristiques
Vision stéréo/flux optique
Segmentation d'images
Reconnaissance d'images
Traitement vidéo
Thèmes avancés sur la vision

Déroulement, organisation du cours

8 x 3h. En fonction du cours, soit 3h de cours, soit 1h30 de cours/ 1h30 de TP.

Pour les sessions pratiques (TPs), les étudiants doivent apporter leurs ordinateurs portables personnels.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours sera basée sur les éléments suivants :

Les devoirs : les devoirs comprendront des questions théoriques ainsi que des tâches pratiques et permettront aux étudiants de se familiariser avec les algorithmes de base et les applications de la vision par ordinateur.

Pratiques et permettront aux étudiants de se familiariser avec les algorithmes de base et les applications de la vision par ordinateur.

Projet : Les étudiants doivent former des groupes de 2 à 3 personnes, proposer un sujet pour leur projet et soumettre un rapport de projet final.

Support de cours, bibliographie

Datasets: Some of the public datasets for medical imaging can be found at:

- <http://www.image-net.org/>
- <http://cocodataset.org/#home>
- <http://vision.middlebury.edu/stereo/data/>
- <http://mi.eng.cam.ac.uk/research/projects/VideoRec/CamVid/>

Books:

- Simon Prince, Computer Vision: Models, Learning, and Interface, Cambridge University Press
- Richard Szeliski, Computer Vision: Algorithms and Applications, Springer, 2010
- Mubarak Shah, Fundamentals of Computer Vision
- Forsyth and Ponce, Computer Vision: A Modern Approach, Prentice Hall, 2002
- N. Paragios, Y. Chen & O. Faugeras. Handbook of Mathematical Models of Computer Vision, Springer, ISBN 0387263713, 2005.
- Duda, Hart and Stork, Pattern Classification (2nd Edition), Wiley, 2000
- Ch. M. Bishop, "Pattern Recognition and Machine Learning", 2006

Related Conferences:

- Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)
- International Conference on Computer Vision (ICCV)
- European Conference on Computer Vision (ECCV)
- Asian Conference on Computer Vision (ACCV)
- British Machine Vision Conference (BMVC)
- International Conference on Pattern Recognition (ICPR)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le cours a pour but d'initier les étudiants à la vision par ordinateur par des sessions à la fois théoriques et pratiques.

Nous nous attendons à ce qu'à la fin du cours, les étudiants :

soient familiarisés avec les aspects théoriques et pratiques de la vision par ordinateur classique, comprennent les principes et ont un aperçu des algorithmes de vision classique, aient été exposés à un large éventail de principes fondamentaux classiques et modernes de la vision par ordinateur, développeront les compétences pratiques nécessaires pour construire des applications de vision par ordinateur

3MD3055 – Vision par ordinateur

Responsables : **Antonio SILVETI-FALLS, Sarah Lemler, Fragkiskos Malliaros**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'optimisation est le cheval de bataille de la vision par ordinateur moderne et est responsable d'une grande partie de son succès, l'optimisation du premier ordre offrant un moyen évolutif de résoudre de nombreux problèmes pratiques qui se posent dans ce domaine. Ce cours explore les fondements théoriques et les aspects pratiques de l'application des techniques d'optimisation du premier ordre aux problèmes de vision par ordinateur. Le cours couvre certains concepts fondamentaux de l'analyse convexe et de l'optimisation, des ondelettes, de l'apprentissage de caractéristiques éparses, du traitement d'images, de l'apprentissage profond et de la géométrie épipolaire. Il y aura des sessions pratiques pour mettre en œuvre ces techniques afin de résoudre des problèmes réels de débruitage d'image, de débrouillage, d'inpainting, de super résolution et de correspondance stéréo.

Prérequis

Un premier cours d'optimisation convexe ou d'analyse convexe, d'analyse réelle (par exemple, le contenu du cours CIP sans les parties relatives aux probabilités), une familiarité avec la programmation python et numpy ; un cours d'introduction à l'apprentissage profond ou à la vision par ordinateur serait également utile.

Plan détaillé du cours (contenu)

Quelques concepts fondamentaux en analyse convexe et optimisation, ondelettes, apprentissage de caractéristiques éparses, traitement d'images, apprentissage profond, et géométrie épipolaire (si le temps le permet).

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et sessions pratiques (Python notebooks).

Organisation de l'évaluation

- Évaluation du travail de laboratoire.
- Il y aura un projet final pour les étudiants qui devront mettre en œuvre quelque chose en rapport avec, mais au-delà de ce que nous avons étudié en classe.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre les concepts fondamentaux de l'optimisation convexe du premier ordre - séparation des opérateurs, méthodes proximales et méthodes accélérées.

- Familiarisation avec les ondelettes, l'apprentissage de caractéristiques éparses et leur relation avec la vision par ordinateur.
- Acquérir une expertise dans l'application des techniques d'optimisation au traitement des images.
- Mettre en œuvre des solutions pratiques pour le débruitage, le brouillage, l'inpainting, la super résolution et la correspondance stéréo.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

o Capacité à identifier et à appliquer des techniques d'optimisation du premier ordre appropriées à diverses tâches de vision par ordinateur (débruitage, débrouillage, inpainting, etc.).

o Capacité à mettre en œuvre et à modifier des algorithmes pour des problèmes spécifiques de vision par ordinateur.

Compréhension globale de l'interaction entre l'optimisation et la vision par ordinateur.

3MD3060 – Traitement automatique du langage naturel

Responsables : **Matthias Galle, Fragkiskos Malliaros**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours donnera un aperçu des sujets d'étude du domaine du traitement du langage naturel. Il adoptera une approche centrée sur les problèmes, en présentant des problèmes de plus en plus complexes, en commençant par des éléments de base comme la modélisation du langage, l'étiquetage et l'analyse syntaxique, et en progressant vers des problèmes complexes comme l'extraction d'opinions, la traduction automatique, les questions-réponses et le dialogue. Les méthodes historiques importantes seront mentionnées (et étudiées si elles sont toujours pertinentes), mais l'accent sera mis sur l'état actuel de la technique, qui implique des avancées souvent récentes dans la formation des réseaux neuronaux et les nouvelles architectures.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- Compétences de codage. Tous les exercices seront effectués en python
- La connaissance des bibliothèques pertinentes (scikit-learn, spacy, kears, pytorch, tensorflow) n'est pas obligatoire mais utile.
- Algèbre linéaire
- Une connaissance de base de l'apprentissage automatique sera utile
- Concepts de base en informatique

Plan détaillé du cours (contenu)

PREMIÈRE PARTIE

1. Introduction
2. Modèle linguistique
3. Représentation des mots et des documents
4. Balisage, reconnaissance d'entités nommées
5. Analyse syntaxique

DEUXIÈME PARTIE

6. Extraction de contenu généré par l'utilisateur
7. Traduction automatique et génération de langage naturel
8. Lecture automatique
9. Dialogue

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, séances de laboratoire et projet. Le cours se compose de deux sections. La première présente les tâches typiques de la PNL, tandis que la seconde se concentre sur les applications finales.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours se fera par trois exercices, notés de manière égale. L'évaluation sera principalement automatique (performance sur un ensemble de tests), mais l'évaluation qualitative (fichier texte contenant des explications, qualité du code, etc) sera également prise en compte. Tous les projets seront réalisés en groupes de 4 étudiants maximum.

Support de cours, bibliographie

The main reference will be Speech and Language Processing. Jurafsky & Martin. Draft of 3rd edition online at <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/>

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

L'objectif de ce cours est de fournir une introduction au domaine du traitement du langage naturel. À la fin du cours, l'étudiant devra :

- savoir quelles sont les principales applications, pourquoi elles sont difficiles et comment elles peuvent être utilisées.
- avoir une bonne compréhension des méthodes éprouvées et de leur fonctionnement interne
- être exposé aux directions de recherche actuelles, et avoir les bases fondamentales pour être capable de suivre le domaine dans les années à venir.

3MD3070 – Apprentissage profond pour l'imagerie médicale

Responsables : **Maria Vakalopoulou, Fragkiskos Malliaros**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les technologies d'imagerie médicale fournissent des moyens inégalés pour étudier la structure et la fonction du corps humain in vivo. L'interprétation des images médicales est difficile en raison de la nécessité de prendre en compte des informations tridimensionnelles et variables dans le temps provenant de plusieurs types d'images médicales. L'intelligence artificielle (IA) est très prometteuse pour aider à l'interprétation, et l'imagerie médicale est l'un des domaines où l'IA devrait connaître les plus grands succès. Ces dernières années, les technologies d'apprentissage profond ont permis des avancées impressionnantes dans le traitement et l'interprétation des images médicales.

Ce cours couvre les aspects théoriques et pratiques de l'apprentissage profond pour l'imagerie médicale. Il couvre les principales tâches impliquées dans l'analyse d'images médicales (classification, segmentation, enregistrement, modèles génératifs...) pour lesquelles des techniques d'apprentissage profond de pointe sont présentées, aux côtés de certaines approches plus traditionnelles de traitement d'images et d'apprentissage automatique. Des exemples de différents types d'applications en imagerie médicale (cerveau, cardiaque...) seront également fournis.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Il n'y a pas de prérequis officiel pour ce cours. Cependant, les étudiants sont censés avoir des connaissances en statistiques, en apprentissage profond de base et en programmation informatique.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction à l'imagerie médicale
- Classification pour les données médicales
- Détection sur l'imagerie médicale
- Segmentation de l'imagerie médicale
- Validation, interprétation et reproductibilité
- Enregistrement des volumes médicaux
- Débruitage et reconstruction de l'imagerie médicale
- Modèles génératifs

Déroulement, organisation du cours

9 x 3h. En fonction du cours, soit 3h de cours, soit 1h30 de cours/ 1h30 de TP.

Pour les sessions pratiques (TPs), les étudiants doivent apporter leurs ordinateurs portables personnels.

Organisation de l'évaluation

Le cours sera évalué par le biais de travaux individuels et/ou de projets comprenant (rapport, code, présentation orale).

Support de cours, bibliographie

Datasets: Some of the public datasets for medical imaging can be found at:

- <https://github.com/beamandrew/medical-data>
- <https://sites.google.com/site/aacruzr/image-datasets> • <https://github.com/sfikas/medical-imaging-datasets> • <https://grand-challenge.org/challenges/>

Books:

- I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, "Deep Learning," 2016.
- Ch. Guy and D. Ffytche "An Introduction to the Principles of Medical Imaging", 2005.
- T. Hastie, R. Tibshirani and J. Friedman, "The Elements of Statistical Learning," 2008.
- Ch. M. Bishop, "Pattern Recognition and Machine Learning", 2006

Related Conferences:

- MICCAI (Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention)
- IPMI (Information Processing in Medical Imaging)
- ISBI (International Symposium on Biomedical Imaging)
- MIDL (Medical Imaging with Deep Learning)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Nous espérons qu'à la fin du cours, les étudiants pourront avoir une connaissance des techniques d'apprentissage profond les plus récentes pour l'imagerie médicale, une compréhension plus approfondie des méthodes d'apprentissage profond, applicables non seulement aux images médicales mais aussi à d'autres types de données, et sauront comment construire et valider des modèles d'apprentissage profond pour les images médicales.

3MD3080 – Morphologie mathématique moderne

Responsables : **Fragkiskos Malliaros**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La morphologie mathématique (MM) est une théorie non linéaire de l'analyse d'images développée à partir des années 1960 à l'Ecole des Mines, aujourd'hui Mines Paristech. Les principaux architectes de cette théorie sont Georges Matheron et Jean Serra.

L'idée maîtresse de MM est de partir de la théorie des ensembles et des relations d'ordonnement au lieu de l'algèbre linéaire pour ses opérateurs. En traitement d'images et en vision par ordinateur, pour de nombreux problèmes, l'algèbre linéaire est une limite. En particulier, il est difficile de modéliser les occlusions. La morphologie mathématique est utile dans de nombreux contextes, en particulier pour l'analyse d'images, qui permet d'effectuer des mesures à partir de données d'images.

La théorie classique de la morphologie mathématique part de la théorie des lacets dans le domaine con(nu). Cela entraîne des difficultés dues aux aspects topologiques. Une description moderne de la morphologie mathématique part de la théorie des graphes et construit des opérateurs discrets. Cela permet à ce cours de décrire des opérateurs transparents et leurs propriétés mathématiques, ainsi que des algorithmes efficaces et des applica(ons.

Ce cours commence par les opérateurs de base et se termine par des applica(ons d'apprentissage automatique. En par(culier, il est intéressant de noter que les réseaux neuronaux convolu(onnels, qui combinent convolu(on et ac(va(on, peuvent être interprétés comme des combina(ons d'opérateurs morphologiques.

Prérequis

Il y a peu de prérequis pour ce cours. Avoir suivi un cours de théorie des graphes et applica(ons est très utile ; de même que maîtriser le langage python et numpy. La connaissance des packages scikit-image, opencv et networkx est également utile.

Plan détaillé du cours (contenu)

Graphes et opérateurs sur les graphes ; propriétés et algorithmes

Opérateurs MM de base : no(on de la dila(on morphologique et de l'érosion ; Opérateurs MM algébriques ;

érosion et dila(on abstraites ; opérateurs MM

algébriques ; érosion et dila(on abstraites

Combina(ons d'opérateurs : ouverture, fermeture; extension aux graphes pondérés ;

Résidus : gradients, chapeau.

Opérateurs géodésiques ; reconstruc(on morphologique ; extension à la couleur et aux opérateurs mul(spectraux. opérateurs multispectraux

Géométrie discrète : opérateurs homotopiques invariants, amincissement et squelettes

Segmenta(on, coupes de graphes et opérateurs de bassins versants

Apprentissage profond et MM. Réseaux neuronaux binaires.

Les étudiants implémenteront les opérateurs MM à partir de zéro, puis utiliseront les implémenta(ons trouvées dans scikit-image et OpenCV pour des applica(ons.

Déroulement, organisation du cours

Le cours est très interactif, avec des conférences, des tutoriels et des applica(ons réalisés simultanément pendant une session. Il y a plus d'éléments magistraux au début du cours et plus d'applica(ons vers la fin.

Organisation de l'évaluation

Le cours est évalué par un court projet interactif.

Support de cours, bibliographie

[1] L. Najman and H. Talbot, editors. *Mathematical Morphology: from theory to applications*. ISTE-Wiley, London, UK, September 2010. ISBN 978-1848212152.

[2] Michel Schmitt and Julie MaKoli. *Morphologie mathématique*. Presses des MINES, 2013.

[3] J. Serra. *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Academic Press, 1982.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les étudiants qui suivent ce cours acquerront une meilleure compréhension des opérateurs et des mécanismes de vision de bas niveau, ainsi que du contexte mathématique qui les sous-tend.

Ils seront plus à même de développer et d'utiliser des pipelines de vision par ordinateur conçus et appris, en particulier comment les opérateurs linéaires et non linéaires peuvent se combiner pour fournir des applications de vision par ordinateur interprétables, cohérentes, efficaces et utiles.

3MD3210 – Statistique bayésienne et applications

Responsables : **Julien Bect, Fragkiskos Malliaros**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours comprend trois parties. La première est consacrée aux fondements de la statistique bayésienne. L'inférence bayésienne repose sur le choix d'un modèle bayésien, lui-même constitué d'un modèle des observations et d'une loi de probabilité a priori pour les paramètres du modèle. Étant donnée des observations, on calcule ce que l'on appelle une loi a posteriori des paramètres du modèle bayésien (à l'aide de la règle de Bayes). La connaissance de cette loi a posteriori permet ensuite d'accéder à la loi a posteriori des quantités d'intérêt. La deuxième partie du cours est consacrée aux techniques d'échantillonnage par chaînes de Markov (Monte Carlo Markov Chains). La troisième partie est consacrée aux applications de l'inférence bayésienne, en particulier aux problèmes inverses. Par problème inverse, on entend la détermination d'une grandeur (scalaire ou vectorielle) à partir d'observations indirectes (lorsque l'observation directe d'une grandeur physique n'est pas possible).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Statistique

Plan détaillé du cours (contenu)

- Statistique Bayésienne -- Modèle paramétrique. Loi a priori. Loi a posteriori. Performance d'un estimateur en moyenne (fonction de perte, risque). A priori diffus. A priori conjugués.
- Échantillonnage par chaînes de Markov -- Intégration en grande dimension. Principes élémentaires de simulations d'une variable aléatoire scalaire. Principe d'acceptation-rejet. Principes et variantes de l'algorithme de Metropolis-Hastings. Introduction aux chaînes de Markov et éléments d'analyse des algorithmes MCMC.
- Problèmes inverses -- Définition et exemples de problèmes inverses, problèmes mal posés. Régularisation et méthodes classiques d'inversion. Approche bayésienne de la résolution des problèmes inverses. Inversion dans le cas gaussien et filtre de Kalman. Approches MCMC et bayésiennes variationnelles. Applications.

Organisation de l'évaluation

Travaux pratiques

Support de cours, bibliographie

[1] C. Robert (2004) Monte Carlo Statistical Methods, Springer

[2] C. Robert (2007), The Bayesian Choice, Springer.

[3] A. Mohammad-Djafari (2010), Inverse Problems in Vision and 3D Tomography. Iste-Wiley

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le cours présentera aux étudiants les principes de base de la Statistique Bayésienne et ses applications.

3MD3220 – Apprentissage par renforcement

Responsables : **Fragkiskos Malliaros**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les méthodes d'apprentissage par renforcement (RL) sont à l'intersection de plusieurs domaines tels que l'apprentissage automatique, la théorie des probabilités, la théorie du contrôle ou la théorie des jeux. Elles étudient les compromis fondamentaux entre exploitation et exploration afin d'optimiser une récompense future dans un environnement inconnu.

Récemment, elles ont été appliquées avec succès à de nombreuses applications telles que des jeux complexes (Go ou Atari), le contrôle de robots, la sélection d'experts, conduisant dans de nombreux cas à des performances surhumaines dans ces contextes. Ce cours couvrira les outils nécessaires (d'un point de vue théorique et pratique) pour comprendre comment une telle percée a été possible.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Les étudiants doivent être familiarisés avec les concepts de base des probabilités, tels que la chaîne de Markov, ainsi qu'avec les fondements des concepts d'apprentissage automatique.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction à RL
2. PDM et programmation dynamique
3. Bandits
4. Outils d'évaluation
5. Outils de contrôle
6. RL avec approximations
7. S'aventurer dans la RL profonde

Déroulement, organisation du cours

Chaque section du cours sera soit un cours magistral de 1h30, soit un laboratoire de 1h30. Les laboratoires comprendront des sessions pratiques et des petits projets en python et donneront aux étudiants l'occasion de tester les concepts théoriques sur des exemples concrets.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours sera basée sur les éléments suivants :

- Devoirs : les devoirs comprendront des questions théoriques ainsi que des codes pratiques qui devront s'exécuter sur des notebooks jupyter.
- Projet : Les étudiants doivent former des groupes de 2 à 3 personnes, proposer un sujet pour leur projet (qui devra être validé), et soumettre un rapport final de projet.

Support de cours, bibliographie

- Sutton & Barto, Reinforcement Learning: An Introduction
- Szepesvari, Algorithms for Reinforcement Learning
- Bertsekas, Dynamic Programming and Optimal Control, Vols I and II
- Puterman, Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Ce cours a pour but d'initier les étudiants à la compréhension des concepts sous-jacents des algorithmes d'apprentissage par renforcement. Au-delà de la théorie, les étudiants auront l'opportunité de pratiquer l'apprentissage par renforcement via des sessions de laboratoire.

3MD3230 – Analyse de données multivariées avancée

Responsables : **Fragkiskos Malliaros, Arthur Tenenhaus**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les méthodes statistiques les plus classiques permettent l'analyse de données de la forme "individus \times variables". Cette structure de données est souvent trop limitée pour permettre de représenter des données plus complexes. A titre d'exemples, citons (i) les données de nature tensorielle où les mêmes variables sont observées selon plusieurs modalités (e.g. données spatio-temporelle) ou (ii) les données multi-tableau ou les individus sont caractérisés par des variables de nature hétérogène (e.g. données d'imagerie-génétique). Ce cours dresse un panorama des méthodes permettant l'analyse de ce type de données complexes.

Prérequis

Connaissances de bases en statistique, optimisation, algèbre linéaire

Plan détaillé du cours (contenu)

- Données tensorielle (PARAFAC, Tucker, Coupled Matrix Tensor Factorization, Régression Tensorielle, etc...)
- Données multi-tableau (Analyse canonique généralisée régularisée et cas particuliers)
- Méthodes à noyaux (e.g. kernel PCA, kernel GCCA).
- Modèles à équations structurels (SEM)

Déroulement, organisation du cours

Les méthodes présentées en cours seront mises en œuvre devant machine au travers des logiciels R ou Python.

Organisation de l'évaluation

Projets

Support de cours, bibliographie

Adachi, K. (2016). Matrix-based introduction to multivariate data analysis. Springer

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les étudiants acquerront un savoir-faire permettant l'analyse statistique de données aux structures complexes (e.g., données multi-tableau ou tensorielle).

3MD3250 – Apprentissage profond en pratique

Responsables : **Fragkiskos Malliaros**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les méthodes d'apprentissage profond constituent aujourd'hui l'état de l'art dans de nombreuses tâches d'apprentissage automatique et donnent des résultats impressionnants. Néanmoins, elles sont encore mal comprises, les réseaux de neurones sont encore difficiles à entraîner, et les résultats sont des boîtes noires manquant d'explications. Étant donné l'impact sociétal des techniques d'apprentissage automatique aujourd'hui (utilisées comme aide en médecine, processus d'embauche, prêts bancaires...), il est crucial de rendre leurs décisions explicables ou d'offrir des garanties. En outre, les problèmes du monde réel ne correspondent généralement pas aux hypothèses ou aux cadres standard des travaux universitaires les plus célèbres (quantité et qualité des données, disponibilité des connaissances des experts...). Ce cours vise à fournir des idées et des outils pour aborder ces aspects pratiques, sur la base de concepts mathématiques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Le seul prérequis pour ce cours est le cours d'introduction au Deep Learning de Vincent Lepetit (qui aura lieu au cours du 1er semestre), ainsi que des compétences en codage en python (car les exercices seront en PyTorch). Cependant, il est attendu des étudiants qu'ils aient quelques notions en théorie de l'information, statistiques bayésiennes, analyse, calcul différentiel.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction : le fossé entre la pratique et la théorie
2. Interprétabilité
3. Petites données et robustesse
4. Vers les problèmes du monde réel : de l'apprentissage synthétique par renforcement aux robots
5. Mise à l'échelle de l'apprentissage profond
6. Auto-DeepLearning
7. Conférences invitées de l'industrie

Contenu plus détaillé

Ce cours commencera par mettre l'accent sur les idées fausses théoriques, en exposant des cas où les réseaux de neurones n'atteignent pas les performances des techniques classiques, et aussi, à l'inverse, des cas explicites de succès de l'apprentissage profond avec des preuves de l'exigence de profondeur.

Nous étudierons ensuite différentes façons de visualiser ce que fait un réseau de neurones, afin d'interpréter ses décisions, et de vérifier qu'il ne reproduit pas les biais indésirables présents dans l'ensemble de données (comme la sensibilité à l'ethnicité lors de la mise en correspondance des CV et des offres d'emploi), ni ne divulgue des informations privées des personnes présentes dans l'ensemble de données.

Le reste du cours portera sur des questions pratiques lors de la formation de réseaux neuronaux, en particulier la quantité de données, les essais d'application de l'apprentissage profond à des problèmes réels d'apprentissage par renforcement, et le réglage automatique des hyperparamètres.

Déroulement, organisation du cours

Cours et exercices.

Organisation de l'évaluation

Les sessions de cours comprendront des exercices pratiques (trois mini-projets au total, en PyTorch), qui seront évalués.

Support de cours, bibliographie

1. *Deep Learning*, Ian Goodfellow and Yoshua Bengio and Aaron Courville, 2013
 2. *Why does deep and cheap learning work so well?*, Henry W. Lin, Max Tegmark, David Rolnick
 3. *Learning from Simulated and Unsupervised Images through Adversarial Training*, Ashish Shrivastava, Tomas Pfister, Oncel Tuzel, Josh Susskind, Wenda Wang, Russ Webb
- More references can be found on the webpage of the course.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le cours vise à présenter aux étudiants les problèmes courants dans la pratique quotidienne de l'apprentissage profond. Nous espérons qu'à la fin du cours, les étudiants seront en mesure de mieux comprendre les problèmes potentiels et de mieux définir leur configuration d'entraînement.

3MD3260 – Apprentissage automatique en science des réseaux

Responsables : **Fragkiskos Malliaros**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les réseaux (ou graphes) sont devenus omniprésents car les données provenant de diverses disciplines peuvent naturellement être mises en correspondance avec des structures de graphes. Les réseaux sociaux, tels que les réseaux de collaboration universitaire et les réseaux d'interaction sur les applications de réseautage social en ligne, sont utilisés pour représenter et modéliser les liens sociaux entre les individus. Les réseaux d'information, y compris la structure d'hyperliens du web et les réseaux de blogs, sont devenus des supports essentiels pour la diffusion de l'information, offrant un moyen efficace de représenter le contenu et de naviguer à travers lui. Une pléthore de réseaux technologiques, dont l'internet, les réseaux électriques, les réseaux téléphoniques et les réseaux routiers, font partie intégrante de la vie quotidienne. Le problème de l'extraction d'informations significatives à partir de données graphiques à grande échelle d'une manière efficace et efficiente est devenu crucial et difficile avec plusieurs applications importantes et, à cette fin, les méthodes d'exploration et d'analyse des graphes constituent des outils de premier plan. L'objectif de ce cours est de présenter les méthodes et algorithmes récents et de pointe pour l'analyse, l'exploration et l'apprentissage de données graphiques à grande échelle, ainsi que leurs applications pratiques dans divers domaines (par exemple, le web, les réseaux sociaux, les systèmes de recommandation).

Prérequis

Il n'y a pas de prérequis officiel pour ce cours. Cependant, on attend des étudiants qu'ils

- Avoir des connaissances de base en théorie des graphes et en algèbre linéaire.
- Être familiarisés avec les tâches fondamentales d'exploration de données et d'apprentissage automatique.
- Connaître au moins un langage de programmation (par exemple, Python ou tout autre langage de leur choix).

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction à la science des réseaux et à l'exploration des graphes ; propriétés de base des réseaux.
- Graphes aléatoires et phénomène du petit monde; distribution des degrés en loi de puissance et modèle d'attachement préférentiel.
- Critères de centralité et algorithmes d'analyse des liens.
- Regroupement de graphes et détection de communautés.
- Similitude des nœuds et prédiction des liens.
- Similitude des graphes.
- Apprentissage de la représentation sur les graphes.
- Processus épidémiques et comportement en cascade sur les réseaux ; maximisation de l'influence dans les réseaux sociaux.

Déroulement, organisation du cours

Chaque section du cours est divisée en 1h30 de cours magistral et 1h30 de laboratoire. Les laboratoires comprendront des travaux pratiques (utilisant Python) et donneront aux étudiants l'opportunité de traiter des tâches d'exploration de graphes en pratique.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours sera basée sur deux projets.

Support de cours, bibliographie

Most of the material of the course is based on research articles. Some of the topics are also covered by the following books:

- David Easley and Jon Kleinberg. *Networks, Crowds, and Markets*. Cambridge University Press, 2010.
- William L. Hamilton. *Graph Representation Learning*. Morgan and Claypool Publishers, 2020.
- Mark E.J. Newman. *Networks: An Introduction*. Oxford University Press, 2010.
- Deepayan Chakrabarti and Christos Faloutsos. *Graph Mining: Laws, Tools, and Case Studies*. Synthesis Lectures on Data Mining and Knowledge Discovery, Morgan and Claypool Publishers, 2012.
- Reza Zafarani, Mohammad Ali Abbasi, and Huan Liu. *Social Media Mining*. Cambridge University Press, 2014.
- Albert-Laszlo Barabasi. *Network Science*. Cambridge University Press, 2016.

Relevant conferences:

- NeurIPS: Neural Information Processing Systems
- ICML: International Conference on Machine Learning
- ICLR: International Conference on Learning Representations
- SIGKDD: ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining
- AAAI: Association for the Advancement of Artificial Intelligence
- IJCAI: International Joint Conference on Artificial Intelligence
- ICDM: International Conference on Data Mining
- WWW: International World Wide Web Conferences
- WSDM: International Conference on Web Search and Data Mining

Moyens

Cours magistraux, séances de laboratoire, projets d'équipe

De plus amples informations sont disponibles sur le site web du cours : <https://fragkiskos.me/teaching/MLNS-S24>

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le cours vise à introduire les étudiants dans le domaine de l'exploration des graphes et de l'analyse des réseaux :

- Couvrant un large éventail de sujets, de méthodologies et d'applications connexes.
- En donnant aux étudiants l'opportunité d'acquérir une expérience pratique dans le traitement des données graphiques et des tâches d'exploration de graphes.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Nous espérons qu'à la fin du cours, les étudiants auront une compréhension approfondie des différentes tâches d'exploration et d'apprentissage des graphes, qu'ils seront capables d'analyser des données graphiques à grande échelle ainsi que de formuler et de résoudre des problèmes impliquant des structures de graphes.

3MD3270 – Visualisation de données

Responsables : **Fragkiskos Malliaros, Petra ISENBURG**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (PARIS-SACLAY), DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La quantité de données augmentant plus vite que la vitesse de traitement des ordinateurs, il devient plus difficile d'analyser ces données, de les comprendre à la fois au niveau global et à une échelle plus petite, et de prendre des décisions sur la base de ces données. La visualisation transforme les données en représentations visuelles qui permettent aux utilisateurs de les comprendre et de leur fournir des outils interactifs conçus pour naviguer et analyser efficacement ces représentations. Le cours introduit les étudiants au domaine de la visualisation, discute des différents types de visualisation en fonction du type de données analysées (données tabulaires, données hiérarchiques, graphiques, textes, données 3D), et enseigne le processus de construction d'outils d'analyse de données.

Prérequis

Il n'y a pas de prérequis officiel pour ce cours. Cependant, pour réussir dans ce cours, les étudiants doivent :

- avoir des connaissances de base en programmation
- être capable de travailler avec des tableaux de données de base (CSV) en utilisant des outils standards tels que MS Excel ou LibreOffice
- être capable et désireux d'apprendre une nouvelle API de traitement/visualisation de données, et de déboguer le code de manière indépendante et de résoudre les problèmes à l'aide de ressources en ligne.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction générale à la classe, introduction à la visualisation de l'information
2. Perception et couleur
3. Visualisation de données multidimensionnelles
4. Graphiques et arbres
5. Interaction
6. Raconter des histoires avec des données
7. Visualisation de texte
8. Visualisation de données en 3D

Déroulement, organisation du cours

Chaque bloc de cours comprend un cours magistral de 1h30 et un laboratoire de 1h30. Les cours magistraux introduisent les concepts de base, tandis que dans les laboratoires, les étudiants font des exercices pratiques et sont initiés aux travaux qu'ils accomplissent entre les réunions.

Organisation de l'évaluation

Nous évaluons le cours comme suit :

- Travaux : Les travaux sont des exercices pratiques réalisés en groupe, basés sur le matériel enseigné dans les conférences. Ils doivent être soumis entre deux réunions et seront évalués par les pairs. Les étudiants sont notés en fonction de leur participation à ce processus d'évaluation par les pairs. Les travaux doivent être remis à temps, sinon les étudiants ne reçoivent pas de retour d'information et perdent des points.
- Présentation du projet : Le résultat final de la série de travaux est présenté, et la présentation ainsi que le projet lui-même sont notés.

- Examen final : examen à choix multiples basé sur le contenu du cours.
- La note globale est répartie comme suit:
- Participation au feedback des pairs, remise des devoirs dans les délais : 10 %.
 - Projet de groupe final et sa présentation : 40%
 - Examen final : 50%

Support de cours, bibliographie

- Datasets: varying, to be chosen by the students Software tools for data visualization: <https://p5js.org/>, <https://plotly.com/>, <https://matplotlib.org/>, and similar
- Related conference: IEEE Conference on Visualization <http://ieevis.org/>
- Related courses: computer graphics, human-computer interaction, visual analytics, scientific visualization

Moyens

Devoirs, présentations de projets, examen final.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre la nécessité de la visualisation pour donner un sens aux données

- o comprendre les différents types de données et leurs besoins en matière de visualisation
- o comprendre les implications du système visuel humain pour la visualisation
- o Connaître les différents types de représentations visuelles
- o comprendre la nécessité et le potentiel de l'interactivité pour la visualisation
- o acquérir une expérience pratique par le biais d'un projet de groupe, en développant un outil de visualisation pour un ensemble de données choisi par l'étudiant.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Nous espérons qu'à la fin du cours, les étudiants auront une compréhension approfondie des techniques de visualisation des données.

3MD3500 – Projet MDS

Responsables : **Erick Herbin, Fragkiskos Malliaros, Pauline Lafitte**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Voir http://math.centralesupelec.fr/sites/math/files/inline-files/projet_recherche_MDS_2023-2024.pdf

Prérequis

Non

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Voir le document en ligne.

3MD4010 – Algorithmes en science des données

Responsables : **Frederic Pennerath**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **22,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présente certaines briques algorithmiques particulièrement utiles et efficaces pour traiter des données. En premier lieu, le cours introduit les techniques d'inférence variationnelle et d'échantillonnage qui sont utilisés en statistique pour estimer de façon approchée les paramètres des modèles les plus complexes. Ces techniques sont mises en œuvre en TP sur des exemples de complexité croissante, en s'appuyant sur la bibliothèque logicielle PyTorch utilisée dans le cours sur l'apprentissage profond. Le cours présente en complément différents sujets, comme l'architecture et les algorithmes des moteurs de recherche d'information et des systèmes de recommandation, l'analyse de réseaux sociaux ou encore les structures de données du "data sketching" utilisés pour analyser les grands flux de données.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- Avoir suivi les cours "Apprentissage automatique" et "Modèles statistiques 1"

Plan détaillé du cours (contenu)

Volume : 13,5h de cours, 9h de TP

Cours :

- Inférence variationnelle et algorithmes d'échantillonnage (4,5h)
- Applications : apprentissage profond bayésien et autoencodeurs variationnels (3h)
- Algorithmes de recherche d'information : index inversé, modèle booléen, vectoriel, etc (1,5h)
- Algorithmes des systèmes de recommandation (1,5h)
- Algorithmes d'analyse de réseaux sociaux (1,5h)
- Algorithmes d'analyse de flux de données (1,5h)

TP :

- Exercices sur l'échantillonnage 1/2
- Exercices sur l'échantillonnage 2/2
- Programmation statistique 1/4
- Programmation statistique 2/4
- Programmation statistique 3/4
- Programmation statistique 4/4

Déroulement, organisation du cours

Chaque séance de cours dure 1,5h et est suivi d'une séance de TP de 1,5h de mise en application de certaines notions vues en cours.
Programmation en Python.

Organisation de l'évaluation

Les étudiants participeront en équipe à un challenge en science des données. Les livrables à remettre seront une vidéo de 30 minutes résumant le problème, la solution et les résultats produits ainsi que le code documenté. L'évaluation portera entre autres sur la valeur ajoutée du travail bibliographique, la pertinence des choix de conceptions, la qualité de la réalisation et la conduite du projet.

Support de cours, bibliographie

- Supports de présentation du cours.
- "Introduction to Information Retrieval" de C. Manning, P. Raghavan et H. Schütze, (Cambridge University Press, 2008)
- "Mining of Massive Datasets" de J. Leskovec, A. Rajaraman, JD Ullman (Cambridge University Press, 2014)
- "Algorithmic aspects of machine learning", A. Moitra (Cambridge University Press, 2018)

Moyens

- Enseignants: Frédéric Pennerath (Cours, TD, TP), Mohammed Fellaji (TP)
- TP sur PC Linux / Python
- 2 groupes de TP
- 2 étudiants max par PC

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Mettre en œuvre les techniques d'inférence approximative pour exploiter des modèles statistiques complexes.
- Appréhender le contexte général ainsi que le fonctionnement des algorithmes mis en jeu dans différents domaines du traitement de données comme la recherche d'information, les systèmes de recommandation, l'analyse de réseaux sociaux ou le traitement de flux de données.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.3 - Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation
- C6.5 - Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives
- C6.6 - Comprendre l'économie numérique

3MD4020 – Traitement du son (parole et musique)

Responsables : **Stephane Rossignol**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **20,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de cet enseignement est d'exposer le corpus des méthodes d'analyse des signaux sonores musicaux et de parole. L'analyse, la modélisation, la synthèse, le codage et la reconnaissance de la parole sont traités. Des mesures, annexes mais nécessaires pour les méthodes décrites ci-dessus, sont-elles aussi étudiées : le pitch, le voisement, le calcul des MFCC, le calcul de la DTW, la détection d'activité vocale... Quelques méthodes d'analyse spectrale doivent être étudiées plus en profondeur.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Traitement du signal (1CC4000)

Statistique et apprentissage (1CC5000)

Système d'information et programmation (1CC1000)

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours Magistral, 9H

1. introduction au traitement des sons (perception et production des sons...)
2. analyse spectrale pour l'analyse des sons (non-paramétrique/modèles AR(MA)/projections sur l'espace-bruit)
3. modélisation et analyse de la parole
4. reconnaissance de la parole
5. reconnaissance de la parole (Deep learning)
6. suppléments : synthèse et codage de la parole et de la musique, détection d'activité vocale ; reconnaissance du locuteur ; dialogue homme machine ; pitch tracking parole/musique ; voisement ; ...
7. conclusion

TD/TL, 9H

1. BE (3h00) : mise en oeuvre de PSOLA (Pitch Synchronous Overlap and Add), avec ce qui accompagne l'algorithme : détection activité vocale et/ou pitch tracking et/ou mesure de voisement
2. BE (3h00) : mise en œuvre d'un système complet : MFCC+DTW
3. BE (3h00) : mise en œuvre d'un système complet : Deep learning (RNN et LSTM)

Examen : les BEs

Déroulement, organisation du cours

9h Cours magistral

9h Travaux dirigés/Travaux de laboratoire : 3 BE de 3 heures

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu (50% de la note ; note individuelle) et exposé oral à la toute fin du long TP (50% de la note). TP : note par binôme ; différenciée en cas d'anomalie dans un binôme.

Support de cours, bibliographie

Transparents

Moyens

- Equipe enseignante : Stéphane Rossignol
- Taille des TD : 34
- Taille max des TP : 34
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Matlab (34 licences) /Octave/Python
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : salles sur le campus de Metz

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Concevoir une chaîne de traitement du signal complète.
- Comparer les performances des divers outils à notre disposition pour l'analyse des séries temporelles compliquées, afin de choisir celui qui conviendra le mieux pour tel ou tel signal à analyser.
- Programmer dans un langage interprété (Matlab/octave/python/...).
- Connaître les principes de base et approfondis du traitement du signal analogique et du signal numérique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.1 : Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines.
- C2.3 : Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres.
- C3.6 : Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées.
- C9.4 : Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques.

3MD4030 – Traitement des images

Responsables : **Jean-Luc Collette**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **20,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objet de donner une vue d'ensemble du traitement des images.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Traitement du signal, représentation des signaux aléatoires.

Plan détaillé du cours (contenu)

Capteur d'image (grandeurs optiques), échantillonnage et numérisation, transformations sur les images, attributs sur les images, classification.

Déroulement, organisation du cours

Cours et travaux pratiques en alternance.

Cours magistraux : 7x1h30

Travaux pratiques : 3x3h00

Organisation de l'évaluation

Compte-rendu écrit de travaux pratiques.

Support de cours, bibliographie

Petrou M. "Image processing : The fundamentals" – John Wiley & sons 2003.

Rosenfeld A. "Multiresolution image processing and analysis" – Springer-Verlag 1984.

Pratt W. "Digital Image Processing" – John Wiley & sons 1978.

Cocquerez JP, Philipp S. "Analyse d'images : filtrage et segmentation" – Masson, 1995.

Moyens

Professeur associé pour les travaux pratiques : Jean-Louis Gutzwiller. Logiciels : Matlab et Python.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- être capable d'extraire et d'exploiter les données contenues dans les images
- être capable d'analyser les images en choisissant des méthodes appropriées

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles
C6.4 Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

3MD4040 – Apprentissage profond

Responsables : **Jeremy Fix**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'apprentissage profond est une technologie en plein essor ces dernières années, notamment grâce à l'utilisation des GPUs (Graphical Processing Units), la disponibilité de grandes masses de données mais aussi la compréhension d'éléments théoriques permettant de mieux définir des architectures de réseaux de neurones plus facilement entraînaibles. Dans ce cours, les étudiants seront introduits aux bases des réseaux de neurones et également aux différents éléments architecturaux qui permettent de concevoir un réseau de neurones en fonction du problème de prédiction considéré. Le cours est décomposé en modules dans lesquels on aborde les questions des algorithmes d'optimisation, leur initialisation, les techniques de régularisation, les architectures complètement connectées, les réseaux convolutifs, les réseaux récurrents, les techniques d'introspection. Des travaux pratiques sur GPUs sont associés aux cours.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

On supposera que les étudiants auront des connaissances en algèbre linéaire, en optimisation, en vision par ordinateur et en programmation python. Les étudiants doivent disposer d'une certaine aisance dans un environnement Linux.

Plan détaillé du cours (contenu)

Les sujets abordés seront les suivants:

- Introduction historiques aux réseaux de neurones, classifieur/régresseur linéaire (1.5 HPE)
- Graphe de calcul et descente de gradient, Réseaux complètement connectés, RBFs, Auto-encodeurs, Méthodes d'optimisations, initialisation, régularisation (3 HPE)
- Réseaux convolutifs: architectures (1.5 HPE)
- Réseaux convolutifs : classification, détection d'objet, ségmentation sémantique (1.5 HPE)
- Réseaux récurrents: architectures et entraînement (1.5 HPE)
- Réseaux récurrents: applications (1.5 HPE)
- Introduction aux réseaux génératifs et probabilistes (RBM, Deep Belief Networks) (1.5 HPE)

Les TP porteront sur :

- Introduction à pytorch par la classification avec des réseaux linéaires, complètement connectés et convolutifs (3 HPE)
- Réseaux convolutifs pour la ségmentation sémantique (3 HPE)
- Réseaux récurrents pour la conversion séquence à séquence (3 HPE)
- Réseaux génératifs adversariaux (3 HPE)

Déroulement, organisation du cours

Le cours est construit autour d'un cours magistral pendant lequel les notions théoriques et expérimentales sont

introduites et illustrées au travers d'exemple. Des TPs sont régulièrement répartis le long du cours pour pouvoir mettre en œuvre les notions vues en cours.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du module passe par la participation, en équipe, à un challenge créé pour l'occasion. Les élèves devront également réaliser une présentation filmée décrivant leur approche et leurs résultats.

Support de cours, bibliographie

- Deep learning book, Ian Goodfellow, Aaron Courville, and Yoshua Bengio, MIT Press : <http://www.deeplearningbook.org/>
- CS231n, Stanford, <http://cs231n.stanford.edu/>
- Practical deep learning for coders : <https://course.fast.ai/>

Moyens

- Jérémy Fix, Enseignant, Encadrant de TP
- Joël Legrand, Encadrant de TP

Nous utiliserons le framework python Pytorch. Les étudiants pourront travailler en binôme et disposeront des GPUs du Data Center d'Enseignement du campus de Metz pour faire les TPs.

Une page dédiée sera créée sur eduno. Des forums de discussion seront ouverts pour permettre aux étudiants de poser leurs questions sur le cours et d'interagir entre eux et avec l'équipe enseignante.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Être capable d'implémenter et de déployer un algorithme de deep learning (prise en main des frameworks de deep learning et déploiement du calcul du GPU)
- Être capable de choisir l'architecture de réseau de neurones adaptée au problème de prédiction considéré
- Savoir diagnostiquer l'apprentissage d'un réseau de neurones (qu'apprends le réseau de neurone ? comment l'apprend t'il ? apprend t'il ? est-il capable de généraliser ?)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.4, Jalon 2
- C3.6, Jalon 1
- C3.7, Jalon 2

3MD4050 – Modèles statistiques 2 - MTZ

Responsables : **Frederic Pennerath**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **29,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les cours "Modèles statistiques pour l'apprentissage automatique" ModStat1 et ModStat2 abordent le problème de l'apprentissage automatique sous l'angle des modèles probabilistes et de l'estimation statistique. Si les cours présentent les modèles et les méthodes les plus utiles dans ce contexte, ils ne se veulent pas être un catalogue exhaustif.

L'objectif est davantage de présenter au sein d'une théorie cohérente les concepts et outils théoriques communs à l'ensemble de ces modèles et méthodes et de montrer comment à partir d'hypothèses de modélisation propres à chaque type de problème traité, ces concepts sont assemblés logiquement avant d'aboutir à une méthode d'apprentissage opérationnelle.

L'enjeu est non seulement de donner aux étudiants les moyens de comprendre et d'utiliser les modèles existants à bon escient mais aussi de concevoir de nouveaux modèles (ou à défaut d'adapter des modèles existants) pour répondre aux particularités de problèmes nouveaux.

Les cours auront pour autre objectif de réaliser un continuum de la théorie à la pratique, que ce soit en cours ou en TP : sont d'abord identifiées les hypothèses associées à une classe de problèmes donnée, s'ensuit un travail théorique de modélisation, qui conduit à définir un modèle et ses algorithmes d'estimation. Ces résultats font alors l'objet d'un travail d'implémentation (en Python) et d'évaluation sur des données.

Le cours ModStat1 introduira les outils de bases de la modélisation statistique quand le cours ModStat2 se concentrera sur les modèles à variables cachées.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- Connaissances de base en théorie des probabilités, statistique et apprentissage machine (machine learning)
- Niveau débutant en programmation Python / Numpy

Plan détaillé du cours (contenu)

Volume total : 12 h. de cours, 3 h. de TD, 12 h. de TP et 2 h. d'examen écrit

Cours (12h)

- Processus gaussiens (1,5h)
- Modèles à variables cachées et algorithme EM (1,5h)
- Modèles de mélange. Exemple des mélanges de gaussiennes (GMM) (1,5h)
- Processus et chaînes de Markov, modèles de Markov cachés (3h)
- Filtre de Kalman, EKF, UKF et filtres particuliers (3h)
- Causalité (1,5h)

TD (3h)

- HMM (1,5h)
- Filtres de Kalman (1,5h)

TP (12h)

- Processus gaussien (3h)
- Modèles de mélange (3h)

- HMM (3h)
- Filtres de Kalman et particuliers (3h)

Examen écrit (2h)

Déroulement, organisation du cours

- Les cours font appel dans la mesure du possible à des démos ou des exemples pour illustrer les concepts abstraits.
- Des TD (1,5h) et TP sur machine (3h) permettent de mettre en application d'un point de vue théorique et pratique les chapitres du cours.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de 2h avec document portant sur la résolution d'exercices et de problèmes de modélisation statistique.

Support de cours, bibliographie

- Support de cours (Présentation du cours, polycopié)
- "Machine Learning – A Probabilistic Perspective" de Kevin Murphy (MIT Press, 2012)
- "Bayesian Reasoning and Machine Learning" de David Barber (Cambridge University Press, 2012)
- "All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference" de Larry Wasserman (Springer-Verlag, 2004)

Moyens

- Enseignants : Frédéric Pennerath (Cours, TD, TP), Joël Legrand (TP)
- Programmation avec Python et ses bibliothèques standards.
- 1 groupe de TD
- 2 groupes de TP
- 2 étudiants max par PC

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Etre capable de choisir un modèle/ une méthode statistique adaptée au problème considéré et de la mettre en oeuvre de façon appropriée.
- Etre capable de comprendre les concepts théoriques sous-jacents à une méthode d'inférence statistique présentée dans un article scientifique.
- Etre capable d'implémenter un modèle / une méthode statistique dans un langage tel que Python.
- Etre capable d'adapter un modèle / une méthode pour tenir compte des spécificités du problème traité.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.2 - Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème
- C2.1 - Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur
- C6.4 - Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

3MD4110 – Programmation GPU

Responsables : **Stephane Vialle**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **20,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de présenter l'algorithmique et la programmation à haute performance sur GPU, avec des mises en œuvre sur des algorithmes de Machine Learning, et sur des plates-formes de calculs équipées de GPU.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Cours commun de 1A : Systèmes d'Information et Programmation (1CC1000)
- Cours commun de 1A : Algorithmique & Complexité (1CC2000)
- Cours de Programmation Avancée en C++ (3MD1020) de la mention SDI à Metz
- Cours d'Apprentissage Automatique (3MD1040) de la mention SDI à Metz

Plan détaillé du cours (contenu)

- Architecture des GPU
- Principes algorithmiques du parallélisme de données à grain fin sur GPU (modèles SIMD et SIMT)
- Programmation en CUDA
- Optimisations de codes GPU et CPU-GPU, en CUDA
- Conception et mise en œuvre d'un algorithme de K-means sur GPU

Déroulement, organisation du cours

Cours structuré en 3 parties :

- 2 parties de développement en CUDA (bases et concepts avancés), contenant chacune du cours et des mises en œuvre sur machines
- Une partie sur le développement en CUDA d'un algorithme de K-means, contenant un TD et des mises en œuvre sur machines

Répartition globale : CM : 6h00, TD : 2h30, TP : 11h30 (total 20 HPE)

Plan du cours :

- Partie 1 : Architecture des GPU, et principes d'algorithmique et de programmation CUDA
 - CM : 3h00, TD : 1h30, TP : 3h00
- Partie 2 : Optimisation de codes CUDA, et utilisation de bibliothèques
 - CM : 3h00, TP : 3h00
- Partie 3 : K-means sur GPU
 - TD: 1h00, TP Part-1: 2h30, TP Part-2 : 3h00

Organisation de l'évaluation

Evaluation à partir des TP des parties 2 et 3

- **Comptes rendus des TP des parties 2 et 3** (le contenu et le nombre de pages des comptes rendus sont contraints, afin de forcer les étudiants à un effort de synthèse et de clarté)
- En cas d'absence non justifiée à un TP la note de 0 sera appliquée, en cas d'absence justifiée la moyenne des autres TP sera appliquée.
- L'examen de rattrapage sera un examen oral qui constituera 100% de la note de rattrapage.

Support de cours, bibliographie

- Slides de l'enseignant
- J. Sanders and E. Kandrot. "CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming". NVIDIA. 2010.

Moyens

- Equipe enseignante : **Stéphane Vialle**.
- Plateforme de développement et d'exécution : **serveurs de GPU du Data Center d'Enseignement du campus de Metz de CentraleSupélec**.
- Environnements de développement **CUDA** de NVIDIA.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- A la fin de ce cours les élèves seront en mesure :
- **AA1** : d'analyser l'adéquation d'une solution mathématique avec une implantation et une exécution sur GPU,
- **AA2** : de concevoir un algorithme sur GPU, ou d'adapter un algorithme pour qu'il soit plus efficace sur GPU,
- **AA3** : de concevoir des algorithmes hybrides CPU-GPU avec des recouvrement des transferts de données et des calculs
- **AA4** : d'implanter des algorithmes et de mettre au point des codes sur GPU
- **AA5** : d'analyser et de décrire synthétiquement des solutions sur GPU

Description des compétences acquises à l'issue du cours

La conception d'algorithmes et de codes sur GPU reste originale, et impose :

- **d'étendre les deux compétences suivantes** :
 - **C6.3** : Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel
 - **Jalon 3** : développement de logiciels parallèles (cas des logiciels massivement parallèles sur GPU)
 - En lien avec les acquis d'apprentissage **AA2, AA3, AA4**
 - **C6.4** : Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle
 - **Jalon 2** : exploitation d'architectures parallèles (cas de l'architecture parallèle massive à grain fin des GPU)
 - En lien avec l'acquis d'apprentissage **AA1**
- **de savoir présenter clairement son approche logicielle originale à ses collègues** :
 - **C7.1** : Convaincre sur le fond. Être clair sur les objectifs et les résultats attendus. Être rigoureux sur les hypothèses et la démarche. Structurer ses idées et son argumentation. Mettre en évidence la valeur créée
 - **Jalon 1** : évalué à partir d'un rapport ou d'une présentation d'une solution dans le cadre des enseignements "classiques"
 - En lien avec l'acquis d'apprentissage **AA5**

3MD4120 – Apprentissage par renforcement

Responsables : **Herve Frezza-Buet**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **23,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours présente les bases théoriques de l'apprentissage par renforcement ainsi que les principes des algorithmes les plus courants. Par le biais de travaux pratiques, ces éléments seront étendus à des situations plus complexes, permettant d'introduire les algorithmes les plus récents ayant, par exemple, permis à l'ordinateur de maîtriser le jeu de Go.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Ce cours requiert des notions élémentaires d'algèbre linéaire et de théorie des probabilités. Pour les travaux pratiques, une bonne connaissance de python (numpy) est nécessaire. Le dernier TP s'appuie sur une maîtrise pratique de l'apprentissage profond avec pytorch.

Plan détaillé du cours (contenu)

L'apprentissage par renforcement est introduit en s'appuyant sur le cadre formel des Processus Décisionnels de Markov. Après avoir montré l'existence et l'unicité d'une solution sous la forme de la fonction valeur, nous aborderons les algorithmes classiques permettant de calculer cette fonction. Nous verrons ensuite comment des méthodes approchées (approximation linéaire, estimation de Monte Carlo, bandits, apprentissage profond) permettent de s'attaquer à des contextes plus complexes.

Déroulement, organisation du cours

Dans la mesure du possible (taille du groupe), les cours magistraux seront les plus interactifs possibles et auront comme objectif de présenter les notions théoriques et algorithmiques qui sous-tendent l'apprentissage par renforcement. Les travaux pratiques ont pour but de vraiment se confronter aux méthodes en implémentant et testant les algorithmes pour mieux en saisir le fonctionnement et les limites.

Organisation de l'évaluation

Le module sera évalué par un examen écrit, où l'idée est de tester la capacité de l'étudiant à utiliser intelligemment des méthodes, à analyser les résultats d'un algorithme, etc.

Support de cours, bibliographie

Le cours s'accompagne d'un support écrit en anglais, au sein duquel les références bibliographiques du domaine sont citées.

Moyens

Cours et travaux pratiques sont assurés par Alain DUTECH, Hervé FREZZA-BUET and Jérémy FIX. Les travaux pratiques s'appuieront sur le langage python et ses bibliothèques scientifiques.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre les fondements théorique de l'apprentissage par renforcement.
- Mettre en œuvre ces méthodes de façon adaptée en fonction des problèmes à résoudre.
- Aiguiser son esprit critique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C3.5, Jalon 1 : Proposer des solutions/outils nouveaux soit en rupture soit en progrès continu

C3.6, Jalon 1 : Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées

C3.7, Jalon 2 : Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles.

3MD4130 – Modèles de calcul du Big Data

Responsables : **Stephane Vialle**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif d'apprendre aux élèves à développer des applications performantes d'analyse de données en environnement Spark sur des plates-formes distribuées (clusters et Clouds). Des mécanismes de systèmes de fichiers distribués comme HDFS seront étudiés, ainsi que le modèle de programmation et l'algorithmique du "map-reduce étendu" de Spark au-dessus des Spark "RDD", puis des modèles de programmation de plus haut niveau au-dessus de Spark "Data Frames", et enfin des modèles de programmation sur Cloud. Des critères et métriques de passage à l'échelle seront également étudiés. Tout au long du cours des mises en œuvre auront lieu sur des clusters et dans un Cloud, et les solutions développées seront évaluées par les performances obtenues sur les cas-tests, et par leur aptitude à passer à l'échelle.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Cours commun de 1A : Systèmes d'Information et Programmation (1CC1000)
- Cours commun de 1A : Algorithmique & Complexité (1CC2000)
- Cours de la mention SDI Metz : Ingénierie des données et du logiciel (3MD1510)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Emergence des technologies Big Data : motivations, besoins industriels, principaux acteurs.
- Pile logicielle d'Hadoop, architecture et fonctionnement de son système de fichier distribué (HDFS)
- Architecture et mécanisme de déploiement de calculs distribués de Spark
- Modèle de programmation par "RDD" et algorithmique du "map-reduce" étendu de Spark
- Modèle de programmation de Spark par "Data Frames" appliqué à l'analyse de graphes (GraphX)
- Architecture et environnement d'analyse de données sur *Cloud*
- Expérimentations et mesures de performances
- Critères et métriques de performances

Déroulement, organisation du cours

Ce cours enchaîne 3 parties relatives à des modèles de calculs du "Big Data" : la première sur clusters de PC, la seconde dans les *Cloud*, et la troisième qui évalue des solutions de "passage à l'échelle".

Répartition globale : CM : 10h30, TD : 1h30, TP : 9h00 (total 21,00 HPE)

Plan du cours en 4 parties :

- Partie 1 : Architecture et développement en Spark RDD sur HDFS et clusters de PC.
 - CM : 4h30, TD : 1h30, TP : 3h00
- Partie 2 : Critères et métriques pour la performance et le passage à l'échelle.
 - CM : 1h30
- Partie 3 : Calcul et analyse de données large échelle sur *Cloud*.
 - CM : 3h00, TP : 3h00

- Partie 4 : Développement en Spark Data Frames sur HDFS et clusters de PC.
 - CM : 1h30, TP : 3h00

Organisation de l'évaluation

Evaluation à partir des TP :

- **Les comptes rendus des TP seront notés** (le contenu et le nombre de pages des comptes rendus sont contraints, afin de forcer les étudiants à un effort de synthèse et de clarté)
- En cas d'absence non justifiée à un TP la note de 0 sera appliquée, en cas d'absence justifiée le TP n'interviendra pas dans la note finale.
- L'examen de rattrapage sera un examen oral, qui constituera 100% de la note de rattrapage.

Support de cours, bibliographie

- Slides des enseignants
- BcD NoSQL :
 - Kristina Chorodorw. MongoDB. The Definitive Guide. 2nd edition. O'Reilly. 2013.
 - Rudi Bruchez. Les bases de données NoSQL et le Big Data. 2ème édition. Eyrolles. 2016.
- Hadoop & Map-Reduce :
 - Tom White. Hadoop. The definitive Guide. 3rd edition. O'Reilly. 2013.
 - Donald Miner and Adam Shook. MapReduce Design Patterns. O'Reilly. 2013.
- Spark :
 - M. Zaharia, M. Chowdhury, T. Das, A. Dave, J. Ma, M. McCauley, M.J. Franklin, S. Shenker, and I. Stoica. Resilient Distributed Datasets : A Fault-tolerant Abstraction for In-memory Cluster Computing. In Proceedings of the 9th USENIX Conference on Networked Systems Design and Implementation, NSDI'12, 2012.
 - H. Karau, A. Konwinski, P.Wendell, and M.Zaharia. Learning Spark. O'Reilly, 1st edition, 2015.
 - H. Karau and R. Warren. High Performance Spark. O'Reilly, 1st edition, 2017.

Moyens

- Equipe enseignante : **Stéphane Vialle** et **Gianluca Quercini** (CentraleSupélec), **Wilfried Kirschenmann** (ANEO)
- Plateforme de développement et d'exécution :
 - **clusters de calcul du Data Center d'Enseignement (DCE)** du campus de Metz de CentraleSupélec
 - **accès à un Cloud professionnel**
- Environnements de développement :
 - **Spark + HDFS sur le DCE**
 - **autre environnement sur le Cloud**

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves seront en mesure :

- **AA1** : de concevoir et d'implanter des algorithmes "map-reduce étendu" en Spark, efficaces sur des plateformes distribuées, et passant à l'échelle.
- **AA2** : d'analyser les capacités de "passage à l'échelle" d'une application
- **AA3** : d'utiliser un cluster ou un cloud pour réaliser des analyses de données distribuées à large échelle.
- **AA4** : de présenter synthétiquement une solution d'analyse de données conçue en "map-reduce"

Description des compétences acquises à l'issue du cours

La conception d'algorithmes et de codes "map-reduce" aptes au passage à l'échelle permet :

- d'étendre l'acquisition de 2 compétences :
 - **C6.3** : Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel
 - **Jalon 3** : développement de logiciels parallèles (cas des logiciels passant à l'échelle du "Big Data")
 - En lien avec les acquis d'apprentissage **AA1**, **AA2**
 - **C6.4** : Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

- **Jalon 2** : exploitation d'architectures parallèles (cas des architectures distribuées large échelle du "Big Data")
- En lien avec l'acquis d'apprentissage **AA3**
- d'acquérir une compétence permettant de présenter clairement son approche logicielle originale :
 - **C7.1** : Convaincre sur le fond. Être clair sur les objectifs et les résultats attendus. Être rigoureux sur les hypothèses et la démarche. Structurer ses idées et son argumentation. Mettre en évidence la valeur créée
 - **Jalon 1** : évalué à partir d'un rapport ou d'une présentation d'une solution dans le cadre des enseignements "classiques"
 - En lien avec l'acquis d'apprentissage **AA4**

3MD4140 – Apprentissage statistique

Responsables : **Michel Barret**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **23,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'apprentissage supervisé a pour objectif de proposer des méthodes qui, à partir d'une base d'exemples, permettent de prendre une décision portant sur un paramètre à partir d'observations, la décision devant être la meilleure possible en moyenne. Par exemple, classifier des images suivant leur contenu, c'est-à-dire décider si une image représente un chat, un chien, ou autre chose. Nous présenterons formellement le problème et étudierons les garanties de généralisation des algorithmes d'apprentissage supervisé, c'est-à-dire la qualité de prédiction de la sortie associée à une entrée non présente dans la base d'entraînement. Pour atteindre cet objectif, nous introduirons les concepts d'espace d'hypothèses ayant la capacité d'apprentissage PAC (probablement approximativement correcte), de dimension Vapnik-Chervonenkis d'un espace d'hypothèses. Nous énoncerons et démontrerons deux théorèmes fondamentaux de la théorie de l'apprentissage supervisé donnant une borne inférieure et une borne supérieure du risque réel au problème de classification binaire.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- cours de *Probabilités* de 1A (CIP-EDP, 1SL1000)
- cours de *Statistique et apprentissage* de ST4 (1CC5000)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Formalisation du problème de l'apprentissage supervisé
- Capacité d'apprentissage PAC et convergence uniforme
- Le dilemme biais-complexité
- La dimension VC (Vapnik-Chervonenkis) d'un espace d'hypothèse
- Deux théorèmes fondamentaux de l'apprentissage supervisé

Déroulement, organisation du cours

10,5h de cours magistraux + 10,5h de travaux dirigés + examen écrit de 2h

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de 2h avec documents

Support de cours, bibliographie

S. Mallat, L'apprentissage face à la malédiction de la grande dimension, Cours du Collège de France, 2018.

S. Shalev-Shwartz et S. Ben-David, *Understanding Machine Learning, from theory to algorithms*, Cambridge University Press, 2014.

O. Catoni, Comment: Transductive PAC-Bayes Bounds Seen as a Generalization of Vapnik–Chervonenkis Bounds, *Measures of Complexity, Festschrift for Alexey Chervonenkis*, chap 10, Springer, 2015.

Moyens

Les travaux dirigés, constitués d'exercices, permettront d'utiliser les concepts vus en cours.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves devront être en mesure

- de comprendre et s'approprier des éléments de la théorie de l'apprentissage supervisé ;
- de comprendre et s'approprier le dilemme biais-complexité d'un espace d'hypothèses ;
- de comprendre et s'approprier les bornes bayésiennes PAC de l'apprentissage supervisé (en particulier celles du problème de classification binaire).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2 : Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

3MD4150 – Traitement du langage naturel

Responsables : **Joël Legrand**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **29,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le traitement automatique du langage (TAL) est une discipline, à la croisée de l'apprentissage automatique et de la linguistique, permettant d'exploiter automatiquement des données textuelles en langage naturel à l'aide d'outils informatiques.

Cet enseignement vise à introduire les concepts linguistiques, les méthodes et les outils permettant de manipuler et d'exploiter de grandes quantités de données textuelles.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Maîtriser les concepts de base de l'apprentissage automatique
- Avoir une expérience d'utilisation de librairie d'apprentissage profond (Tensorflow, pytorch, torch, ...)

Plan détaillé du cours (contenu)

Cet enseignement introduit les principales théories linguistiques permettant de modéliser le langage naturel (ex: grammaires formelles, grammaires de dépendances, ...).

Il présente les différents outils de traitement automatique de langues (TAL) disponibles ainsi que modèles statistiques à la base de ceux-ci.

L'accent sera notamment porté sur les méthodes d'apprentissage profond qui constituent l'état de l'art pour la plupart des tâches de TAL.

Déroulement, organisation du cours

Chaque séance comprendra une partie de cours magistral (CM) au cours duquel de nouvelles notions seront introduites, suivi d'une séance de travaux pratiques (TP) sur machine. Les TP seront des applications directes des notions vues en CM. L'ensemble du matériel pédagogique (support de CM et de TP) sera fourni aux étudiants.

Organisation de l'évaluation

Deux notes seront prises en compte pour l'évaluation de cet enseignement.

Evaluation 1 :

Type d'examen : Examen sur machine

Acquis d'apprentissage évalués: Utilisation des notions linguistiques et des outils informatiques introduits en cours.

Modalité : L'examen aura lieu en salle machine et comprendra une partie théorique sur les modèles statistiques à la base des outils de TAL. Il sera suivi d'une partie pratique de mise en application des outils et concepts linguistiques vus en cours, appliqués sur un problème réel.

Pourcentage : 50%

Evaluation 2: Projet

Type d'examen: Projet à rendre

Acquis d'apprentissage évalués: Utilisation des notions linguistiques et des outils informatiques introduits en cours. Faire preuve d'autonomie et de créativité face à un problème concret.

Modalité et retour : Le sujet ainsi que le barème de notation seront communiqués en milieu de module. Il s'agira d'exploiter des données issues de la plate-forme Kaggle fournissant des challenges en science des données, sur la base de problématiques industrielles réelles. Le projet sera à rendre en fin de module. Un retour sur le travail fourni sera rendu en même temps que la note.

Pourcentage : 50%

Support de cours, bibliographie

- Installation de la librairie d'apprentissage profond PyTorch: <https://pytorch.org/>
- Livre de référence sur l'apprentissage profond (en anglais) : <https://www.deeplearningbook.org/>
- Les outils d'analyse linguistique du groupe de TAL de Stanford: <https://nlp.stanford.edu/software/>
- La documentation du package NLTK pour Python: <https://www.nltk.org/>

Moyens

Les cours magistraux (CM) seront assurés par Joël Legrand et les séances de travaux pratiques (TP) par Joël Legrand et Jérémy Fix.

Les notions théoriques seront introduites en cours magistral (CM) puis mise en application lors de séances de TP sur machine.

Les TP se feront en majorité en python; les TP d'apprentissage profond se feront à l'aide de la librairie PyTorch (<https://pytorch.org/>).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Se familiariser avec les bases théoriques permettant de conceptualiser et de modéliser les phénomènes linguistiques.
- Maîtriser les outils essentiels du TAL (lemmatiseur, analyseurs syntaxiques, etc.).
- Acquérir une autonomie pour le traitement automatique de contenus textuels.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4, Jalon 2 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

C3.6, Jalon 1 : Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées

C8.1, Jalon 3 : Travailler en équipe/en collaboration

3MD4160 – Modèles parcimonieux

Responsables : **Herve Frezza-Buet**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **20,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours introduit les principes de transformation des données et de méthodes d'optimisation présents au cœur de l'apprentissage automatique et de la science des données sous l'angle des notions de parcimonie et de robustesse, appliquées à la compression de données numériques (mp3, jpg) et à la représentation par des modèles prédictifs etc., en faisant largement appel à l'expérimentation algorithmique, à l'intuition et à l'histoire des sciences.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Ce cours requiert des bases solides en algèbre linéaire et de son usage pour l'analyse des systèmes (quasi) linéaires et invariants en temps (de type filtrage) via l'analyse de Fourier (jusqu'à l'analyse harmonique), ainsi que de bonnes notions de probabilités empiriques (distributions statistiques, estimateurs). Pour les travaux pratiques, la connaissance d'un langage de scripting numérique (Matlab, Scilab, octave, Python, etc.) est requise.

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours présente un parcours en analyse de données et apprentissage via différents outils et méthodes parcimonieuses, visant à expliquer des observations par un nombre réduit de paramètres : métriques, descripteurs et transformations de données (normes, bases et trames de vecteurs, ondelettes) ; mise en œuvre dans des algorithmes de compression de données (audio, image, vidéo, texte) ; extension aux modèles de prédictions (moments statistiques, régressions linéaires et polynomiales, modèles parcimonieux ou robustes)

Déroulement, organisation du cours

Sur chaque thème abordé, les étudiants sont d'abord confrontés à un problème "jouet" pour lequel ils doivent mobiliser leurs connaissances, se poser des questions et implémenter des premiers algorithmes (par binôme). Dans un deuxième temps, après un échange sur cette première phase, des aspects théoriques, des preuves mathématiques et des outils algorithmiques sont présentés. Enfin, dans une troisième partie, les étudiants mettent en œuvre ces acquis sur un problème plus complexe.

Organisation de l'évaluation

Le module sera évalué par un examen oral par groupe de deux ou trois étudiants, avec fourniture préalable d'un rapport, sur un sujet intégratif, conçu pour mobiliser différentes compétences et méthodes acquises dans le cours. Si le nombre d'étudiants le permet, une structure de type projet, permettant aux groupes de collaborer, sera proposée.

Support de cours, bibliographie

Le cours s'accompagne d'un support multimédia en anglais, incluant des références bibliographiques, des vidéos

et des liens vers des réseaux sociaux techniques et scientifiques (de type StackOverflow/StackExchange)

Moyens

Les cours et travaux de pratiques sont donnés par Laurent Duval (ESIEE-Paris, Université Paris-Est Marne-la-Vallée et IFP Energies nouvelles). Les cours et travaux pratiques sont entremêlés, en utilisant des signaux, des images ou des données expérimentales allant de simples simulations à des données du monde réel.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre la motivation pratique et théorique d'algorithmes d'optimisation employés en apprentissage automatique et en science des données.
- Mettre en œuvre les algorithmes afférents de façon adaptée en comprenant leur sens en regard du problème posé.
- Faire le lien entre les différentes méthodes et les mettre en œuvre dans un flux de traitement de données.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétence C1.2, Jalon 2 : Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème : Savoir choisir le modèle adapté pour un problème donné, choisir l'échelle de modélisation

Compétence C2.5 - Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior)

Compétence C3.6 - Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées

Compétence C3.7 - Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles

3MD4500 – Projet MDS SDI - MTZ

Responsables : **Frederic Pennerath, Herve Frezza-Buet**

Département de rattachement : **MENTION SCIENCES DES DONNÉES ET DE L'INFORMATION (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet de fin d'étude est une réalisation permettant d'appliquer sur un sujet de type R&D les connaissances vues au cours de l'année.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9 SG10 SG11

Prérequis

Les cours du programme de la mention

Plan détaillé du cours (contenu)

Le contenu est très dépendent du sujet posé.

Déroulement, organisation du cours

Il s'agit de progresser au cours de réunions de travail avec les encadrants et les partenaires externes quand il y en a, pour remettre un livrable qui contienne les codes produits, dûment documentés, une étude bibliographique et la présentation des travaux réalisés.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fait au cours d'une soutenance orale finale et sur la base de l'examen des livrables. Une soutenance intermédiaire pourra être envisagée.

Moyens

Les élèves travaillent généralement par groupes de 2 à 4, sous la supervision d'un encadrant de CentraleSupélec ou d'un encadrant extérieur.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Identifier le type de méthode adaptée au problème concret qui est posé.
- Réaliser un état de l'art pertinent et bien présenté
- Concevoir et mettre en œuvre des solutions adaptées et originales.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C3.5, Jalon 1 : Proposer des solutions/outils nouveaux soit en rupture soit en progrès continu

C3.6, Jalon 1 : Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées

C3.7, Jalon 2 : Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles.

3MD5010 – Modèles stochastiques en finance

Responsables : **Ioane Muni Toke**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présente les fondements de la modélisation stochastique en temps continu en finance. Le développement de ces mathématiques financières accompagne l'essor des marchés financiers depuis plusieurs décennies, et les modèles stochastiques sont les outils de référence pour l'évaluation et la couverture des produits financiers.

Ce cours propose à la fois l'étude mathématique des modèles stochastiques fondamentaux et l'implémentation des méthodes numériques associées à leur résolution.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Rappels de calcul stochastique (intégrale stochastique, théorème de Girsanov)
- Modèle de Black & Scholes. Evaluation de produits dérivés par mesures martingales. Evaluation de produits dérivés par EDP.
- TP/Projet : méthodes de Monte Carlo. Schémas numériques pour les EDP.
- Modèle stochastique général. Théorie de l'évaluation par arbitrage. Feynman-Kac.
- Modèles de volatilité locale. Modèles de volatilité stochastique.
- TP/Projet : discrétisation d'EDS et méthodes de Monte Carlo pour les modèles d'actifs à volatilité stochastique.

Déroulement, organisation du cours

CM/TD (approx. 18h). TP/Projet (approx. 6h en classe, reste en travail personnel)

Organisation de l'évaluation

Examen terminal (50%). TP/Projet (50%)

Support de cours, bibliographie

Jacod, Jean and Philip Protter (2003). Probability essentials. Springer.
Øksendal, Bernt (2013). Stochastic differential equations. 6th ed. Springer.
Lamberton, Damien and Bernard Lapeyre (1991). Introduction au calcul stochastique appliqué à la finance. Ellipses.
Shreve, Steven E. (June 2004). Stochastic Calculus for Finance II: Continuous-Time Models. Springer.
Bergomi, Lorenzo (2016). Stochastic volatility modeling. CRC Press.
Gatheral, Jim (2006). The Volatility Surface: A Practitioner's Guide. Wiley.

3MD5020 – Structuration et Gestion d'actifs

Responsables : Yann MOYSAN, Thomas Chedru

Département de rattachement : MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 40

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 24,00

Présentation, objectifs généraux du cours

Les Marchés de Capitaux regroupent les activités de financement (bancaire, obligataire, actions, titrisation), d'investissement (Produits structurés, Dérivés actions, taux, hybrides, Gestion d'Actifs), ou de couverture de risques (Taux, Change, Crédit, Actions) pour le compte de clients diversifiés : Retail/ Banques Privées, Entreprises, Institutions financières (Assurances, Banques, Fonds de pension, ...).

L'objectif du cours est d'apporter des connaissances appliquées et pratiques des produits Structurés Cross Asset et des problématiques aujourd'hui au cœur des salles de Marchés (Réglementation, CVA, Risk management, ...). Dispensé par des professionnels de l'Ingénierie financière il se veut interactif et orienté sur la pratique au Day to Day du métier de Structuration.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Le cours requiert d'avoir des notions de pricing des produits dérivés (Black&Sholes).
Le cours de Modèles stochastiques en finance est un pré-requis.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Produits Structurés fonctionnement et conception / Produits "classiques" et problématiques de pricing et gestion
- Fixed income et Inflation : dynamique des taux et produits dérivés
- Les Dérivés sur fonds et la gestion Coussin
- Gestion de portefeuille : Actifs Sous-Jacents et techniques d'allocation
- Les sous-jacents "innovants" et les problématiques de pricing et gestion qu'ils engendrent
- Risque de Crédit : Produits - Crise / réglementation et Impacts sur les Dérivés
- Hybrides et Commodities

Déroulement, organisation du cours

Cours et Travaux Pratiques (24h)

Organisation de l'évaluation

Examen écrit / QCM

Projet : Design d'un Produit structuré / Portefeuille d'actifs (Python)

Support de cours, bibliographie

[1] Options, futures, and other derivatives - John C. Hull

[2] Finance de marché: Instruments de base, produits dérivés, portefeuilles et risques – Patrice Poncet / Roland Portrait

And many articles and publications to be discussed.

3MD5030 – Physique des marchés

Responsables : **Damien Challet**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours aborde la dynamique des marchés financiers d'un point de vue mécanistique et propose une exploration des ingrédients de modélisation nécessaires à reproduire certains comportements typiques des prix des actifs financiers. Partant du principe que les investisseurs apprennent à utiliser des stratégies et que ces dernières ne sont utiles que si les marchés financiers sont prévisibles, ce cours se concentre sur l'interaction entre stratégies et prévisibilité des prix. Pour cela il utilise dans sa partie finale des modèles d'agents sophistiqués.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Faits stylisés des marchés financiers
2. Stratégies de trading
3. Prévisibilité des prix et apprentissage
4. Instabilité des marchés et absence de prévisibilité

Déroulement, organisation du cours

CM: 12 heures

TP: 12 heures

Organisation de l'évaluation

50% TPs

50% contrôle final

3MD5040 – Assurance Vie

Responsables : **Guillaume Metge, Youssef Saidi, Simon Colboc**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif du cours est d'introduire les étudiants au marché de l'assurance-vie et de l'épargne en France ou en Europe, ainsi qu'aux différentes techniques actuarielles utilisées pour modéliser un portefeuille d'assurance-vie (comportement de l'assuré, démographie, finance).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Produits d'assurance-vie, perspectives d'évolution du marché, la distribution des produits d'assurance vie

Calcul des engagements en assurance-vie, théorie de la ruine

Valorisation d'un portefeuille d'assurance-vie (Market Consistent Embedded Value, *valorisation déterministe et valorisation stochastique, introduction à l'Asset & Liabilities Management*)

Construction de tables de mortalité et calcul de l'espérance de vie (*Modèles de durée, estimateur de Kaplan-Meier, modèle de Lee-Carter et dérivés*)

Comportement des assurés : modélisations actuarielle (*Focus sur l'option de rachat des contrats d'assurance vie : modèles économiques, modèles statistiques (GLM), modèles machine learning*)

Normes financières & actuarielles internationales (IFRS17, Solvabilité II)

Déroulement, organisation du cours

Cours (40%), étude de cas / travaux pratiques (60%)

Organisation de l'évaluation

Les étudiants seront guidés dans la construction d'un produit d'assurance vie tout au long du cours. La présentation de ce produit, de sa modélisation et des différentes métriques actuarielles permettant de le caractériser, feront l'objet d'une présentation notée.

Support de cours, bibliographie

Théorie et pratique de l'assurance vie, Fromenteau, Peteton

Modèles de durée - Applications Actuarielles, Planchet Thérond

Le rachat - Modélisations et préconisations, Adrien Suru

Les Technical specifications de l'EIOPA pour tout ce qui est réglementaire

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Connaissance du marché de l'assurance vie

Tarifification d'un produit d'assurance vie, mesure de la rentabilité et mesure des risques

3MD5050 – Allocation de portefeuille

Responsables : **Christian Bongiorno, Romain Perchet**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but du cours est d'aller au-delà de la théorie classique de Markowitz et de fournir des connaissances avancées en gestion de portefeuille. La non-gaussianité des rendements et les bruits des matrices de covariance sont quelques exemples, abordés dans ce cours, où la théorie classique du portefeuille échoue. Le cours détaillera également des méthodes plus sophistiquées de construction de portefeuille comme « l'optimisation robuste ». À cette fin, nous approfondirons ces sujets d'un point de vue théorique et pratique, en introduisant de nouvelles approches et implémentations d'algorithmes largement utilisées par les praticiens. Ce cours comprend un laboratoire où les étudiants testeront les performances des méthodes enseignées sur des données réelles.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun prérequis nécessaire, bien que les étudiants bénéficient d'une connaissance de base en Statistiques, Problèmes d'Optimisation, et Concepts Financiers.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction à la gestion d'actifs et de portefeuille
- Méthodes de construction et d'optimisation de portefeuille
- Méthodes alternatives d'allocation stratégique d'actifs à Markowitz
- Estimation de la matrice de variance et de covariance en grandes dimensions et filtrage de la matrice de covariance

Déroulement, organisation du cours

10.5h TP/TD - 9h CM

Organisation de l'évaluation

50% TP, 50% Projet (soutenance) en groupe

Support de cours, bibliographie

Insights into robust optimization: decomposing into mean-variance and risk-based portfolios - *Journal of Investment Strategies* - Heckel and al.

A practical guide to robust portfolio optimization - *Quantitative Finance* - Yin and al.

Moyens

Cours et mise en application

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Budgétisation du risque, optimisation robuste du portefeuille, Asset allocation, constitution du portefeuille
Filtrage de matrice de covariance, modèle de risque, estimateur de matrice de covariance en grande dimension

3MD5210 – Modèles stochastiques avancés en finance

Responsables : **Gaoyue Guo, Ioane Muni Toke**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à introduire des modèles stochastiques avancés qui permettent de décrire plus précisément le phénomène financier et de mieux répondre aux demandes des praticiens. L'évaluation des options américaines et les processus à sauts sont présentés, qui contiennent à la fois la méthodologie associée et des applications en finance.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

CIP, calcul stochastique, EDP

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Modèles à saut : Nous introduisons le processus de Lévy ainsi que sa représentation, et ensuite le processus de Poisson. Nous nous concentrons sur le calcul stochastique avec sauts, et étudions l'évaluation et la couverture des options européennes sous certains modèles de Lévy.
2. Arrêt optimal et programmation dynamique : Motivé par son application en l'évaluation des options américaines, nous considérons les problèmes d'arrêt optimal. Nous introduisons d'abord sa formulation, puis le principe de programmation dynamique correspondant et l'équation d'HJB (en temps continu).
3. Finance robuste (facultatif) : Si le temps permet, nous considérons un cadre qui est à la mode et introduit récemment. La finance robuste ne part pas d'un modèle a priori mais plutôt avec les informations disponibles sur les marchés. Nous étudier le modèle trinomial (volatilité incertaine) et le problème de transport optimal martingale.

Déroulement, organisation du cours

Transparent du cours, exercices et références

Organisation de l'évaluation

Contrôle écrit

Support de cours, bibliographie

Slides + notes de cours

Références:

Continuous-time stochastic control and optimization with financial applications. Huyên Pham

Processus de Lévy et calcul stochastique. Rhodes Rémi

Model-free hedging : A martingale optimal transport viewpoint. Pierre Henry-Labordère

Moyens

5 conférences + 2 TD

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les élèves doivent être familiers avec des modèles Black-Scholes (processus continus), modèle de Merton, modèle NIG (processus à sauts) et savoir résoudre les problèmes reliés, e.g. problème d'arrêt optimal (options américaines) et problème de couverture. De plus, les élèves sont requis d'avoir une compréhension complète de la méthodologie (programmation dynamique, décomposition d'Itô-Lévy, intégration stochastique, etc.) et une maîtrise des outils associés (enveloppe de Snell, équation d'HJB, théorème de représentation des martingales, formule de Feynman-Kac, etc.).

3MD5220 – Fixed income

Responsables : **Faical Hihi, Ioane Muni Toke**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de dresser un panorama des produits de taux et leurs modèles de gestion. En particulier, le cours vise à atteindre les objectifs suivants :

- Permettre aux étudiants de saisir le lien entre le contexte macro-économique et la formation de la courbe des taux.
- Présenter les principaux produits de taux vanilles et structurées avec un focus sur les facteurs économiques justifiant leur utilisation.
- Aborder les principaux modèles de valorisation des dérivées de taux avec un focus sur l'adéquation produit-modèle.
- Sensibiliser les étudiants aux enjeux liées à la gestion du risque de modèle. Le cours abordera les principales techniques utilisées au sein des banques d'investissement pour quantifier et provisionner les potentielles pertes inhérentes au risque de modèle.

Le cours est conçu de manière à prendre en compte les principales évolutions qu'a connues le marché des taux ces dernières années comme le CSA, la valorisation multi-courbe, collatéralisation, taux négatifs...

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Formation de la courbe de taux : Définition de la notion de taux et des facteurs qui le déterminent. Principaux taux (taux directeurs, interbancaires, obligataires, swap, repo...). Produits vanilles : Money Markets, Future/FRA, Swap, Cap/Floor, swaptions.
- Valorisation de produits financiers : Rappel de calcul stochastique : théorème de Girsanov et changement de numéraires. Valorisation par réplication : revue de l'EDP Black-Scholes en présence de collatéral.
- Construction de la courbe de taux : Technique de Bootstrapping. Cadre multi-courbe/CSA
- Modèles de valorisation
 - HJM et Hull White
 - Libor Market Model (BGM)
 - SABR
 - Hunt Kennedy
- Gestion du risque de modèle
 - Explication du P&L
 - Technique de mapping : inférence de la distribution de marché
 - Réplication statique : Carr Madan
 - Ajustement de convexité
 - Adéquation produit-modèle
 - Quantification du risque de modèle (Volatilité incertaine, Shift de barrière, Approches majorant/minorant, Modélisation alternative, Autres techniques).

Déroulement, organisation du cours

Principalement CM + projet à réaliser hors classe

Organisation de l'évaluation

Examen + Projet

Support de cours, bibliographie

Supports de cours : slides + notes de cours.

- ANDERSEN, L. & PITERBARG, V., Interest Rate Modeling, Atlantic Financial Press, 2010
- BRIGO, D. & MERCURIO, F., 2006, Interest- Rate Models: Theory and Practice - With Smile, Inflation and Credit (2nd ed.), Springer Finance.
- BURDA, M. & WYPLOSZ, C., Macroéconomie : Une perspective européenne, 6ème édition, De Boeck, 2012
- EL KAROUI, N, Couverture des risques dans les marchés financiers, Cours Ecole Polytechnique
- FRACHOT, A, Théorie et pratique des instruments financiers, Cours Ecole Polytechnique
- HAKALA, J., WYSTUP, U, 2002, Foreign Exchange Risk: Models, Instruments and Strategies, Riskbooks.
- HULL, J., 2012, Options, Futures, and Other Derivatives (8th Edition), Prentice Hall.
- HUNT, P.J. & KENNEDY, J.E., Financial Derivatives in Theory and Practice (rev. ed.), Wiley, 2004
- KERKHOF, J., Inflation Derivatives Explained : Markets, Products and Pricing, Lehman Brothers, 2005
- MARTELLINI, L., PRIAULET, P. & PRIAULET, S., 2003, Fixed-Income Securities: Valuation, Risk Management and Portfolio Strategies, Wiley.
- PATTERSON, B. & LYGNERUD, K., Détermination des taux d'intérêt, Parlement Européen, Direction Générale des Etudes, Série Affaires économiques, ECON-116 FR, 1999

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves seront en capacité de :

- Construire une courbe de taux à partir des données de marché.
- Déterminer les critères de choix des modèles et de leurs instruments de calibration en fonction des produits.
- Mener une analyse critique des résultats obtenus à l'aide d'un modèle.

3MD5230 – Données haute-fréquence et carnets d'ordres

Responsables : **Ioane Muni Toke**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours s'adresse aux étudiants intéressés par l'étude empirique, la modélisation mathématique et la simulation numérique des marchés financiers modernes, dits « à carnets d'ordres ».

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Calcul stochastique, Python

Plan détaillé du cours (contenu)

- 1 : High-frequency financial data and limit order books I.
Lab: Stylized facts on trade data.
- 2 : High-frequency financial data and limit order books II.
Lab: Stylized facts on quote data.
- 3: Introduction to point processes I.
Lab: Poisson processes.
- 4: Introduction to point processes II.
Lab: Hawkes processes.
- 5: Hawkes processes in finance.
Lab: Hawkes processes and high-frequency transaction data.
- 6: Mathematical modeling of limit order books.
Lab: Poisson LOB simulation.
- 7: An introduction to market impact.
Lab: Empirical market impact of LOB events.

Déroulement, organisation du cours

Cours (10h30), TP Python(10h30).

Organisation de l'évaluation

TP (50%), examen final (50%)

Support de cours, bibliographie

Abergel, Frédéric, Anane, Marouane, Chakraborti, Anirban, Jedidi, Aymen, & Muni Toke, Ioane (2016). Limit order books. Cambridge University Press.

Hasbrouck, J. (2007). Empirical market microstructure: The institutions, economics, and econometrics of securities trading. Oxford University Press.

Et de nombreux articles de recherche à discuter en cours.

Moyens

Cours + TP

3MD5250 – Deep Learning in Finance

Responsables : **Damien Challet**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours explore les promesses et limites du deep learning en finance.

Promesses : capture des non-linéarités et relations cachées, résolution de problèmes hors d'atteinte des méthodes exactes ou numériques classiques, génération de scénarios.

Limites : les données financières sont à la fois beaucoup plus bruitées et beaucoup moins régulières que les domaines habituels d'application du deep learning, ce qui requiert des précautions particulières.

Les principales catégories d'application abordées seront la calibration de modèles, la génération de séries temporelles, le pricing d'options, la classification et la prévision.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Estimation
 1. paramètre unique
 2. modèle
2. Génération
 - séries temporelles univariés
 - séries temporelles multivariées
3. Prévision
 - volatilité
 - rendements
4. Contrôle de risque
 - pricing d'option
 - optimisation de portefeuille

Déroulement, organisation du cours

CM: 12h, TP: 12h

Organisation de l'évaluation

100% TPs, soutenance individuelle

Support de cours, bibliographie

- Estimation
 - paramètre unique <https://arxiv.org/pdf/1812.05315>
 - modèle <https://arxiv.org/pdf/2007.03494.pdf>
- Génération
 - Multivariée <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/9040208/9052899/09053276.pdf>
 - <https://gmarti.gitlab.io/qfin/2020/02/03/sp500-sharpe-vs-cormats.html>
- Prévion / trading
 - revue: <https://arxiv.org/pdf/2006.05515.pdf>
- Contrôle de risque
 - Portfolio optimization: <https://arxiv.org/pdf/2005.13665.pdf>

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre les capacités réelles de réseaux de neurones artificiels.
Choisir l'architecture d'un réseau en fonction du problème.
Implémenter des architectures neuronals complexes.
Savoir les aider à apporter le résultat voulu.

3MD5260 – Portfolio Metrics

Responsables : **Nicolas Millot**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de ce cours est de :

- Comprendre la différence entre les valeurs économiques et théoriques ;
- Comprendre les différentes composantes qui entrent dans le prix d'un commerce ;
- Connaître l'organisation de la salle des marchés en relation avec ces composantes du prix ;
- Comprendre les bases de la gestion quantitative du risque et sa relation avec le capital économique ;
- Comprendre comment la crise de 2008 et les nouvelles réglementations ont modifié le paysage des produits dérivés ;
- Apprendre le rôle des analystes quantitatifs dans cet environnement.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Rappels sur le théorème fondamental du prix des actifs, modèle de Black-Scholes

Risque de défaillance, tarification des CDS, risque de crédit de la contrepartie, dérivations de la valeur ajoutée unilatérale

Risque de crédit propre, dérivations de la CVA bilatérale

Couverture des défaillances et questions de financement, CVA et FCA

Atténuation du crédit, compensation et garantie, relations avec la clôture et le financement, dérivation de la VAF, évaluation des transactions entièrement garanties

Les défis de la mise en œuvre de l'XVA, les sujets avancés en matière d'XVA, la modélisation des risques à contresens, l'évaluation des risques fondée sur les notations et le financement multidevises

Impact de la réglementation sur la valorisation des produits dérivés, RWA, KVA, charge CLR, relations avec QRM

Mesures des risques, VaR, ES, questions de modélisation et de mise en œuvre

Déroulement, organisation du cours

Lectures (18h), TD (3h), TP (3h)

Organisation de l'évaluation

Labs (20%), written exam (80%)

Support de cours, bibliographie

[1] Green, A. (2015). XVA : Credit, Funding and Capital Valuation Adjustments . Wiley.

[2] Embrechts, P., R. Frey, and A. McNeil (2005). Quantitative Risk Management : Concepts, Techniques, Tools. Princeton : Princeton University Press.

And many research articles to be discussed in class.

3MD5270 – Réassurance et risques extrêmes

Responsables : **Simon BLAQUIERE, Vincent MAAREK**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours de « data science pour la réassurance » présente différents cas concrets d'utilisation de méthodes de data science et de statistique du marché de la réassurance. Il aborde à la fois les enjeux métiers de la réassurance, des éléments de théories servant de base à la quantification des risques extrêmes, et les méthodes d'optimisation d'un programme de réassurance. Plusieurs mises en pratique sont proposées au travers d'études de cas fréquemment rencontrés sur les problématiques de réassurance.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Compétences en programmation Python ou R, statistiques, probabilités

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction à la réassurance (marché de la réassurance, réassurance traditionnelle, origines, méthodes, structures)
- Introduction à la réassurance alternative (origine du marché ILS, mécanisme de la titrisation, Cat Bonds, réassurance collatéralisée, ILW, etc.)
- Modélisation des sinistres atypiques (théorie des valeurs extrêmes, calibrage de lois, et applications à la tarification)
- Structuration et tarification de programmes de réassurance (choix de structures, optimisation de coût du capital, capital réglementaire, méthodes fréquence x coût, éléments de wordings)
- Modélisation des catastrophes naturelles (introduction aux données géospatiales, modules aléas, exposition, vulnérabilité, pertes financières)
- Tarification des traités par risques (introduction aux structures par risques/par événements, méthodes MBBEFD, profils de réassurance)

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, exercices, TP en Python ou R au choix

Organisation de l'évaluation

Projet en Python ou R au choix

Support de cours, bibliographie

Modeling Extremal Events for Insurance and Finance, Embrechts P, Kluppelberg K. and Mikosch T, Springer, 1997

Insurance Risk management and Reinsurance, G. Gorge, Lulu.com, 2016

ACT3251 Théorie du risque, H. Guérin, Université de Montréal (Notes de cours), 2012
Théorie des valeurs extrêmes, Thierry Roncalli, Note de cours de l'université Paris Dauphine, 2002
The Swiss Re Exposure Curves and the MBBEFD Distribution Class, S. Bernegger, Astin Bulletin Vol. 27, 1997
A guide to catastrophe modelling, RMS, The Review, 2008
About Catastrophe Models, AIR Worldwide, 2012
Catastrophes naturelles et réassurance, Swiss Re, 2003
Directive 2009/138/CE, Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, Journal officiel de l'Union européenne, 2009

3MD5280 – Modèles de risques de crédit

Responsables : **Olivier Toutain**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est une introduction au risque de crédit tel qu'il est utilisé dans le monde de la finance par les banques, les hedge funds, les gestionnaires d'actifs, les Fintechs et les agences de notation. Nous examinerons ensemble la description du risque de crédit, en utilisant des exemples réels, la mesure de la probabilité de défaut en utilisant différentes approches d'un seul nom ou d'un portefeuille de sociétés. Le concept de risque de crédit sera également examiné à travers le type de débiteurs, de l'émetteur souverain aux ménages. Les concepts de gestion du risque et de tarification seront examinés.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Credit Risk Introduction
 - a. The old concept of debt
 - b. The financing of activities
 - c. Credit Risk Typology
2. Debts Instruments
 - a. From loans to CDS: characteristics and pricing
 - b. Credit Derivatives market
 - c. Counterparty Risk
3. Measuring Default Risk
 - a. Fundamental approach: Ratings
 - b. Scoring
 - c. Market-based information
4. Modelling of single exposure default risk:
 - a. Structural Models: Merton and its extension
 - b. Reduced-form models
5. Modelling of recovery risk and transition risk
 - a. Definition of those risk
 - b. Proposed models
6. Modelling of multi-names exposure (default correlation)
 - a. de Finetti as a way to encompass all approach
 - b. CreditMetrics
 - c. Copula generalization

Organisation de l'évaluation

Examen final composé d'exercices et de questions de base sur le cours

3MD6010 – Théorie fonctionnelle de la densité

Responsables : **Erick Herbin, Pietro Cortona, Pauline Lafitte**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) est la méthode la plus largement utilisée pour faire des calculs de structure électronique sur de systèmes complexes. Ce cours permettra aux élèves d'appréhender les fondements de la théorie et d'avoir une connaissance critique des approximations les plus couramment utilisées.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Mécanique Quantique telle qu'on l'apprend en première année.

Plan détaillé du cours (contenu)

Compléments de mécanique quantique

- Méthode variationnelle, rappels et compléments.
- Atome d'hélium : état fondamental et premier état excité. États de singulet et de triplet.
- Moment cinétique en tant que générateur des rotations.
- Atomes complexes : couplage LS et jj. Interaction spin-orbite.

Théorie de la fonctionnelle de la densité

- Théorème de Hohenberg et Kohn.
- Théorie de Kohn et Sham.
- Problème de la V-représentabilité et théorie de Levy.
- Approximation locale (LDA).
- Approximations du gradient généralisé (GGA).
- Fonctionnelles hybrides.

Organisation de l'évaluation

Ça dépendra du nombre d'étudiants inscrits. Fort probablement il s'agira d'un exposé.

Support de cours, bibliographie

Un bon ouvrage de mécanique quantique.

Parr and Yang, Density Functional Theory of Atoms and Molecules, Oxford University Press

Moyens

Cours magistraux

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Connaissance des fondements de la théorie de la fonctionnelle de la densité.

Connaissance des principales d'approximations couramment utilisées, de leurs points de force et de leurs faiblesses.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les élèves sauront faire des calculs de structure électronique en gardant un regard critique sur la qualité des résultats fournis par l'ordinateur.

3MD6020 – Variétés différentielles

Responsables : **Pauline Lafitte, Philippe Bouafia**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours constitue une introduction au langage des variétés différentielles. Les différents thèmes abordés sont :

- 1) Catégorie des variétés différentielles
- 2) Fibrés tangents, cotangent, et calcul tensoriel
- 3) Intégrations sur les variétés : formes différentielles et formule de Stokes
- 4) Cohomologie de de Rham

Prérequis

- Notions de topologie générale.
- Calcul différentiel entre des ouverts de \mathbb{R}^n . Théorème d'inversion locale.

Un document détaillera l'ensemble des notions de topologie nécessaire pour la bonne compréhension du cours.

Organisation de l'évaluation

- 1) Devoir(s) maison : 25 % de la note
- 2) Examen final : 75 % de la note

Support de cours, bibliographie

- 1) Jacques Lafontaine: Introduction aux variétés différentielles
- 2) Hervé Quéffelec: Topologie

3MD6030 – Schramm-Loewner Evolution

Responsables : **Erick Herbin, Pauline Lafitte**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Il s'agit d'un cours au format groupe de lecture - groupe de recherche, qui balaie des sujets en pointe de mathématiques à l'interface avec la physique théorique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Processus stochastiques, chaînes de Markov, mouvement brownien

Déroulement, organisation du cours

Le cours est en deux parties : après quelques séances de revue assurées par le Professeur, les élèves exposent tour à tour au tableau.

Organisation de l'évaluation

Les exposés des élèves et la participation en séance sont notés.

Moyens

Equipe pédagogique : Erick Herbin (CentraleSupélec), Grégory Schehr (LPTMS)

3MD6040 – Equations différentielles et aux d.p. stochastiques

Responsables : Ludovic Goudenege, Pauline Lafitte, Erick Herbin

Département de rattachement : MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 40

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 24,00

Présentation, objectifs généraux du cours

Nous aborderons dans ce cours les notions fondamentales nécessaires à la description d'une équation aux dérivées partielles stochastique, notamment la construction de processus de Wiener et une intégrale stochastique en dimension infinie. Cela nous permettra de démontrer l'existence de solutions pour des équations aux dérivées partielles avec bruit additif. Un autre chapitre abordera des exemples de méthodes numériques qui permettent d'approcher les solutions de ces équations stochastiques. Des exemples d'équations stochastiques sur des modèles variés (biologie, chaleur, circuits électriques, finance, filtrage) seront présents dans chaque chapitre afin d'illustrer certains comportements des solutions.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Notions de filtrations et martingales.
Base du calcul stochastique.

Plan détaillé du cours (contenu)

- 1) Formulation des équations aux dérivées partielles stochastiques
Processus de Wiener
Intégrale stochastique
Existence de solutions, régularité et théorèmes clés
- 2) Méthodes Numériques
Schémas numériques, convergence et simulations numériques

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral.

Organisation de l'évaluation

Examen partiel d'1h30, examen final de 3h.

Support de cours, bibliographie

[1] B. Øksendal, Stochastic Differential Equations : An Introduction with Applications.
Fifth Edition, Corrected Printing. Springer-Verlag Heidelberg New York. Springer-Verlag.

- [2] E. Pardoux, Stochastic partial differential equations. Lectures given in Fudan University, Shanghai, 2007.
- [3] G. Da Prato and J. Zabczyk, Stochastic Equations in Infinite Dimensions, volume 44. Cambridge University Press, In Encyclopedia of Mathematics and Its Applications, 1992.
- [4] D. Revuz and M. Yor, Continuous martingales and Brownian motion, volume 293 of Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften [Fundamental Principles of Mathematical Sciences]. Springer-Verlag, Berlin, third edition, 1999.
- [5] J.B. Walsh, An introduction to stochastic partial differential equations, Ecole d'Eté de Probabilités de Saint-Flour XIV - 1984, 1986.

Moyens

Equipe pédagogique : Ludovic Goudenège (CNRS)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Connaissance des théories classiques pour les EDP stochastiques et leur simulation numérique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Manipulation des objets stochastiques infini-dimensionnel de type intégrale d'Itô-Wiener.
Utilisation de la convolution stochastique notamment pour les EDP stochastiques à bruits additifs.
Notion de convergence par compacité dans des espaces probabilisés.
Généralisation des schémas d'Euler-Maruyama pour les EDP stochastiques.

3MD6050 – Groupes et Algèbres de Lie

Responsables: **Pauline Lafitte, Frederic Paulin, Erick Herbin**

Département de rattachement : **MATHÉMATIQUES, MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de ce cours est de donner une introduction aux groupes de Lie classiques (dont $SO(n)$, $SU(n)$, $SO(3,1)$) et à la classification de leurs représentations de dimension finie. Nous discuterons de leurs apparitions en physique des particules (groupe de jauge du modèle standard, groupe de jauge de la chromodynamique quantique, symétrie d'isospin des nucléons et pions, ...) et en relativité restreinte.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Calcul différentiel, algèbre linéaire

Plan détaillé du cours (contenu)

- Groupes et algèbres de Lie matriciels
- Représentations linéaires de dimension finie d'algèbres de Lie
- Représentations linéaires de dimension finie de groupes de Lie
- Les groupes $SU(2)$ et $SO(3)$, et la symétrie d'isospin
- Les groupes de Lorentz et de Poincaré en relativité restreinte
- Le groupe $SU(3)$ de la symétrie de saveur

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral.

Organisation de l'évaluation

Devoir maison + examen écrit (3h).

Support de cours, bibliographie

- [1] E.ourgoulhon. Relativité restreinte : Des particules à l'astrophysique. Savoirs actuels, EDP Sciences, 2010.
[2] Y. Kosmann-Schwarzbach. Groupes et symétries : Groupes finis, groupes et algèbres de Lie, représentations. Éditions de l'Ecole Polytechnique, 2006.
[3] F. Paulin, Introduction aux groupes de Lie pour la physique, Notes de cours.

Moyens

Equipe pédagogique : Frédéric Paulin (Université Paris-Saclay)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Classification des représentations de dimension finie des groupes et algèbres de Lie classique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Application des groupes et algèbres de Lie en physique des particules et en relativité restreinte.

3MD6060 – Théorie de Jauge

Responsables : **Erick Herbin, Igor Kornev**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

3MD6070 – Théorie Quantique des Champs - version Mathématique

Responsables : **Erick Herbin, Herve Moutarde**

Département de rattachement : **MENTION MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET MATHÉMATIQUES
FINANCIÈRES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

DOMINANTE PHYSIQUE et NANOTECHNOLOGIES (PNT)

3PN1010 – Matière condensée

Responsables : **Igor Kornev**

Département de rattachement : **DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le parcours donne une formation qui recouvre l'ensemble de la physique de la matière condensée

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

1SL3000 (Physique Quantique et statistique)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Description structurale des solides : espace réel et réciproque. Solide cristallin idéal, cas des défauts et des surfaces. Modèles énergétiques pour les grands types de solides
- Vibrations et déformations des solides. Lien avec les propriétés thermo-mécaniques. Observations expérimentales. Rôle des vibrations dans les transitions de phase
- Propriétés électroniques. Rappel sur les électrons libres (exercice sur alliages métalliques et leurs divers états) – Théorie des bandes et densités d'état – Théorie des liaisons fortes et applications diverses (graphite et nanotubes, supra-conducteurs...)
- Propriétés magnétiques/ferroélectriques

Déroulement, organisation du cours

- Exposés magistraux + questions des étudiants
- Lectures guidées dans livre de référence (Kittel)
- Problèmes-type résolus en classe
- Série de problèmes à faire par soi-même

Organisation de l'évaluation

Distribution des crédits : Devoirs 40 % (à rendre dans les 7 jours suivant leur attribution ; 5 points de réduction pour chaque jour ouvrable après la date limite), Examen final 60%

Devoirs :

Vous devez faire preuve d'une quantité raisonnable de travail, au lieu de ne montrer que les résultats finaux.

Plus précisément,

Ecrivez avec soin

Afficher toutes les étapes intermédiaires

Utilisez beaucoup de mots et d'explications, pas seulement des équations

Assurez-vous toujours que votre réponse a un sens physique

N'oubliez pas d'agrafer les pages !

Note importante : vous pouvez vous sentir à l'aise d'avoir vraiment maîtrisé un problème si, et seulement si, vous êtes capable de l'expliquer en détail.

Le crédit ne sera accordé que si le lecteur peut facilement suivre les arguments.

Examen final :

L'examen final se déroulera sous forme de livre ouvert, de notes ouvertes (sans accès à l'internet). Les questions viendront de lectures, d'exercices en classe, de devoirs, de notes de cours.

Support de cours, bibliographie

The textbook for this class is: Kittel, Charles. Introduction to Solid State Physics. 8th ed. New York, NY: John Wiley & Sons, 2004. ISBN: 9780471415268.

A useful reference is: Ashcroft, Neil W., and N. David Mermin. Solid State Physics. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston, 1976. ISBN: 9780030839931

Moyens

Enseignant: I. Kornev

Bibliographie: Kittel, Charles. Introduction to Solid State Physics. 8th ed. New York, NY: John Wiley & Sons, 2004. ISBN: 9780471415268.

Ashcroft, Neil W., and N. David Mermin. Solid State Physics. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston, 1976. ISBN: 9780030839931

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre les relations entre la structure et les propriétés des matériaux ;
- Démontrer des connaissances sur les structures cristallines et leur caractérisation ;
- Connaître des modèles physiques simples pour décrire le comportement des matériaux ;
- Établir un lien entre un phénomène macroscopique et des processus microscopiques ;
- Démontrer une compréhension de la dynamique du réseau ;
- Prédire les propriétés électriques et thermiques des solides et expliquer leur origine ;
- Expliquer le concept de bandes d'énergie et leur effet sur les propriétés électriques/optiques ;
- Comprendre le rôle du potentiel du réseau dans le développement des écarts d'énergie ;
- Décrire les origines microscopiques des propriétés magnétiques/ferro-électriques des solides et expliquer certaines propriétés à température finie

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Etre à l'aise avec les méthodes expérimentales et de modélisation concernant les propriétés structurales, vibrationnelles et électroniques des solides

3PN1020 – Interaction rayonnement-matière

Responsables : **Jean-Michel Gillet**

Département de rattachement : **DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à fournir les bases physiques de l'interaction entre rayonnements et matières. Dans sa première partie le cours se limite à une description semi-classique par laquelle le rayonnement électromagnétique est pris en compte au moyen des outils de la physique classique (Maxwell) alors que la matière est-elle progressivement amenée sur sa modélisation quantique.

C'est dans une seconde partie que l'on décrit l'ensemble rayonnement+matière dans une approche quantique globale. Pour cela nous aurons donc besoin d'une quantification du rayonnement électromagnétique (seconde quantification). Nous verrons alors les points communs et ceux de différenciation entre un rayonnement de photons et celui porté par des particules massives (des neutrons le plus souvent).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Physique quantique et physique statistique.

Plan détaillé du cours (contenu)

Interaction semi-classique (part 1) : coefficients d'Einstein
Systèmes quantiques à deux niveaux : oscillations de Rabi
Perturbations dépendantes du temps : Règle d'Or de Fermi
Interaction semi-classique (part 2) : modèle de Lorentz et forces d'oscillateurs
Règles de sélection et modélisation des coefficients d'Einstein
Diffusion classique (part 1)
Diffusion classique (part 2)
Section efficace de diffusion : approche quantique pour une particule massive (neutron)
Diffusion inélastique : diffusion d'un neutron à 0 ou 1 phonon
Potentiels d'interaction photon-électron
Quantification du champ électromagnétique
Emission et absorption de photons (exemples en spectroscopie)
Examen : construction d'une séquence de cours

Déroulement, organisation du cours

Cours et TD. L'interactivité est encouragée et la participation une composante du contrôle continu

Organisation de l'évaluation

Examen final et contrôle continu.

Support de cours, bibliographie

Application-driven quantum and statistical physics Vol 3 (World Scientific), D'autres références seront données au fur et à mesure de la progression du cours.

Moyens

Cours et TD.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Modélisation des coefficients d'Einstein (en support de la description du LASER)
Identification des mécanismes à l'origine des propriétés d'un rayonnement diffusé. Condition d'absorption ou d'émission de rayonnement.
Modélisation de quelques phénomènes spectroscopiques.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Modélisation des coefficients d'Einstein (en support de la description du LASER)
Identification des mécanismes à l'origine des propriétés d'un rayonnement diffusé. Condition d'absorption ou d'émission de rayonnement.
Modélisation de quelques phénomènes spectroscopiques.

3PN1030 – Physique statistique hors équilibre

Responsables : **Jean-Jacques Greffet**

Département de rattachement : **DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de ce cours est de fournir une introduction aux concepts de base de la physique statistique hors équilibre. La première partie du cours traite des systèmes hors équilibre. La seconde partie traite des particules en interaction. Plusieurs approches des systèmes hors équilibre seront introduites : théorie de la réponse linéaire, modèle de Langevin, équation de Boltzmann et thermodynamique irréversible. Le rôle des interactions entre particules sera discuté et les phénomènes collectifs qui en résultent, tels que les transitions de phase, seront abordés.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Introduction à la mécanique quantique

Introduction à la physique statistique à l'équilibre

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Théorie de la réponse linéaire.
2. Théorème de Fluctuation-Dissipation.
3. Modèle de Langevin du mouvement brownien. Application à la modélisation du bruit des systèmes linéaires.
4. Phénomènes de transport dans les gaz. Équation de Boltzmann.
5. Introduction à la thermodynamique irréversible
6. Approximation du champ moyen
7. Paramètre d'ordre. Rupture de symétrie
8. Exemples de transitions de phase

Déroulement, organisation du cours

Conférences

Cours de résolution de problèmes

Devoirs

Organisation de l'évaluation

Devoirs

Examen écrit

Moyens

Document de travail (110 pages)

Textes d'exercices

Texte des devoirs

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Lien entre les fluctuations et la réponse linéaire.

Utilisation du théorème de fluctuation-dissipation pour calculer les spectres de bruit ou les fonctions de réponse linéaire.

Extraction d'informations sur la réponse linéaire à partir du spectre de bruit.
Utilisation du modèle de Langevin des fluctuations.

Utilisation de l'équation de Boltzmann pour étudier les phénomènes de transport.
Transitions de phase.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Bases de la physique statistique.

Ensembles microcanoniques, canoniques et grand canoniques.

Statistiques quantiques.

Fonction de réponse linéaire, fonction de susceptibilité et de relaxation.

3PN1040 – Modélisation et simulation numérique

Responsables : **Hichem Dammak**

Département de rattachement : **DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La simulation sur ordinateur est actuellement un outil indispensable de la recherche en physique. Elle est considérée comme une troisième voie scientifique, complémentaire des approches théoriques et expérimentales. L'objectif du cours est d'initier les élèves aux méthodes les plus courantes en simulation : dynamique moléculaire et Monte Carlo.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Physique quantique
Physique Statistique
Mécanique du point
Transformée de Fourier

Plan détaillé du cours (contenu)

- Potentiels d'interactions atomiques et introduction à la méthode de DFT
- Introduction de l'intégrale de configuration et équipartition généralisée.
- Méthode de Monte Carlo Metropolis (MC)
- Méthode de la Dynamique Moléculaire et comparaison avec la méthode MC
- Méthodes de calcul des propriétés physiques : chaleur spécifique, fonction de distribution radiale, coefficient de diffusion, paramètres d'ordre, énergie de surface, polarisabilité en fonction de la fréquence ...

Les élèves mettront en pratique les connaissances acquises en réalisant des mini-projets de simulation numérique en partant de codes de calcul fournis ou en écrivant un programme complet. Exemples : 1) Étude d'une transition ordre-désordre. 2) Détermination du coefficient d'autodiffusion. 3) Reconstruction de surface. 4) Étude de l'influence de la taille de nanoparticules sur les propriétés optiques. 5) Détermination de la constante diélectrique et de la densité d'états de phonons dans un ferroélectrique. 6) Transition ferromagnétique et anti-ferromagnétique par MC ...

Déroulement, organisation du cours

Quatre séances de cours (12h) :

- C1) Méthode de la dynamique moléculaire et potentiels interatomiques phénoménologiques
- C2) Méthode de Monte Carlo Metropolis
- C3) Thermostats et prise en compte des effets quantique dans la méthode de DM
- C4) Introduction à la méthode de DFT

Quatre séances de TD (12h) :

Chaque binôme d'élève choisit un projet, et le traite pendant les séances de TD en réalisant les simulations nécessaires pour répondre à l'objectif visé. En fonction de leur formation, les étudiants seront invités à (i) rédiger un programme ou un sous-programme, (ii) modifier un programme existant, ou (iii) utiliser un programme existant pour générer des simulations et expliquer leurs résultats

Organisation de l'évaluation

- Trois ou quatre tests de 10 minutes chacun au début de chaque cours magistral
- Rapport de 10 pages qui résume le travail effectué pendant les séances de TD
- Présentation orale des résultats du projet.

Le note finale : [(moyenne des tests) + note du rapport et investissement durant les TD + note de l'oral] /3

Support de cours, bibliographie

Polycopié fourni en langue Française
Notes de cours (diapositives) en langue française et anglaise
Chapitres de livres en anglais

Moyens

- Mésocentre Moulon (CentraleSupélec & ENS-Saclay)
- Equipe enseignante :
Hichem Dammak (Cours en français et TD)
Igor Kornev (Cours et TD en Anglais)
Yann Chalopin (TD)
Gregory Geneste (TD)
Mehdi Ayouz (TD)
Fabien Briec (TD)
Pauline Richard (TD)
Nathalie Saouli (TD)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Etre capable de choisir et d'appliquer la méthode de résolution numérique ou de simulation qui s'adapte à un problème rencontré dans plusieurs domaines de la physique de la matière condensée.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Choisir le potentiel d'interaction adapté pour décrire les propriétés d'un système en fonction de la nature des liaisons atomiques
- Appliquer l'algorithme de Verlet pour résoudre les équations de la dynamique des atomes à l'équilibre dans l'ensemble microcanonique
- Appliquer l'algorithme de Monte Carlo Metropolis pour déterminer les configurations d'équilibre dans l'ensemble canonique

3PN1050 – Prototypage en FabLab

Responsables : **Pierre-Eymeric Janolin**

Département de rattachement : **DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'activité fera réaliser aux élèves, par petits groupes ou seuls, un prototype en utilisant les moyens du FabLab. Cette activité sera l'occasion pour les élèves de répondre à une demande client en concevant et réalisant un dispositif expérimental. L'utilisation de cartes Arduino, d'imprimantes 3D, de découpe laser etc. sera possible grâce aux moyens du FabLab ainsi que dans les structures clientes.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Un catalogue de projets sera fourni en début de cours. Les élèves devront se répartir sur ces projets dans des groupes à taille limitée. La poursuite de l'activité se fera en coordination avec le client, l'équipe enseignante et la Fabrique.

Déroulement, organisation du cours

Travail par petits groupes ou individuel.

Organisation de l'évaluation

Présentation + démonstration du dispositif; réponse aux questions.

Support de cours, bibliographie

N/A

Moyens

La Fabrique de CS et les structures clientes pourront être mis à contribution, après validation des responsables et formations éventuelles.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Design de prototype, approche projet, approche client, utilisation de moyens de prototypage.

3PN1060 – Enjeux et métiers du génie physique

Responsables : **Thomas Antoni**

Département de rattachement : **DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de ces activités est de se confronter aux enjeux et problématiques de la physique actuelle dans leur contexte social et économique, ainsi que de présenter les métiers qu'ils engendrent. Proposés en début d'année ces moments permettent de concrétiser son projet professionnel et de s'orienter dans sa recherche de stage et d'emploi ; et en même temps, participent à l'acquisition des connaissances en physique contemporaine dans un contexte assez informel. Essentiellement composé de séminaires et de visites, le programme est constitué au fil de l'eau en fonction de l'actualité scientifique ou économique, des envies des élèves et des offres des entreprises partenaires.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun.

Plan détaillé du cours (contenu)

Visites de site et séminaires.

Déroulement, organisation du cours

Visite de site et séminaires.

Organisation de l'évaluation

Cette activité ne donne pas lieu à une note et est validée sur la présence.

Moyens

Visites de site et séminaires.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Une large vision des problématiques scientifiques et des métiers d'ingénieur physicien afin de trouver son premier emploi.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

(C 1.6) Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

(C 2.1) Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur. Transposer à d'autres champs disciplinaires, généraliser des connaissances. Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres. Créer de la connaissance, dans une démarche scientifique.

(C 2.2) Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior).

3PN1510 – Séminaires et métiers de la photonique

Responsables : **Marc Sciamanna**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **10,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La mention « Photonics and Nano-systems engineering » forme des ingénieurs et masters dans l'ingénierie avancée des systèmes de traitement de l'information, qui inévitablement utiliseront les concepts les plus avancés de la physique. En particulier, les technologies utilisant la lumière (photonique) et la physique nouvelle à l'échelle nano-métrique permettent de mesurer, communiquer, sécuriser, manipuler l'information tout en limitant notre consommation énergétique et en préservant nos ressources naturelles. Cette introduction permettra aux étudiants de s'immerger dans ce changement de paradigme du traitement de l'information

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

aucun

Déroulement, organisation du cours

Cours et visite de site de recherche

Organisation de l'évaluation

Rapport écrit à l'issue du cours et de la visite

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- comprendre les enjeux des systèmes de traitement de l'information
- savoir définir la photonique
- comprendre l'évolution des propriétés physiques à l'échelle nanométrique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.5 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire

C2.2. : Importer des connaissances d'autres domaines ou disciplines

C9.1. : Analyser et anticiper les conséquences possibles de ses choix et de ses actes dans le respect de soi-même, d'autrui et de l'environnement

3PN1520 – Rayonnement

Responsables : **Delphine Wolfersberger**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours traite les fondements de l'Électromagnétisme. De la cohésion de la matière aux télécommunications sans fil, les lois de la physique qui régissent ces phénomènes sont décrits par l'électromagnétisme. Dans un premier temps, ce cours aborde les notions de base en physique et mathématique nécessaires à l'étude du rayonnement, permettant d'établir les équations de Maxwell. La solution de ces équations sous forme d'onde plane permettra de discuter certaines propriétés fondamentales de la lumière. Dans un second temps, le cours aborde la notion de rayonnement électromagnétique et ses applications dans le domaine de la propagation libre et guidée, avec les notions d'antennes et les principales caractéristiques des fibres optiques. Dans un troisième temps, le cours aborde les notions de base de physique des lasers et traitera des lasers continus et impulsions.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Rappel des bases physiques et mathématiques nécessaires à l'étude du rayonnement.
Electrostatique, magnétostatique, notions de champ et de potentiel vecteur, théorèmes de Gauss, de Stokes ou d'Ampère
Equations de Maxwell, résolution des équations de Maxwell
Propriétés fondamentales de la lumière
Propagation libre / guidée
Antennes : technologie des antennes, diagramme de rayonnement, gain et directivité, surface équivalente
Caractéristiques des fibres optiques : guidage de la lumière, différents types de fibres, ouverture numérique, dispersion, pertes
Physique des lasers : structure à 2/3/4 niveaux, émission, cohérence, polarisation
Du laser continu au laser impulsionnel

Déroulement, organisation du cours

7,5h CM

3h TD

Organisation de l'évaluation

Examen écrit (durée 2H00)

Support de cours, bibliographie

Electromagnétisme : Fondements et applications(Dunod 2020)
[José-Philippe Pérez](#), [Robert Carles](#), [Robert Fleckinger](#)

Moyens

Equipe pédagogique : Delphine Wolfersberger & Nicolas Marsal

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce module, les élèves seront capables de :

- Comprendre les bases physiques et mathématiques nécessaires à l'étude du rayonnement.
- Comprendre les principes de l'électrostatique et de la magnétostatique, tels que les notions de champ et de potentiel vecteur, les théorèmes de Gauss, de Stokes ou d'Ampère
- Se familiariser avec les équations de Maxwell et leur résolution sous forme d'onde plane
- Connaître les propriétés fondamentales de la lumière
- Comprendre les notions de propagation libre / guidée et leurs applications (antennes, guides d'ondes)
- Comprendre les principales caractéristiques des fibres optiques
- Comprendre les notions de base de physique des lasers.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1 : Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

C2.3 : Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres.

C1.5 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

3PN1530 – Nanomatériaux

Responsables : **Jean-Paul Salvestrini**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **20,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les circuits microélectroniques, familièrement appelés "micropuces", combinent des milliards de transistors sur un petit morceau de matériau semi-conducteur. Leurs étonnantes densités d'intégration ont fait de la société de l'information et de la communication d'aujourd'hui une réalité. La technologie microélectronique révolutionne en permanence l'industrie, les produits industriels et les produits de consommation.

La microfabrication et la nanofabrication sont à la base de la fabrication de presque tous les systèmes miniaturisés modernes qui sont omniprésents dans notre vie quotidienne. Parmi les exemples, citons les puces d'ordinateur et les capteurs intégrés pour la surveillance de notre environnement, les voitures, les téléphones portables, les appareils médicaux, etc.

Ce cours donne une vue d'ensemble des différentes techniques utilisées pour la fabrication, à l'échelle micro et nano, de ces types de dispositifs, en mettant l'accent sur les dispositifs photoniques tels que les LED, les VCSEL, les lasers,...

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Physique des semiconducteurs

Physique des lasers

Plan détaillé du cours (contenu)

- Rappels de physique des semiconducteurs
 - Structures cristallographiques et paramètres de maille, propriétés électroniques, optiques et thermiques des semiconducteurs, structure de bande, ingénierie de bande.
- Design de composants
- Salle blanche
- Croissance des lingots
- Procédés technologiques
 - Elaboration des wafers semi-conducteurs
 - Techniques d'épitaxie et de dépôts : matériaux diélectriques, semi-conducteurs et métalliques
 - Techniques de lithographie : masquage, résine, révélation
 - Gravure sèche et humide des matériaux semi-conducteurs et diélectriques
 - Dopage localisé, implantation ionique
- Exemples de design et fabrication
 - LEDs
 - Cellules solaires
 - VCSELs

Déroulement, organisation du cours

- 9 cours (9x1h30)
- 2 séances de TD (2x1h30)

- 1 visite de l'Institut Lafayette (1x1h30)

Organisation de l'évaluation

- 1 examen (2h)

Moyens

- 9 cours (9x1h30)
- 2 séances de TD (2x1h30)
- 1 visite de l'Institut Lafayette (1x1h30)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Fondements des matériaux optiques et électroniques
- Conception des dispositifs
- Description et organisation des salles blanches
- Techniques de croissance des matériaux
- Processus technologiques de fabrication et d'intégration des dispositifs
- Exemples de conception et de fabrication de dispositifs optiques

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le résultat souhaité est de fournir à l'étudiant suffisamment d'informations de base pour qu'il puisse comprendre la littérature liée au sujet qu'il souhaite aborder et lui permettre de commencer à développer de nouvelles technologies. Dans ce cadre, l'étudiant saura comment :

- Sélectionner le processus de fabrication correct pour un micro-dispositif ou un microsysteme spécifique.
- Établir le flux de travail pour les processus en salle blanche
- Planifier les ressources pour la fabrication d'un microsysteme donné

3PN1540 – Méthodes Numériques

Responsables : **Damien Rontani**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les méthodes numériques sont des compléments indispensables pour tout ingénieur travaillant à la modélisation et simulation de systèmes complexes. La physique est un des domaines où ces méthodes sont le plus utilisées, parce que regroupant la plus grande complexité de modèles (équations intégral-différentielles, aux dérivées partielles, bruit, nonlinéarité...).

Ce cours permettra aux étudiants d'acquérir les notions fondamentales pour l'application de ces méthodes numériques. Les méthodes étudiées seront ensuite appliquées à des systèmes physiques complexes en particulier des systèmes photoniques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Notions sur la modélisation de systèmes (équations différentielles, équations aux dérivées partielles)

Cours d'optimisation (ST7)

Maîtrise d'un environnement de programmation : Matlab, Python ou C/C++

Plan détaillé du cours (contenu)

Résolution numérique d'équations différentielles ordinaires et stochastiques (1.5h)

- Intégration d'équation différentielles ordinaires (ODE) : Méthodes de Runge-Kutta, et prédicteur-correcteur. Intégration des équations différentielles stochastiques par la méthode d'Euler-Maruyama, Milstein, et Heun stochastique.
- DM : Simulation d'un système laser avec prise en compte du bruit spontané d'émission.

Résolution numérique d'équations et de systèmes d'équations aux dérivées partielles (EDP) non-linéaires (9h)

- Généralités sur les EDPs et leurs applications. Rappels sur la méthode des différences finies en temps (FDTD) - algorithmes implicites et explicites
- TD + DM : Etude d'un système photoréfractif.
- Présentation des méthodes spectrales pour la résolution des EDP. Compléments sur les EDPs (couplage)
- TD: Mise en œuvre de la méthode BPM (*Beam Propagation Method*)

Méthodes stochastiques (3h)

- Rappels sur la génération de nombre aléatoires. Principes de la méthode de Monte-Carlo, Monte-Carlo avec chaîne de Markov. Algorithme de Métropolis-Hasting
- TD + DM : Mise en œuvre des Méthodes de Monte-Carlo.

Méthodes des éléments Finis (4.5h)

- Rappels sur la méthode des éléments finis. Approche de Galerkin. Techniques de maillage.
- TD + DM : Mise en œuvre de la méthode des éléments finis sur un problème multi-physique avec utilisation de Logiciel commercial / académique.

Déroulement, organisation du cours

Cours orienté sur la pratique avec emphase sur les aspects algorithmiques et leur mise en œuvre. Chaque notion abordée fait l'objet de travaux dirigés (TD) et/ou devoir à la maison (DM) sur ordinateur.

Organisation de l'évaluation

La méthode d'évaluation se bases sur l'évaluation de quatre livrables associés à chaque section du cours (*i.e.* les TD et DM associés à chaque section), qui feront l'objet de rapports synthétiques présentant et interprétant au besoin les résultats numériques obtenus et les codes de simulation associés en annexe. Chaque livrable sera noté sur 20 points et se verra attribué une échéance spécifique. Tout rapport non rendu se verra attribué la note de zéro.

Note finale = moyenne pondérée des quatre livrables.

Support de cours, bibliographie

Supports de cours : Transparents CentraleSupélec (français et anglais)

Bibliographie:

- W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery, "Numerical Recipes : The Art of Scientific Computing", 3ème édition, Cambridge University Press (2007)
- Joe D. Hoffman, "Numerical Methods for Engineers and Scientists", 2ème édition, Taylor & Francis (2001)
- J. Kiusalaas, "Numerical Methods in Engineering with Python 3", 3ème édition, Cambridge University Press (2013)

Moyens

Equipe Enseignante : Damien Rontani, Delphine Wolfersberger
Licence Matlab ou autre logiciel commercial / académique de simulation numérique.
Ordinateurs personnels des étudiants.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de mettre en œuvre des schémas numériques classiquement rencontrés en physique appliquée et en photonique dans un langage de programmation (ex. Python, Matlab ou C/C++). Sur des modèles de simulation multiphysiques plus avancées, ils seront en mesure d'utiliser les fonctions de bases d'un logiciel commercial ou académique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C6.4: Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle.
C7.1: Convaincre sur le fond. Être clair sur les objectifs et les résultats attendus. Être rigoureux sur les hypothèses et la démarche. Structurer ses idées et son argumentation. Mettre en évidence la valeur créée.

3PN1550 – Physique de l'information

Responsables : **Michel Barret**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le comportement des systèmes physiques est souvent un mélange entre un comportement déterministe pouvant être décrit par des équations qui permettent de prédire le futur du système en question, et un comportement aléatoire imprévisible. L'analyse et la modélisation des signaux aléatoires issus de ces systèmes permettent de définir et mesurer des invariants physiques. La théorie de l'information permet de quantifier la nature aléatoire d'un système physique et d'en prédire un comportement statistique, bien que le comportement exact ne puisse pas être prédit. En utilisant ces notions, il est alors possible d'optimiser un tel système afin d'avoir les meilleures performances possibles. Un exemple est les systèmes de transmission numériques actuellement très utilisés dans le monde des télécommunications.

Par ailleurs, de nouveaux paradigmes basés sur les propriétés physiques de systèmes quantiques multipartites permettent d'étendre les notions de théorie de l'information classique et d'envisager ainsi le développement de nouveaux algorithmes de factorisation ou d'optimisation ne présentant pas d'équivalent classique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

- Cours de Probabilités de 1A (CIP 1SL1000)
 - Cours de Traitement du Signal de 1A (1CC4000)
- Il est conseillé d'avoir également suivi
- Cours de Statistique et apprentissage de 1A (1CC5000)
 - Cours Système d'information et Programmation de 1A (1CC1000).

Plan détaillé du cours (contenu)

- Processus stochastique (6h de cours)
 - 1.1 Introduction (signaux aléatoires, loi temporelle, moments, stationnarité, ergodicité)
 - 1.2 Densité spectrale de puissance (théorème de Bochner, de Wiener-Khinchin, densité spectrale, densité spectrale de puissance)
 - 1.3 Notion d'estimation (objectifs de l'estimation, modélisation, point de vue bayésien / non bayésien, régression, estimation linéaire en moyenne quadratique)
 - 1.4 Analyse spectrale (échantillonnage, quantification, effet de fenêtrage, estimateur biaisé/non biaisé de la fonction d'autocorrélation, périodogramme et ses dérivés)
 - 1.5 Devoir à la maison (contrôle continu): TP d'analyse spectrale non paramétrique.
- Théorie de l'information (6h de cours)
 - 2.1 Introduction (communication numérique, les différents éléments d'une chaîne de communication numérique)
 - 2.2 Quantité d'information et entropie d'une source discrète sans mémoire (entropie, entropie conditionnelle, information mutuelle, capacité d'un canal discret)
 - 2.3 Entropie d'une source continue (extension de la notion d'entropie aux sources continues, théorème de Shannon, capacité d'un canal discret)
 - 2.4 Exemple de canal de transmission continu: la chaîne de transmission idéale (définition, calcul de taux d'erreurs et performance de la chaîne de transmission idéale)
 - 2.5 Devoir à la maison (contrôle continu) : simulation d'une situation de transmission et évaluation du taux d'erreur en fonction du bruit, estimation de l'entropie.

- Notion d'information quantique (3h de cours)
 - 3.1 Introduction (états quantique, mesure et observables, opérateur de densité, produit tensoriel d'espace)
 - 3.2 Information quantique (notion de qubits et implémentation physique. Système multi-qubits. Intrication quantique, entropie de Neumann et Décohérence quantique. Théorème de non-clonage. Téléportation quantique)
 - 3.3 Calcul quantique : introduction aux circuits de base (porte CNOT, phase, Hadamard). Illustration. Ouverture aux applications aux algorithmes quantiques.
 - 3.4 Devoir à la maison (contrôle continu) : Exercices d'information quantique

Déroulement, organisation du cours

16,5h de cours magistraux + 9h de devoirs à la maison contrôle continu + QCM.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu : 3 devoirs à la maison (DM); chacun d'eux donne lieu à un rapport individuel qui est noté. Et un examen final individuel sous la forme d'un questionnaire à choix-multiples (QCM) court.

N1 = note du DM "Analyse spectrale non-paramétrique" ;
 N2 = note du DM "Simulation d'une situation de transmission et évaluation du taux d'erreur en fonction du bruit. Estimation de l'entropie" ;
 N3 = note du DM "Exercices d'information quantique" ;

La note du contrôle continu vaut $CC = (4*N1+4*N2+3*N3)/11$;

La note finale vaut: $(65*Ncc + 35*Note_QCM)/100$.

L'absence non excusée à une évaluation individuelle donne la note 0. L'examen de rattrapage est un oral.

Support de cours, bibliographie

M. Barret, Traitement statistique du signal, Eyrolles, 2009.

Moyens

Equipe enseignante : Damien Rontani, Jean-Louis Gutzwiller et Michel Barret
 Ressource informatique : Une partie des travaux dirigés se fera avec un ordinateur (utilisation de Matlab ou de Python).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves devront être en mesure de proposer et d'évaluer la qualité d'estimateurs de densités spectrales de puissance de signaux aléatoires, de mettre en relation ces estimateurs avec les notions d'entropie et d'en déduire les performances possibles d'un système de transmission numérique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.2: Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème
- C1.3: Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation ;
- C7.1: Convaincre sur le fond. Être clair sur les objectifs et les résultats attendus. Être rigoureux sur les hypothèses et la démarche. Structurer ses idées et son argumentation. Mettre en évidence la valeur créée.

3PN1560 – TL Physique Expérimentale

Responsables : **Nicolas Marsal**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce module est de développer pour les étudiants des compétences expérimentales dans les domaines de l'électronique et de la photonique afin de préparer au mieux leur insertion dans les milieux industriels et de la recherche.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10, SG11

Prérequis

Connaissances de base en électromagnétisme, matériaux, optique

Plan détaillé du cours (contenu)

Différents travaux de laboratoire sur :

Simulation et caractérisation composants Semi-Conducteurs

Elaboration nanocomposants en salle blanche

Optique des faisceaux Gaussiens

Déroulement, organisation du cours

Travaux pratiques en salle de laboratoire

Organisation de l'évaluation

Compte rendu noté à rendre après chaque TL. Note moyenne sur les 3 TLs.

Support de cours, bibliographie

Photonic Devices, Jia Ming Liu

Fundamentals of Photonics, BAHAA E. & A. SALEH

Moyens

Intervenants: Piotr Antonik, Jean Louis Gutzwiller, Nicolas Marsal, Thierry Aubert, Delphine Wolfersberger

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre et savoir utiliser différentes sources et outils de caractérisation pour des application en photonique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Grâce à ce module expérimental, les étudiants apprendront les grandeurs et les outils physiques qui permettent de caractériser et analyser la lumière issue de sources laser, de simuler et caractériser des composants semi-conducteurs et de découvrir la croissance des matériaux en salle blanche.

C1.1 Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble.

C1.2 Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

C1.3 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C2.3 Identifier et acquérir de façon autonome les nouvelles connaissances et compétences nécessaires

C2.4 Produire des données et développer de la connaissance selon une démarche scientifique

3PN2010 – Photonique Non-Linéaire

Responsables : **Delphine Wolfersberger**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **14,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'enseignement dispensé dans ce cours propose une ouverture d'esprit sur la physique de la photonique non linéaire et constitue, pour tout ingénieur, un complément essentiel à toute formation en relation avec les télécommunications optiques ou le traitement optique de l'information.

Les phénomènes optiques non linéaires permettent de réaliser des dispositifs plus efficaces, plus compacts, à faible consommation énergétique assurant des fonctions telles que la conversion de fréquence ou le traitement du signal. Les thèmes étudiés concerneront, à la fois, les fondements et les applications de systèmes photoniques basés sur l'interaction non linéaire lumière – matière.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Chapitre 1 : Généralités - Introduction à l'Optique Non-Linéaire.

Chapitre 2 : Principes de base et formalisme de l'Optique Non-Linéaire.

Chapitre 3 : Equations d'ondes couplées et applications à la description de processus du 2ème ordre : génération de second harmonique, somme de fréquences, différence de fréquences, accord de phase, oscillateur paramétrique optique.

Chapitre 4 : Indice de réfraction dépendant de l'intensité et applications à la bistabilité optique, à l'auto-focalisation de lumière, et à la conjugaison de phase

Chapitre 5 : Diffusion spontanée et stimulée de la lumière : Rayleigh, Brillouin, Raman

Chapitre 6 : Effet photoréfractif et application à la création de guides d'onde photo-induits

Chapitre 7 : Dynamique non-linéaire de lasers à semi-conducteurs

Déroulement, organisation du cours

18h00 CM

Organisation de l'évaluation

Examen oral individuel

Support de cours, bibliographie

Nonlinear Optics - R. Boyd (Thirs Edition 2008)

Moyens

Equipe pédagogique : Delphine Wolfersberger & Marc Sciamanna

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce module, les élèves seront capables de :

Comprendre la physique et les principes de base de la Photonique Non Linéaire

Utiliser le formalisme de l'Optique Non Linéaire

Comprendre les équations d'ondes couplées et leurs applications pour la génération de 2nd harmonique, somme de fréquences, différences de fréquences, accord de phase, Oscillateur paramétrique optique

Comprendre les applications liées à la variation d'indice dans un matériau optique (bistabilité, conjugaison de phase)

Comprendre la diffusion Raman et ses applications

Aborder des phénomènes photoniques non linéaires plus exploratoires (autofocalisation, routage optique, dynamique non linéaire des lasers).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1 : Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

C2.3 : Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres.

C1.5 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

3PN2020 – Composants photoniques

Responsables : **Marc Sciamanna**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **20,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours de « composants photoniques » explique les principes physiques et les propriétés des composants qui génèrent et amplifient un signal optique. Plus particulièrement sont décrits le fonctionnement d'un laser à semi-conducteurs, ses caractéristiques statiques, son spectre, ses propriétés de bruit et de modulation. Les composants comme les amplificateurs optiques à semi-conducteurs ou les amplificateurs à fibre sont également présentés dans le contexte des télécommunications optiques. Les cours présentent à la fois les observations expérimentales et les modélisations mathématiques des composants.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Fondamentaux de l'amplification de la lumière par émission stimulée
- Propriétés physiques d'un laser semi-conducteur : gain, couplage phase-amplitude
- Propriétés statiques d'un laser semi-conducteur : seuil, modes longitudinaux
- Propriétés dynamiques d'un laser à semi-conducteur : oscillations de relaxation, bande passante de modulation, chirp
- Propriétés de bruit d'un laser à semi-conducteur
- Effets de la rétroaction optique

Déroulement, organisation du cours

Cours et travaux dirigés

Organisation de l'évaluation

Examen oral

Support de cours, bibliographie

« Semiconductor lasers », G. Agrawal and N.K. Dutta, Kluwers Academic Publishers (1993)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- comprendre le principe physique du laser et de l'amplification optique
- modéliser un composant photonique sous forme d'équations différentielles ou aux dérivées partielles

- interpréter les mesures expérimentales de spectre, bande passante et bruit d'un composant photonique laser ou amplificateur
- identifier le choix d'un composant en fonction de l'application envisagée en photonique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.3: Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C2.1 : Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

C2.3 : Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres

C7.1 : Sur le fond : Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

3PN2030 – Traitement optique de l'information

Responsables : **Nicolas Marsal**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **20,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les concepts de traitement de l'information optique sont abordés du point de vue de l'optique de Fourier. Le filtrage spatial, la corrélation optique et l'holographie sont utilisés à titre d'exemples. L'objectif est de décrire ces techniques avec le minimum de mathématiques, soulignant au contraire les principes et phénomènes physiques. Cette discipline a toujours été pressentie comme riche en perspectives d'applications depuis que l'on sait que la lumière calcule en se propageant...

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Connaissances de base en électromagnétisme, matériaux, optique

Plan détaillé du cours (contenu)

L'optique de Fourier et la formation des images
Traitement analogique de l'information Holographie analogique et numérique
Contrôle tout optique de l'information
Introduction au calcul neuro-morphique en utilisant la lumière

Déroulement, organisation du cours

Alternance entre cours, TD, TP en salle optique.
12h CM et 6h TD

Organisation de l'évaluation

Evaluation orale à la fin du cours sur base d'un exposé en groupe de 2 à 3 élèves devant l'entièreté de la classe (la note sera individuelle). Durée 1,5h.

Support de cours, bibliographie

Joseph W. Goodman, "Introduction to Fourier optics", McGraw-Hill, 1988, ISBN 0-07-023776-X
Paul Smigielski, "Holographie industrielle, Teknea, 1994, ISBN 2-87717-041-1
Thomas W. Cathey, "Optical information processing and holography", John Wiley & sons, 1974, ISBN 0-471-14078-3

Moyens

Intervenants de cours : Jean Maufoy, Nicolas Marsal, Damien Rontani

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Grâce à ce cours, les étudiants apprendront les grandeurs et les outils physiques et mathématiques qui permettent de comprendre et analyser la lumière, traitée ici comme un signal. Ils verront les applications visées en traitement optique de l'information, notamment la corrélation optique, les mémoires optiques, le calcul neuro-morphique basé sur la lumière.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble.

C1.2 Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

C1.3 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C7 Savoir convaincre

3PN2050 – TL Photonique 1

Responsables : **Delphine Wolfersberger**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ces travaux de laboratoire en photonique sont articulés autour de 4 expériences qui permettent aux élèves de manipuler et comprendre des notions abordées :

- dans le cours de Traitement optique de l'information (holographie)
- dans le cours de photonique non linéaire (modulateur électro-optique)
- composants photoniques (émission laser)
- électromagnétisme (propagation guidée et transmission d'informations dans les fibres optiques)

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Cours traitement Optique de l'information
Cours Photonique Non Linéaire
Cours Rayonnement

Plan détaillé du cours (contenu)

TP 1 : Holographie : L'objectif de ce TP est de réaliser un hologramme en transmission (lisible avec un laser) puis en réflexion (lisible en lumière blanche).

TP 2 : Modulateur Electro-optique : Pour transmettre de l'information à haut débit, il est nécessaire d'utiliser des modulateurs rapides (électro-optiques) : l'objectif de ce TP est de mettre en œuvre une transmission de son en espace libre.

TP3 : Emission laser : ce TP a pour but de manipuler et de régler une cavité laser pour permettre l'émission laser puis de caractériser le faisceau issu de cette cavité.

TP4 : Transmission de l'information sur fibre optique. Depuis plusieurs décennies, la fibre optique remplace progressivement le câble électrique dans les systèmes de transmission de l'information. Elle est aujourd'hui déployée directement chez l'habitant (FTTH Fiber To The Home).

Déroulement, organisation du cours

Travaux pratiques 12h00

Organisation de l'évaluation

Evaluation par un compte-rendu de TP de chaque manipulation

Moyens

Bancs optiques et composants photoniques

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Grâce à ces TPs les étudiants seront capables :

- De réaliser des alignements laser en espace libre à l'aide de matériels optiques dédiés : miroirs, lentilles, objectifs de microscopes, cubes séparateurs.
- De dimensionner un système optique permettant de générer des interférences
- De caractériser une source laser cohérente (waist, longueur d'onde, zone de Rayleigh).
- De manipuler des composants optoélectroniques pour les transmissions télécomms (sources lasers, modulateurs, fibres optiques, photodétecteurs)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1 : Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

C1.5 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

3PN2070 – Photonic computing

Responsables : **Damien Rontani**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le calcul photonique est un domaine en fort développement depuis une dizaine d'année d'environ et qui offre de nouveaux paradigmes en traitement de l'information en exploitant les propriétés physiques avantageuses de l'optique (i.e. large bande passante, parallélisme, faible consommation énergétique...). Ce module électif présentera sous la forme de séminaires autour de quatre thèmes principaux : (1) les approches neuromorphiques, (2) les technologies d'intégration pour la réalisation de systèmes sur puce photonique (Photonique sur silicium, cristaux photoniques, opto-mécanique, nano-optique), (3) l'optimisation par des systèmes physiques (ex. machine de Ising cohérente, optique quantique pour la résolution de problèmes complexes) et enfin (4) les technologies émergentes.

Prérequis

Modélisation (1CC3000)

Statistique et Apprentissage (1CC5000)

Traitement du signal (1CC4000)

Composants Photoniques (3PN2020)

Plan détaillé du cours (contenu)

Réseaux de Neurones Photoniques (4 cours)

- notion générique sur les réseaux de neurones artificiels (ANN), apprentissage supervisé non supervisé. Notions de calculateurs réservoir. Applications.
- Systèmes fibrés : systèmes analogiques
- Systèmes espace libre de large dimension

Intégration photonique pour le calcul (2 cours)

- Intégration des ANN sur plateforme photonique silicium. Briques de bases (guides, coupleurs, ...). Utilisation de micro-résonateur.
- Cavités à cristaux photoniques.

Systèmes photoniques pour l'optimisation (1 cours)

- Introduction aux machines de Ising

Approches émergentes (1 cours)

- Notions de réseaux profonds (deep nets). Deep Nets photoniques intégrées (ex.: systèmes diffractifs)
- Intégration volumique

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux sous forme de séminaires orientés sur la pratique avec de nombreux exemples sur les dernières avancées technologiques. Certaines notions feront l'objet d'illustration en laboratoire si le temps le permet.

Evaluation : un examen final.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours se fera sous la forme d'une synthèse d'article scientifique récent imposé par les encadrants. Cette analyse prendra la forme d'un mini-rapport individuel entre 5 et 10 pages.

Support de cours, bibliographie

Photonic Reservoir Computing : Optical Recurrent Neural Networks
Daniel Brunner, Miguel C. Soriano, and Guy Van der Sande
De Gruyter (2019)

Moyens

Equipe enseignante : Damien Rontani et Piotr Antonik
Démonstrateur expérimentaux dans les laboratoires du Campus de Metz pour illustrer le cours

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les objectifs d'apprentissage de ce cours sont les suivants :

- Compréhension des principes de mise en œuvre des architectures neuro-inspirées photoniques
- Acquisition d'une culture générale en calcul photonique notamment les différentes approches existantes et en développement

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C.1.5 Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire
C7.1: Convaincre sur le fond. Être clair sur les objectifs et les résultats attendus. Être rigoureux sur les hypothèses et la démarche. Structurer ses idées et son argumentation. Mettre en évidence la valeur créée.

3PN2090 – Sciences non-linéaires

Responsables : **Marc Sciamanna**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **14,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les sciences non-linéaires concernent à la fois la description des phénomènes non-linéaires et le développement des outils mathématiques permettant de les modéliser, de les expliquer et de les prédire. Par phénomène non-linéaire on entend la conséquence d'une relation non-linéaire entre les variables caractérisant l'état d'un système. Ce phénomène non-linéaire peut modifier la dynamique d'un système mais aussi son organisation spatiale.

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- histoire des sciences non-linéaires
- chaos
- fractales
- bifurcations de solutions stationnaires et périodiques
- synchronisation et réseaux d'oscillateurs couplés
- modélisation et résolution numérique

Déroulement, organisation du cours

Cours et travaux dirigés

Organisation de l'évaluation

Examen écrit

Support de cours, bibliographie

Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering, S. H. Strogatz, Westview Press (2014)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- décrire comment les sciences non-linéaires apparaissent dans l'histoire des sciences
- définir les chaos et ses propriétés (dimension fractale, exposant de Lyapunov, entropie)
- définir la synchronisation d'oscillateurs non-linéaires
- modéliser un système physique non-linéaire par des équations aux dérivées partielles
- déterminer les bifurcations d'un système non-linéaire
- simuler numériquement un système non-linéaire

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2. Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C1.3: Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C7.1: Convaincre sur le fond. Être clair sur les objectifs et les résultats attendus. Être rigoureux sur les hypothèses et la démarche. Structurer ses idées et son argumentation. Mettre en évidence la valeur créée.

3PN2210 – Green Photonics

Responsables : **Marc Sciamanna**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **14,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours "Green Photonics" décrit comment la photonique permet la conversion de lumière en énergie électrique et permet d'apprécier la performance de cette conversion en fonction du matériau choisi et des paramètres influençant le rendement solaire.

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Physique de l'effet photovoltaïque
- Matériaux pour les cellules solaires
- Dimensionnement d'une installation solaire
- Applications aux télécommunications optiques

Déroulement, organisation du cours

Cours et travaux dirigés

Organisation de l'évaluation

Examen écrit

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre la physique d'une photodiode
- Comprendre l'effet photovoltaïque
- Comprendre l'architecture matérielle d'une cellule solaire
- Estimer le rendement d'une installation solaire

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1 : Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

C2.3 : Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres.

C1.5 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

3PN2230 – Imagerie du vivant

Responsables : **Marc Sciamanna, Ninel Kokanyan**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **32,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

La biophotonique est l'étude des processus optiques dans les systèmes biologiques, à la fois ceux qui se produisent naturellement et dans les matériaux de bio-ingénierie. Un aspect particulièrement important de ce domaine est l'imagerie et la détection des cellules et des tissus. Cela comprend l'injection de marqueurs fluorescents dans un système biologique pour suivre la dynamique cellulaire et l'administration de médicaments.

Les sujets abordés comprennent les principes fondamentaux de l'optique et de la photonique, les propriétés optiques des tissus biologiques, les interactions lumière-tissu, la microscopie pour la visualisation des composants tissulaires, la spectroscopie pour l'analyse optique des propriétés des tissus et l'imagerie biomédicale optique. Il décrit également des outils et des techniques tels que les sources optiques laser et LED, les photodétecteurs, les fibres optiques, les sondes bioluminescentes pour le marquage des cellules, les biocapteurs à base optique, la résonance plasmonique de surface et les technologies de laboratoire sur puce. Parmi les applications figurent la tomographie par cohérence optique (OCT), les modalités d'imagerie optique, la thérapie photodynamique (PDT), la photobiostimulation ou la thérapie par la lumière de bas niveau (LLLT), diverses techniques microscopiques et spectroscopiques, la caractérisation des tissus, l'ablation des tissus au laser, le piégeage optique et l'optogénétique. Des exemples concrets expliquent plus en détail le matériel et comment il peut être appliqué à des conceptions pratiques, et les problèmes de devoirs aident à tester la compréhension du texte par les lecteurs.

Prérequis

Cours de Physique Quantique de 1A

Plan détaillé du cours (contenu)

- 1 Structures des cellules et tissus biologiques
 - 1.1 Macromolécules
 - 1.2 Cellules biologiques
 - 1.3 Tissus et organes biologiques
- 2 Principes de base de la lumière
 - 2.1 Caractéristiques Lightwave
 - 2.2 Polarisation
 - 2.3 Réflexion et réfraction
 - 2.4 Interférence
3. fibres optiques pour les applications biophotoniques
 - 4 Fondamentaux des sources lumineuses.
 - 4.1 Radiométrie
 - 4.2 Diodes électroluminescentes
 - 4.3 Lasers pour la biophotonique
5. Interactions lumière-tissu
 - 5.1 Applications de réflexion et de réfraction
 - 5.2 Absorption dans les tissus biologiques
 - 5.3 Mécanismes d'interaction lumière-tissu
 - 5.4 Photobiomodulation
 - 5.5 Photoablation
 - 5.6 Photoablation induite par plasma
6. Sondes optiques et biocapteurs
 - 6.1 Vue d'ensemble des biocapteurs et des sondes
 - 6.2 Configurations de sonde à fibre optique
 - 6.3 Capteurs optiques

- 6.4 Capteurs à fibre optique de biorecognition
- 6.5 Capteurs basés sur les mouvements de fibre optique
- 6.6 Capteurs à fibre microcourbée
- 6.7 Capteurs interférométriques
- 6.8 Biocapteurs à fibre de cristal photonique
- 7. Applications de la technologie biophotonique
 - 7.1 Manipulation optique
 - 7.2 Outils d'analyse miniaturisés

Déroulement, organisation du cours

CM, TD, TL

Organisation de l'évaluation

Travaux laboratoire noté (25%), examen final (75%)

Moyens

Equipe pédagogique : Ninel Kokanyan, Laurent Mugnier, Vincent Michau, Cyril Petit

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Évaluer les avantages et les inconvénients d'une technique de biophotonique particulière pour résoudre les problèmes à l'interface de l'ingénierie et de la biologie des systèmes vivants
- Formuler le rôle de la photonique en biologie et biomédecine
- Dériver les principaux concepts impliqués dans l'interaction du rayonnement optique avec les systèmes vivants de la biologie
- Argumenter les principales applications de la biophotonique notamment dans le domaine de l'imagerie et du diagnostic
- Résoudre des problèmes numériques qui illustrent les principes de phénomènes tels que la luminescence, l'absorption et la diffusion

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1. : Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

C3.3. : Mettre en œuvre concrètement des idées novatrices et s'engager sur ses décisions, évaluer les solutions, passer à l'industrialisation pour délivrer des résultats tangibles

3PN2240 – Télécommunications optiques

Responsables : **Jean-Louis Gutzwiller**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **16,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours aborde les principaux thèmes intervenant dans les télécommunications optiques.

- Principes physiques, composants, effets des limitations (atténuation, dispersion) sur le taux d'erreur et le débit.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Rappels sur les notions de guidage, atténuation et dispersion dans une fibre optique
- Composants passifs : coupleurs, isolateurs, circulateurs, filtres et coupleurs WDM.
- Réflectométrie optique dans le domaine temporel pour la localisation de défauts
- Modulateurs électro-optiques
- Récepteurs optiques : détection directe et cohérente
- Gestion de la dispersion (influence de la dispersion sur le débit maximal)
- Budget optique (influence de l'atténuation sur le taux d'erreur)
- Multiplexage en longueur d'onde (WDM)
- Composants électroniques : Laser et photodiodes
- Bruit

Déroulement, organisation du cours

15h de CM/TD.

1h30 examen écrit.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit d'une durée de 1h30.

En cas d'échec de l'examen, une nouvelle session sera proposée dans les mêmes conditions que l'examen initial.

Moyens

Ce cours sera sous forme de conférences et de travaux dirigés données par deux professeurs :

- Jean-Louis Gutzwiller

- Marc Wuilpart

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capables de comprendre les enjeux techniques associés à la mise en œuvre d'un système de communication optique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 : Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

C2.2 : Transposer à d'autres champs disciplinaires, généraliser des connaissances.

3PN2250 – TL Photonique 2

Responsables : **Ninel Kokanyan**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **20,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce TL vise à enseigner les notions essentielles des mesures optiques en donnant les outils nécessaires rendant autonome l'élève sur un montage optique.

Prérequis

Connaissances de base en optique et physique quantique

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Etudes des principaux composants du banc expérimental :
 - le détecteur CCD
 - le source laser
 - les filtres (interférentiel, notch, edge)
2. Principes et applications de la spectroscopie Raman
 - Mise en place du montage optique
 - Application à l'étude de plastiques
 - Application à l'étude d'un cristal

Déroulement, organisation du cours

Travail expérimental et en équipe avec des explications aux étudiants tout en laissant une grande autonomie.

Organisation de l'évaluation

Compte rendu écrit.

Support de cours, bibliographie

SIMON, Guilhem (dir.) (2020), *Spectroscopies vibrationnelles. Théorie, aspects pratiques et applications*, Editions des archives contemporaines, France (<https://eac.ac/books/9782813002556>)

Moyens

Dispositifs expérimentaux optiques.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Grace à ce TL les élèves seront en mesure de :

- effectuer un montage optique

- manipuler différents composants optiques (filtres, spectromètre, lentilles, polariseurs, ...)
- concevoir un capteur Raman sur table
- effectuer des mesures Raman sur différents types d'échantillons
- identifier différents types de matériaux avec la technique Raman

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2 Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

3PN2260 – Instrumentation optique

Responsables : **Nicolas Marsal**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **9,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de présenter aux étudiants les développements récents et importants de l'instrumentation optique pour la photonique, afin de préparer au mieux leur insertion dans les milieux industriels et de la recherche.

Prérequis

Connaissances de base en électromagnétisme, matériaux, optique.

Plan détaillé du cours (contenu)

En particulier, nous étudierons :

- Génération d'impulsions ultra courtes : Lasers femtosecondes (Laser Ti:Sapphir)
- Emission de longueur d'onde au moyen d'un Oscillateur Paramétrique Optique (OPO)
- Mesure d'impulsion au moyen d'un auto-corrélateur optique
- Spectroscopie Raman et FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
- Le Microscope à Balayage Electronique (MEB) de grossissement 1000000x

Déroulement, organisation du cours

9h de cours et 3h de TD.

Organisation de l'évaluation

Evaluation orale à la fin du cours sur base d'un exposé en groupe de 2 à 3 élèves devant l'entièreté de la classe (la note sera individuelle). Durée 1,5h

Support de cours, bibliographie

Photonic Devices, Jia Ming Liu

Moyens

Intervenants : Nicolas Marsal, Ninel Kokanyan

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre et savoir utiliser différentes sources et outils de caractérisation pour des applications en photonique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble.

C1.2 Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

C1.3 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C2.3 Identifier et acquérir de façon autonome les nouvelles connaissances et compétences nécessaires

C2.4 Produire des données et développer de la connaissance selon une démarche scientifique

3PN2265 – Télécommunications numériques et électronique associée

Responsables : **Yves Houzelle, Jean-Louis Gutzwiller**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **23,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Depuis une décennie, l'électronique française s'est investie dans des domaines à forte valeur ajoutée et des secteurs de pointe comme l'aéronautique, la défense, le médical, le paiement par cartes à puces, les télécommunications à fibre optique..., abandonnant les produits grand public comme les téléviseurs et les téléphones.

Dans le domaine des télécommunications numériques, les systèmes électroniques couvrent un vaste domaine d'utilisation, les techniques utilisées allant de l'électronique analogique, avec l'amplificateur comme fonction de base, à l'électronique numérique qui implémente la part « intelligente » des systèmes. De plus, la gamme des fréquences s'étend sur un très large spectre allant des applications basses fréquences comme les traitements audio à des applications hautes fréquences comme les communications radio et les transmissions sur fibres optiques.

Les contraintes très différentes liées à ces thématiques très variées imposent des outils de conceptions différents et adaptés à chaque problématique.

Ce cours permettra aux étudiants d'acquérir les concepts et les outils qui servent à dimensionner des systèmes électroniques utilisés en télécommunications.

Plan détaillé du cours (contenu)

Les différents chapitres abordés seront les suivants :

- Principe des émetteurs et des récepteurs
- La propagation et les imperfections associées
- Atténuation et bilan de liaison
- L'amplification.
- La caractérisation des dispositifs par les paramètres S.
- Les boucles à verrouillage de phase.
- Le bruit dans les circuits électroniques.
- Bruit et taux d'erreur

Les concepts et les outils seront présentés par la mise en œuvre d'applications comme, par exemple, les communications sur fibres optiques ou les transmissions avec modulation en largeur d'impulsions.

Une simulation d'une transmission non idéale sera réalisée en langage Python.

Déroulement, organisation du cours

Un total de 22h30 qui comprend des cours et des TD qui se déclinent en 6 cours + 9 TD (séances de 1h30)

Yves Houzelle : 6 cours + 2 TD

Jean-Louis Gutzwiller : 7 TD

Un examen final de 1h30.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera sous la forme d'un exposé oral et du compte-rendu de la simulation d'une transmission non idéale.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre les enjeux techniques et scientifiques associés à la mise en œuvre d'un système de communication.
Connaître les concepts et les outils de l'électronique radiofréquence.
Savoir dimensionner des fonctions électroniques utilisées en télécommunications.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

3PN2500 – Projet PNT PSY

Responsables : **Marc Sciamanna**

Département de rattachement : **MENTION PHOTONICS AND NANO-SYSTEMS ENGINEERING (METZ)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet de fin d'études s'inscrit dans un double objectif pédagogique : a) permettre à l'étudiante de développer ses compétences de gestion de projet et notamment d'identification des livrables et leur enchaînement temporel, b) proposer à l'étudiant. e d'approfondir ses connaissances théoriques et/ou expérimentales dans un domaine de spécialisation en recherche ou une problématique industrielle.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10, SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le projet est choisi parmi un ensemble de projets de recherche et/ou de projets industriels, souvent proposés en partenariat avec des laboratoires de recherche et développement publics ou privés en France ou en Europe.

Déroulement, organisation du cours

- Encadrement du projet par un ou deux enseignants-chercheurs, avec la contribution parfois de chercheurs
- Première séance de projet consacrée à la prise en main du problème
- Points réguliers à gérer par les étudiants.e.s. qui ont le rôle de chef de projet
- Restitution du projet sous forme de rapport écrit et présentation orale
- Le livrable est un logiciel, un fichier de résultats, et/ou un montage expérimental

Organisation de l'évaluation

Présentation orale et examen du rapport écrit devant un jury interne à CentraleSupélec, incluant dans le cas d'un projet en partenariat la présence d'un ou plusieurs intervenants externes à CentraleSupélec.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Gestion de projet
- Rédaction d'un rapport écrit
- Présentation orale
- Modélisation de systèmes complexes
- Expérience dans les domaines scientifiques et techniques de la mention

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1. : Analyser : étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc.

C2.2. : Importer des connaissances d'autres domaines ou disciplines

C3.2. : Proposer des alternatives, formuler des idées en intégrant les expertises externes nécessaires (techniques, commerciales, RH, financières, juridiques, etc.), intégrer les risques et l'incertitude

C7.1. : Sur le fond : Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

C8.4. : Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation

3PN3010 – Optique quantique

Responsables : **Bruno Palpant**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours constitue une introduction à l'optique quantique. Il comprend deux parties, l'une consacrée à la physique des lasers, l'autre à des thématiques sélectionnées de photonique quantique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction aux lasers

- Quelques rappels
- LASER : principe de fonctionnement
- Oscillation laser
- Milieu amplificateur
- Cavité
- Propriétés du faisceau laser
- Lasers impulsions : principe

2. Cohérence et quantification des champs

- Largeur spectrale d'une transition quantique
 - Élargissement Doppler
 - Élargissement radiatif
 - Filtrage par la cavité
- Cohérences
 - Analyse interférométrique de la lumière
 - Exemple préalable : l'onde monochromatique, la lumière qui n'existait pas
 - Perte de cohérence
 - Corrélation d'ordre deux
- Quantification du rayonnement électromagnétique
 - Énergie du champ électromagnétique
 - États du champ
 - États nombre
 - États cohérents

3. Visite d'expériences en laboratoire

Déroulement, organisation du cours

Cours en présentiel avec support projeté ou au tableau

Organisation de l'évaluation

Examen écrit d'1h30

Support de cours, bibliographie

Polycopié pour la partie Cohérence et quantification des champs +

- Hichem Dammak : Physique des Ondes. Polycopié du cursus ingénieur CentraleSupélec, 2022.
- Le laser (une introduction à), Nicolas Treps et Fabien Bretenaker, EDP Sciences
- Claude Fabre : Atomes et Lumière, Interaction Matière-Rayonnement.
- Mark Fox : Quantum Optics. Oxford University Press, 3rd édition, 2007.
- Gilbert Grynberg, Alain Aspect et Claude Fabre : Introduction aux lasers et à l'optique quantique. Ellipses, 3rd édition, 1997.
- Rodney Loudon : The Quantum Theory of Light. Oxford Science Publications, 3rd édition, 2000.
- Daniel Walls et Gerard Milburns : Quantum Optics. Springer, 3rd édition, 1994.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves auront acquis des notions de base leur permettant, soit d'aller plus loin dans ce domaine en débutant un travail de recherche, soit de posséder une bonne culture scientifique pour des développements académiques dans une discipline connexe ou un travail applicatif s'appuyant sur les technologies quantiques.

3PN3020 – Semi-conducteurs

Responsables : **Romarc Landfried**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à comprendre les propriétés électriques macroscopiques des solides, et par extension le fonctionnement des composants électroniques basiques, à partir des propriétés microscopiques de ces constituants.

En partant de la description théorique des cristaux, puis en s'appuyant sur la physique statistique, nous étudierons la conduction dans les solides et plus particulièrement dans les semi-conducteurs. Enfin, la jonction PN, à la base de la quasi-totalité des composants électroniques simples, sera abordée avant d'étudier quelques cas simples (transistor bipolaire et/ou MOSFET par exemple)

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Notion de physique du solide, connaître les bases de la physique statistique, posséder quelques notions de physique quantique.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Rappel de la structure cristalline : cohésion dans les solides, cristallographie (espace direct, espace réciproque, zone de Brillouin, etc...), diffraction X, élaboration et défauts cristallins
2. Physique statistique : Rappels de thermodynamique, notion de micro-état, entropie statistique, fonction de partition, ensemble canonique, grand canonique, etc... distribution de Fermi-Dirac, distribution de Bose-Einstein
3. Electrons dans les solides cristallins : théorie de Sommerfeld (dynamique des électrons libres, modèle simple de conduction dans les métaux), théorie de Bloch-Brillouin (dynamique des électrons quasi-libres, modèle simple de conduction dans les métaux et les semi-conducteurs)
4. Semi-conducteurs : principales caractéristiques à l'équilibre (densité de porteurs, SC intrinsèque et extrinsèque), phénomènes hors équilibre (courants électriques de diffusion/dérive, génération/recombinaison, équations de continuité), la jonction PN

Déroulement, organisation du cours

Cours : 9 x 1h30 + 1h30 d'examen écrit

Organisation de l'évaluation

1h30 d'examen écrit

Support de cours, bibliographie

C.KITTEL « Physique de l'état solide » (Dunod)

S.O. KASAP « Electronic Materials and Devices » (Mc Graw Hill)

N.W. ASHCROFT, N.D. MERMIN « Solid-State Physics » (Saunders College Publishing)
C. NGÔ, H. NGÔ « Physique statistique, introduction » (Dunod)
H. MATHIEU « Physique des Semiconducteurs et des Composants électroniques » (Masson)
M. GERL, J.-P. ISSI « Physique des Matériaux » (Presses Polytechniques et Universitaires Romandes)
G. FOURNET « Physique électronique des solides » (Eyrolles)

Moyens

15 HPE (Cours + examens)
Exercices en ligne (temps personnel)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, l'élève sera capable de :

- Connaitre les phénomènes de conduction dans les solides,
- Connaitre les ordres de grandeurs liés aux semi-conducteurs et plus généralement de décrire un semi-conducteur (modèle, grandeurs accessibles, etc...
- Savoir parfaitement décrire les phénomènes se produisant dans une jonction PN,
- Comprendre le lien entre les phénomènes microscopiques y prenant place et savoir comment moduler ces grandeurs pour obtenir le fonctionnement d'un composant souhaité.

3PN3040 – Expérimentation de systèmes quantiques

Responsables : **Mohammed Serhir**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce module s'appuie sur une pédagogie axée sur l'apprentissage par projet. Sa signature est expérimentale. Il intervient à la fin de la séquence SG10 pour apporter un éclairage applicatif aux enseignements abordés dans la thématique que l'on peut résumer par « quantum optics and electronics ». Ce module est imaginé selon une approche bidirectionnelle : ascendante (bottom-up) et descendante (top-down) pour apporter une flexibilité bienvenue et encourager l'esprit d'initiative. Les projets sont menés par une équipe d'étudiants (binôme ou trinôme) et les livrables sont à présenter selon un format libre : vidéos enregistrées, démonstrations, diapositives ou mise en scène adéquate. Les étudiants sont encouragés à profiter de l'écosystème académique de Paris-Saclay et mettre à contribution son potentiel de recherche pour enrichir leurs projets expérimentaux.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Les groupes seront composés de binômes/trinômes. Chaque groupe travaillera pendant une durée totale de 24h (8 x 3h) sur le développement de son projet expérimental. L'organisation, la mise en œuvre et la présentation du projet sont de la responsabilité du groupe. Les élèves pourront s'appuyer sur les encadrants et l'infrastructure matériel et humaine des laboratoires de l'École. Parmi les projets expérimentaux que l'on peut aborder font appel aux kits expérimentaux : 1-Quantum Cryptography kit, 2-Quantum Eraser kit, 3-Bomb Tester kit, 4-Michelson interferometer kit, 5-Laser diode controller kit.

Pour mettre en évidence la cryptographie quantique, nous utiliserons le montage expérimental exploitant le kit « Quantum Cryptography » de ThorLabs. Ce dispositif offre la possibilité de : i) découvrir comment les informations peuvent être cryptées et envoyées en utilisant la polarisation de la lumière, ii) générer une clé de cryptage qui permet une communication privée, iii) superviser le processus de cryptage, transmission et décryptage d'un message secret.

Le deuxième kit « Quantum Eraser » a pour objectif de mettre en évidence le principe de complémentarité de la mécanique quantique et l'effacement de l'information du chemin. Conçue pour illustrer les principes fondamentaux de la physique quantique, cette expérience montre clairement comment la nature est souvent contre-intuitive à l'échelle quantique.

Le troisième dispositif expérimental « Bomb Tester Analogy Kit » met en évidence une expérience pour démontrer le principe de « mesure quantique sans interaction ». Le quatrième dispositif est « l'interféromètre de Michelson ». L'utilisation d'un laser et des LEDs permet l'exploration du phénomène d'interférence et d'examiner comment la longueur de cohérence de différentes sources lumineuses affecte la sortie de l'interféromètre. Les élèves peuvent également utiliser le kit pour déterminer l'indice de réfraction des plaques de plexiglas où le coefficient de dilatation thermique d'une tige d'aluminium. D'autres travaux expérimentaux sont en cours de

définition. Ils couvrent un spectre allant de la caractérisation des sources lasers en passant par l'analyse spectrale du signal à la sortie d'une photodiode pour la classification des différents types de bruit.

Nous encourageons les élèves à proposer des sujets en lien avec leur sensibilité/projet scientifique. Ils pourront travailler avec les chercheurs de CentraleSupélec et de l'Université Paris-Saclay pour approfondir leurs réflexions.

Déroulement, organisation du cours

La mise en place des projets expérimentaux est étalée sur 24 heures (8 x 3 heures).

Organisation de l'évaluation

Présentation ou vidéo, démonstration commentée

La compétence C.1 est évaluée à travers la proposition d'un montage expérimental cohérent. La compétence est validée si les concepts physiques sont clairement énoncés/posés.

La compétence C.7 est validée si le groupe arrive à objectiver leurs pensées à travers un montage expérimental clair et des indicateurs quantifiables (mesure)

Support de cours, bibliographie

- Matériel disponible dans les laboratoires de l'École.
- Possibilité de collaboration avec des partenaires académiques.
- Caractéristiques et datasheet des composants

Moyens

Équipe enseignante : les enseignants interviennent selon leurs expertises thématiques
Kits expérimentaux associés
La Fabrique

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Après le module « Projets expérimentaux en systèmes quantiques » les élèves seront capables de :

- Dimensionner / Spécifier un système expérimental pour étudier un phénomène physique.
- Caractériser/manipuler des composants pour une expérience donnée.
- Établir des hypothèses de travail et déployer un plan expérimental.
- Modéliser et évaluer les limitations des approches proposées.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2 : Savoir utiliser un modèle présenté en cours de manière pertinente

C1.3 : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation et de l'expérimentation

C1.4 : Spécifier et concevoir une maquette expérimentale

C1.5 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire

C7.1: Convaincre sur le fond. Être clair sur les objectifs et les résultats attendus. Être rigoureux sur les hypothèses et la démarche. Structurer ses idées et son argumentation. Mettre en évidence la valeur créée.

3PN3050 – Technologies quantiques : communication, calcul et capteurs

Responsables : **Benoit VALIRON**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de ce module est de présenter trois axes principaux identifiés à la fois comme critiques et prometteurs par la Commission Européennes dans le cadre de la seconde révolution quantique. Actuellement en train de sortir des laboratoires les retombées grand public sont attendues à 5-15 ans. L'enseignement se fera sous forme d'une étude de cas en partant des concepts physiques mis à jeu pour aboutir au dimensionnement d'un système permettant d'adresser un enjeu concret.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Communication et cryptographie
- Ordinateur et calcul
- Capteurs

Déroulement, organisation du cours

Études de cas.

Organisation de l'évaluation

Différente suivant chacune des études de cas, elles seront annoncées par les intervenants lors de chacune de leurs premières séances.

Moyens

Études de cas.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Connaissance des principales technologies quantiques actuelles et de leurs applications, ainsi que des rudiments de recherche et développement.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- (C1.2) Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines.
- (C1.3) Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème.
- (C1.4) Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation.
- (C1.5) Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe.
- (C2.2) Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior).

3PN3060 – Matériaux fonctionnels et intelligents

Responsables : **Pierre-Eymeric Janolin**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours introduit la notion de fonctionnalité d'un matériau en prenant l'exemple typique des matériaux dits ferroélectriques. Nous verrons comment cette fonctionnalité est mise à profit dans des technologies d'aujourd'hui et de demain, et sur quels modèles physiques simples elle repose. Nous montrerons aussi comment une description phénoménologique de la ferroélectricité peut être aussi appliquée à d'autres phénomènes physiques comme le ferromagnétisme. Enfin, nous discuterons comment un matériau fonctionnel peut-être enrichi pour devenir "multifonctionnel".

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- 1) Introduction générale aux matériaux fonctionnels : notion de paramètre d'ordre, susceptibilités/fonction de réponse, bases de la théorie de Landau des transitions de phase.
- 2) Actionnement, positionnement fin, détection : piézoélectrique, électrostrictif.
- 3) Nanomatériaux pour la basse consommation et l'informatique avancée.
- 4) Matériaux pour l'énergie : Effet photovoltaïque, matériaux électro-caloriques pour la réfrigération, matériaux thermoélectriques.

Déroulement, organisation du cours

Cours Magistraux et étude de cas.

Organisation de l'évaluation

Analyse d'articles détaillées et présentation détaillée.

Support de cours, bibliographie

Slides de cours disponibles.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Ce cours vise à donner les notions de bases pour comprendre des articles scientifiques sur le sujet des matériaux ferroïques fonctionnels et intelligents.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

À la fin de ce cours, les étudiants 1) comprendront le concept de matériau fonctionnel et ses conséquences sur des technologies représentatives ; 2) sauront utiliser des descriptions et modèles physiques simples pour le dimensionnement d'applications spécifiques.

3PN3070 – Magnétisme et supraconductivité

Responsables : **Francois Ladieu, Pierre-Eymeric Janolin**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours est séparé en deux thèmes :

Supraconductivité: Introduction à la Supraconductivité : Manifestations expérimentales de la Supraconductivité. Théorie Microscopique de Bardeen Cooper et Schrieffer. Supraconducteurs conventionnels. Céramiques à haute température critique.

Magnétisme: Origine quantique du magnétisme, les différentes manifestations du magnétisme (dia- para-, ferro-magnétisme) et leur origine, interactions magnétiques et couplages avec d'autres degrés de liberté.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Cours de physique quantique de première année, notamment les parties sur le spin, la RMN, l'atome d'hydrogène et les orbitales atomiques. Les élèves sont fortement encouragés à revoir ces notions et refaire les TDs associés afin de se rafraichir la mémoire.

Plan détaillé du cours (contenu)

Supraconductivité:

- 1-Historique des découvertes en Supraconductivité et principales applications pratiques.
- 2-Propriétés caractéristiques d'un supraconducteur
- 3-Condensation de Bose et Supraconductivité
- 4-Equations de London, Quantification du flux, Effet Josephson, Squid
- 5-Théorie microscopique de Bardeen Cooper et Schrieffer
- 6-Supraconducteurs de type I et de type II
- 7-Cuprates supraconducteurs à haute température critique

Magnétisme:

- 1- Pourquoi un cours sur le magnétisme: marché, nécessité d'innovation, type de matériaux magnétiques et leurs applications
- 2- Quels sont les éléments magnétiques et pourquoi ?
- 3- De l'atome isolé au composé
- 4- Magnétisme itinérant
- 5- Interaction d'échange: origine de l'ordre magnétique
- 6- Couplages

Déroulement, organisation du cours

Supraconductivité: Cours magistral

Magnétisme: Cours magistral, exercices en autonomie

Organisation de l'évaluation

Présentation sur la base d'articles scientifiques et échanges avec un des auteurs.

Support de cours, bibliographie

Magnétisme:

"Magnétisme I : Fondements", ouvrage collectif sous la direction d'Etienne du Trémolet de Lacheisserie, laboratoire Louis Néel, Grenoble, Collection Grenoble Université Sciences: chapitre 7 notamment.

"Simple models in magnetism": Ralph Skomski, Oxford Graduate Texts

Ces ouvrages sont disponibles à la bibliothèque.

Moyens

Supraconductivité: Polycopié, copie des transparents, références.

Magnétisme: copie des transparents, références.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Supraconductivité: Compréhension de la nature intrinsèquement quantique de la Supraconductivité. Couplage attractif entre électrons via des phonons virtuels. Utilisation pratique et industrielle des supraconducteurs. Brisure de l'invariance de jauge.

Magnétisme: compréhension des mécanismes amenant à l'existence de propriétés magnétiques et de leurs interactions avec d'autres propriétés. Capacité à comprendre les ressorts sous-jacents à un comportement magnétique.

3PN3080 – Lumière et chaleur à basse échelle

Responsables : **Thomas Antoni**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Quel est le comportement de lumière en dessous de sa longueur d'onde ? Qu'est-ce que la chaleur à l'échelle d'une molécule ? Quelle est l'influence de leur nature quantique ? Ce cours transmet aux élèves les connaissances de base sur la physique de la chaleur et de la lumière aux échelles les plus basses actuellement accessibles. En effet, à de telles dimensions elles révèlent de riches propriétés à forts potentiels technologiques. Les aspects fondamentaux seront exposés et placés dans ces perspectives d'applications.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun.

Plan détaillé du cours (contenu)

Chaleur :

- Fluctuations et dissipation dans la matière condensée
- Conduction : les phonons et le transport thermique
- Rayonnement thermique : du macro au nano
- Relaxation Brownienne dans les liquides
- Systèmes désordonnés

Lumière :

1. Introduction & rappels
 - 1.1. Rappels
 - 1.2. Approche algébrique de l'électromagnétisme
 - 1.3. Miroirs plus petits que la longueur d'onde (étude de cas)
2. Cristaux photoniques
 - 2.1. Position du problème
 - 2.2. Forme des modes
 - 2.4. Filtrage d'un laser pour la détection de polluants (étude de cas)
 - 2.5. Mesure du champ dans une cavité (illustration)
3. Polaritons de surface
 - 3.1. Un peu de contexte
 - 3.2. Modèles de permittivité
 - 3.3. Solutions des équations de Maxwell
 - 3.4. Détektivité d'une caméra à puits quantique (étude de cas)
 - 3.5. Mesure de la relation de dispersion d'une onde de surface (illustration)
4. Optomécanique
 - 4.1 Pression de radiation
 - 4.2 Observation du régime quantique
 - 4.3 Refroidissement optique

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit.

Support de cours, bibliographie

Partie lumière :

- Polycopié
- John D. Joannopoulos, Steven G. Johnson, Joshua N. Winn et Robert D. Meade : Photonic Crystals: Molding the Flow of Light. Princeton University Press, 2nd édition, 2008.

Moyens

Cours magistral.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves auront une vue d'ensemble des enjeux, phénomènes, méthodes et applications liés à ces domaines, et seront à même de transférer les connaissances acquises vers d'autres aspects non abordés durant le cours.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

(C1.1) Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble.

(C1.2) Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines.

(C1.3) Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème.

(C1.4) Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation.

(C1.6) Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

(C2.1) Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur. Transposer à d'autres champs disciplinaires, généraliser des connaissances.

Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres. Créer de la connaissance, dans une démarche scientifique.

(C7.1) Convaincre sur le fond. Être clair sur les objectifs et les résultats attendus. Être rigoureux sur les hypothèses et la démarche. Structurer ses idées et son argumentation. Mettre en évidence la valeur créée.

3PN3110 – Milieux hors équilibre, plasmas

Responsables : **Marie-Yvonne Perrin, Christophe Laux**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours permet d'acquérir les notions de base pour appréhender les plasmas et les milieux hors équilibre qui interviennent dans de nombreuses applications technologiques (démonstrateur de fusion ITER, combustion assistée par plasma, contrôle d'écoulements aérodynamiques, rentrée atmosphérique, ...), mais aussi naturelles puisque les plasmas représentent plus de 99% de la matière visible.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Physique quantique et statistique (recommandé)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction aux plasmas : phénomènes collisionnels et radiatifs, paramètres caractéristiques des plasmas
- Introduction aux plasmas de fusion
- Physique des écoulements plasmas : Equation de Boltzmann, équations fluides générales et par espèce, propriétés de transport (diffusion ambipolaire, conductivité électrique,)
- Physique des décharges plasmas (décharge de Townsend, luminescente, arc, streamer) et applications industrielles des plasmas froids
- Plasmas de rentrée atmosphérique

Déroulement, organisation du cours

Le cours se divise en parts égales d'apports théoriques et de TD d'application. Les TD d'application mettent en œuvre les concepts du cours pour expliquer ou modéliser des applications pratiques des plasmas. Par exemple, les modèles fluides et cinétiques sont directement utilisés pour comprendre et prédire le phénomène de vent ionique qui est utilisé aujourd'hui dans les purificateurs d'air, et qui est largement étudié dans la recherche académique comme méthode pour réduire la traînée des avions. Autre exemple, le cours sur les plasmas de rentrée atmosphérique est directement mis en œuvre pour prédire les flux radiatifs sur les véhicules spatiaux.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de 1h30

Support de cours, bibliographie

Diapositives de cours fournies.

- Partially Ionized Gases, M. Mitchner, Charles H. Kruger Jr., Wiley series in plasma physics, 1992.
- Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, M.A. Lieberman and A.J. Lichtenberg, John Wiley and Sons, New York, 1994

Moyens

Cours (50%), TD (40%) et visite d'expériences plasmas au laboratoire EM2C (CNRS, CentraleSupélec) (10%)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Propriétés fondamentales des plasmas
- Phénomènes physiques dans les décharges plasmas
- Equations de description fluide des plasmas : typiquement équations de conservation d'espèces, de quantité de mouvement et d'énergie pour chaque espèce et pour le fluide global
- Phénomènes réactifs dans les plasmas - cinétique réactionnelle : application à la génération de plasmas super-ionisés, à la combustion assistée par plasma, à la valorisation du CO₂ et à la production d'hydrogène vert
- Rayonnement plasmas : étude du rayonnement radiatif sur une sonde de rentrée atmosphérique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A l'issue de ce cours, les étudiants auront compris les phénomènes fondamentaux dans les plasmas ainsi que la physique des décharges permettant de produire l'essentiel des plasmas utilisés dans les applications industrielles. Ils auront un vaste panorama des enjeux industriels des plasmas dans les domaines de l'énergétique, de l'aérospatial, du traitement de matériaux.

Les étudiants auront eu plusieurs opportunités de manipuler les concepts pour analyser et comprendre des exemples typiques tirés d'applications industrielles.

3PN3120 – Des étoiles aux planètes

Responsables : **Éric Pantin, Sacha Brun**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Partie I : Physique Stellaire et Interaction Étoiles-Planètes (12 h)

Matière, rayonnement, thermodynamique, magneto-hydrodynamique, turbulence, hélio/astérosismologie) et une large gamme de phénomènes.

Responsable du cours : Dr. A.S. Brun

Intervenants : Dr. A.S. Brun, Dr. R. Garcia, Dr. A. Strugarek

Objectifs d'apprentissage

Pourquoi les étoiles brillent-elles ? Quel est leur destin ? Ont-elles toujours existé ? Quelle est l'origine de leur magnétisme et activité de surface intense ?

Ce cours s'intéressera à l'évolution stellaire de la naissance à la mort des étoiles, avec une emphase particulière sur la dynamique non linéaire opérant

en leur sein et à leur surface, l'interaction de celles-ci avec leur cortège d'(exo)planètes touchant aux concepts de la météorologie spatiale ou encore de l'habitabilité.

Nous aborderons les aspects théoriques de ces questions mais aussi ceux qui relèvent des observations, en partant des concepts physiques de bases

et en les illustrant avec les dernières avancées (théoriques et observationnelles) dans le domaine. L'une des particularités de ce cours est de brasser

de nombreux thèmes de physique (physique nucléaire, turbulence, gravitation, magnéto-hydrodynamique, effet dynamo, interaction étoiles-planètes).

Le Soleil servira aussi d'étoiles de référence, nous permettant de distinguer ce qui lui est spécifique de ce qui est générique à ces objets célestes.

Partie II : Depuis la formation des étoiles jusqu'à celle des planètes (12 h)

Responsable du cours : Dr. E. Pantin

Formation des étoiles. Formation planétaire : disques protoplanétaires, croissance de la matière solide en partant de grains microniques jusqu'aux planètes. Notre système solaire comme témoin de la formation planétaire.

Notions d'exobiologie : sommes-nous seuls dans l'univers ? Ce que nous disent les observations d'exoplanètes.

Examen : 3 h

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

De bonnes notions de physique de base :

- mécanique/dynamique du point et solides,
- notions de mécanique des fluides et plasmas
- équations de Maxwell
- capacité de faire des calculs d'ordre de grandeur et de mathématiques élémentaires
- transport de la chaleur
- connaissances de base sur l'interaction lumière-matière

Plan détaillé du cours (contenu)

Partie I :

1. Introduction à ce qu'est une étoile : cohésion et stabilité d'une étoile, modèle 1D de structure stellaire, bilan énergétique, Limites de masse et étoiles dégénérées (naine blanche, étoile à neutron).
2. Turbulence convective et rotation dans les étoiles, effet dynamo et variabilité du champ magnétique des étoiles, sismologie du Soleil et des étoiles.
3. Structuration de l'environnement des étoiles -l'astérosphère-, interaction et évolution séculaire conjointe d'une étoile et de son environnement, météorologie de l'espace, habitabilité.

Partie II :

- notre système solaire : présentation/portrait de famille
- formation des étoiles par effondrement au sein des cœurs denses. Evolution de l'étoile jeune
- formation des disques protoplanétaires et évolution
- formation des planètes au sein de protoplanétaires et évolution
- exoplanètes : détection, caractéristiques
- notions d'exo-biologie : conditions d'émergence de la vie

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et travail de recherche personnel

Organisation de l'évaluation

* examen :

- QCM pour la partie I : physique stellaire et interactions étoiles-planètes
- questions à développer pour la partie II "formation des planètes"

* bonus sur la base de travail de recherche personnel pour la partie "formation des planètes"

Support de cours, bibliographie

- slides du cours
- films, animations, simulations numériques
- liens vers supports grand public concernant des résultats récents de l'observation / modélisation
- articles scientifiques de revue

Moyens

Cours magistraux ; présentations vidéo, slides à disposition envoyées en avance.

et en plus en Partie I : fichier pdf synthèse du cours

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Partie I : Comprendre la structure, la dynamique et l'évolution des étoiles et leur interactions avec les (exo)planètes. Notions de météorologie de l'espace et de sismologie stellaire. Utiliser et emboîter des notions de physique variées, manipuler les ordres de grandeurs avec aisance, décrire le cycle de la matière stellaire, brique fondamentale de l'univers. L'élève apprendra aussi à développer des calculs simples en mécanique des fluides et plasmas stellaires.

Partie II : Comment les étoiles se forment-elles ? Pourquoi trouve-t-on des planètes autour d'une fraction si importante d'étoiles ? Comment les planètes se forment-elles ? Quelles sont les conditions d'apparition de la vie sur une planète ? Ce cours permettra aux étudiants d'appréhender les processus en jeu lors de la formation des étoiles et planètes à l'aide de modèles physiques simplifiés en insistant sur la compréhension des phénomènes en jeu.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Part I : Notions de physique stellaire, de dynamique des fluides et plasmas stellaires, magnétisme stellaire, Météorologie de l'Espace, sismologie des étoiles

Part II : Notions de physique de la formation des étoiles et des planètes, notions d'exobiologie

3PN3130 – Particules et cosmologie

Responsables : **Vanina Ruhlmann-Kleider, Christophe Yèche, Laurent Chevalier**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La physique des particules élémentaires s'attache à décrire les interactions entre particules élémentaires, et son cadre mathématique est une théorie quantique des champs. L'objectif de ce cours sera de parcourir l'ensemble des concepts et outils mathématiques qui conduisent à la construction du modèle standard de la physique des particules. Ce modèle regroupe trois de quatre interactions fondamentales : électromagnétique, faible et forte. Nous discuterons des réussites et des limitations de ce modèle, encore jamais mis en défaut, plus précisément à travers l'observation du boson de Higgs au CERN.

La cosmologie est le pendant de la physique des particules du côté de l'infiniment grand. Les deux domaines sont d'ailleurs en interaction. La mystérieuse matière noire, composante dominante de la matière de l'Univers, pourrait bien être constituée d'une particule élémentaire non encore découverte. Inversement la masse des neutrinos que les expériences de physique des particules peinent à mesurer, pourrait être mesurée par l'intermédiaire de relevés cosmologiques. La cosmologie vise à comprendre l'Univers globalement, en particulier à déterminer son contenu et son évolution. Il s'agit d'un domaine où des progrès spectaculaires ont eu lieu ces vingt dernières années, menant à un modèle standard de la cosmologie avec ses composantes de matière noire et d'énergie sombre.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Physique des particules

1. Brève histoire de l'univers
2. Rappels de relativité restreinte et de dynamique
3. Outils mathématiques : théorie des groupes, symétries, lagrangiens
4. De la théorie à la mesure et tests expérimentaux du MS de la physique des particules

Cosmologie

1. Introduction, vue d'ensemble de la cosmologie
2. Géométrie et expansion de l'Univers homogène, équation de Friedmann
3. Histoire thermique de l'univers
4. L'Univers inhomogène: la formation des structures et le fond diffus cosmologique

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu:

Questions de cours après chaque présentation, réponse par e-mail avant la prochaine présentation

Contrôle final:

Présentation de 20 mn avec quelques planches sur la compréhension d'un article de physique

Support de cours, bibliographie

Physique des particules

- Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics, Francis Halzen, Alan D. Martin
- An introduction To Quantum Field Theory, Peskin, Schroesder
- The Quantum Theory of Fields Volume I, S. Weinberg

Cosmologie

- J. Rich, Fundamentals of cosmology, Springer, 2010
- S. Serjeant, Observational Cosmology, Cambridge University Press, 2010
- S. Dodelson, Modern Cosmology, Academic Press, 2003
- J. A. Peacock, Cosmological Physics, Cambridge University Press, 1998.

Realtivité Générale

- J.B. Hartle, Gravity, Addison Wesley, 2003
- T.A. Moore, A General Relativity workbook, University science books, 2013

Moyens

Les planches présentées en cours seront mis à disposition.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Vues d'ensemble de la physique des particules élémentaires et de la cosmologie.

Pour la partie physique des particules : nous aborderons le rôle fondamental des symétries dans la construction de la théorie ainsi que les outils mathématiques indispensable à sa construction

Description des compétences acquises à l'issue du cours

1. C1.2 - jalon 1 Savoir utiliser un modèle présenté en cours de manière pertinente
2. C1.3 - jalon 1B Résoudre un problème avec une pratique de l'approximation.

3PN3140 – Théorie quantique des champs

Responsables : **Igor Kornev**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La théorie quantique des champs (TQC) est le langage qui décrit les systèmes physiques avec une infinité de degrés de liberté. Elle a de nombreuses applications en physique des particules, en physique statistique ou en physique de la matière condensée. Ses réalisations sont impressionnantes, l'électrodynamique quantique (QED) étant probablement la théorie existante la plus précise. C'est le cadre conceptuel du Modèle Standard de la physique des particules, qui décrit avec succès tous les phénomènes connus liés aux interactions électromagnétiques, faibles et fortes.

Née au cours de la première moitié du XX^e siècle, la TQC bénéficie d'une compréhension physique moderne depuis la fin des années 1970. Elle peut être considérée comme un algorithme fournissant des prédictions expérimentalement vérifiables avec une précision systématiquement améliorable. Cependant, la description formelle de cet algorithme ne répond pas encore au standard de rigueur mathématique. D'importantes questions physiques sont également restées sans réponse jusqu'à présent, comme les raisons de la courte portée de l'interaction forte, ou le confinement des quarks à l'intérieur des protons et des neutrons. L'institut mathématique CLAY a identifié la recherche d'une compréhension détaillée de la TQC comme l'un des 7 problèmes clés qui devraient guider la recherche mathématique au cours du XXI^e siècle. La résolution de ce problème nécessite de nouvelles idées mathématiques et physiques.

Le cours présente le type de base des champs jouant un rôle important en physique nucléaire et des particules : scalaire, spinoriel et vectoriel, et discute de leur quantification. L'invariance relativiste et la symétrie de jauge sont traitées dans le cadre lagrangien. Une approche perturbative traitant des champs en interaction est développée, et le rôle du diagramme de Feynman est expliqué. Le formalisme d'intégrale de chemin est introduit. Le cours se termine par le calcul de certains processus de diffusion impliquant des électrons, des positrons et des photons en QED.

Réfs. Halzen-Martin, Sakurai et Griffiths sont des lectures d'introduction utiles. Réfs. Bell, Rivers, Mandl-Shaw, Peskin-Schroeder et Ryder contiennent le matériel qui sera couvert dans le cours. Réfs. Jaffe-Witten, Douglas et Witten sont des textes avancés qui donnent une idée de la complexité mathématique qui sous-tend la TQC ; ce cours est un pré-requis pour les comprendre. Réf. Wilczek et Delamotte offrent une perspective sur les notions avancées de TQC et leur pertinence pour la Nature.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Une sélection de documents peut être fournie sur demande :

- Mécanique quantique
Mécanique quantique de base, fonctions d'onde, amplitudes et probabilités. Relations de commutation entre les coordonnées et les quantités de mouvement correspondantes. Représentations de Schrödinger et Heisenberg. Formalisme des bra et des kets de Dirac. Idée de spin. Sections efficaces et amplitudes de diffusion. Fermions et bosons. Cela correspond au contenu du cours de mécanique quantique de première année.
- Cinématique relativiste

Transformations de Lorentz. Espace-temps de Minkowski, tenseur métrique et 4-vecteurs. Conservation de la 4-impulsion et de l'énergie-impulsion. Les sections 3.1-3.4 de Griffiths, ou les sections 3.1-3.2 de Halzen-Martin présentent ces sujets à un niveau approprié.

- **Électrodynamique**

Formulation manifestement covariante de l'électrodynamique classique utilisant le tenseur de champ et la densité lagrangienne. Équation de Dirac. Les pré-requis sont expliqués au mieux dans les sections 7.1, 7.4, 11.1 et 11.2 de Griffiths. Voir également les sections 5.1, 5.2 et 14.1 de Halzen-Martin.

- **Outils mathématiques**

Utilisation de base de la distribution de Dirac et de la transformée de Fourier. Propriétés de base des groupes et idée d'une représentation linéaire. Utilisation de base du calcul du tenseur, y compris la convention de sommation d'Einstein. Les chapitres 3.2, 4.1, 4.2 et l'annexe A de Griffiths sont adaptés au niveau des cours.

Déroulement, organisation du cours

16 cours de 1h30 chacun. Lectures conseillées pour préparer une séance. Devoirs maison pour acquérir les techniques de calculs nécessaires.

Organisation de l'évaluation

Devoirs maison et examen oral final.

Support de cours, bibliographie

- J.S. Bell, *Experimental Quantum Field Theory*, CERN-JINR School of Physics, 1977.
- S. Chatterjee, *Yang-Mills for probabilists*, arXiv:1803.01950 [math.PR].
- B. Delamotte, *A hint of renormalization*, <http://arXiv.org/pdf/hep-th/0212049>.
- M.R. Douglas, *Report on the Status of the Yang-Mills Millennium Prize Problem*.
- D. Griffiths, *Introduction to Elementary Particles*, John Wiley & Sons, 1987 (first edition).
- F. Halzen and A.D. Martin, *Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics*, John Wiley & Sons, 1984.
- A. Jaffe and E. Witten, *Quantum Yang-Mills theory*.
- F. Mandl and G. Shaw, *Quantum Field Theory*, John Wiley & Sons, 1993 (revised edition).
- M.E. Peskin and D.V. Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory*, Addison-Wesley, 1995.
- R.J. Rivers, *Path Integral Methods in Quantum Field Theory*, Cambridge University Press, 1988.
- L.H. Ryder, *Quantum Field Theory*, Cambridge University Press, 1996 (second edition).
- J.J. Sakurai, *Modern Quantum Mechanics*, Addison-Wesley, 1985.
- F. Wilczek, *What QCD tells us about nature - and why we should listen*, <http://arXiv.org/pdf/hep-ph/9907340>.
- E. Witten, *The Problem of Gauge Theory*, <http://arxiv.org/pdf/0812.4512v3.pdf>.

Moyens

Cours en salles, fiches d'exercices.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de calculer des diagrammes de Feynman pour la théorie du champ scalaire au niveau des arbres, de comprendre la formulation de QED, et d'appréhender la complexité mathématique qui sous-tend la théorie quantique du champ.

3PN3150 – Sujets en physique mathématique

Responsables : **Igor Kornev**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les lois fondamentales de la nature sont géométriques plutôt qu'algébriques. Ce cours présente quelques concepts clés de la physique théorique moderne. Son but est de faire comprendre et assimiler les méthodes géométriques utilisées en physique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

1SL3000 (Physique Quantique et statistique)

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Classical Mechanics vs Symplectic Geometry.
2. Gravitation vs Riemannian Geometry.
3. Physical Fields vs Bundles.
4. Geometrical Berry Phase vs Holonomy.
5. Forces and Potentials vs (Co-)homology. De Rham Theory in Electromagnetism.
6. Topological Insulators vs Homotopy.
7. Defects vs Algebraic Topology.
8. Topological quantum field theory vs Categories.

Déroulement, organisation du cours

Exposés magistraux + questions des étudiants
Lectures guidées dans livre de référence
Problèmes-type résolus en classe
Série de problèmes à faire par soi-même

Organisation de l'évaluation

Distribution des crédits : Devoirs 40 % (à rendre dans les 7 jours suivant leur attribution ; 5 points de réduction pour chaque jour ouvrable après la date limite), Final 60

Devoirs :

Vous devez faire preuve d'une quantité raisonnable de travail, au lieu de ne montrer que les résultats finaux.

Plus précisément,

Ecrivez avec soin

Afficher toutes les étapes intermédiaires

Utilisez beaucoup de mots et d'explications, pas seulement des équations

Assurez-vous toujours que votre réponse a un sens physique

N'oubliez pas d'agrafer les pages !

Note importante : vous pouvez vous sentir à l'aise d'avoir vraiment maîtrisé un problème si, et seulement si, vous êtes capable de l'expliquer en détail.

Le crédit ne sera accordé que si le lecteur peut facilement suivre les arguments.

Final : Presentation (30 min)

Support de cours, bibliographie

- [1] Arnold, Mathematical methods of classical mechanics.
- [2] Landau and Lifshitz, Mechanics, Vol.I Course of Theoretical Physics.
- [3] Manfredo do Carmo, Riemannian Geometry, Boston, 1993.
- [4] S. Carroll, Space Time and Geometry: An Introduction to General Relativity (AddisonWelsey, 2003)
- [5] M. Nakahara, Geometry, Topology and Physics, Institute of Physics Publishing, Philadelphia, 1990
- [6] Zeidler, Quantum Field Theory, Volume 1-3
- [7] R. Penrose, The road to reality
- [8] Hatcher, Algebraic Topology, available online
- [9] Frankel, Geometry of Physics
- [10] Chaikin and Lubensky, Principles of condensed matter physics.
- [11] Mineev, Topologically stable defects and solitons in ordered media.
- [12] Turaev, Quantum Invariants of Knots and 3-manifolds

Moyens

Enseignant: I. Kornev

Bibliographie: M. Nakahara, Geometry, Topology and Physics, Institute of Physics Publishing, Philadelphia, 1990

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

The objective is to cover a broad range of topics at the expense of giving an in-depth treatment to only a small handful of them. We will introduce and discuss: quantum optics and mechanics from a symplectic geometric point of view, Riemannian geometry and general relativity, connections on fiber bundles and the standard model for particle physics, and applications of algebraic topology and category theory in physics.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Demonstrate an understanding of the basics of geometrical methods in modern physics ;
Develop problem solving skills on topics included in the syllabus

3PN3160 – Simulation quantique des matériaux

Responsables : **Charles Paillard**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Comprendre les électrons pour mieux concevoir de nouveaux matériaux

Il est aujourd'hui possible de prédire de nombreuses propriétés fonctionnelles de matériaux, sans recours à des données expérimentales. Les théories avancées permettent de concevoir numériquement les matériaux, avant même de les synthétiser. De grandes bases de données de « matériaux numériques » ont ainsi été créées (materialsproject.org). Des techniques de Machine Learning sont également appliquées pour la recherche de nouveaux matériaux. Tout cela est rendu possible grâce aux progrès réalisés dans les domaines théorique et algorithmique et à l'avènement de supercalculateurs avec des puissances de calcul de plus en plus importantes. Une des techniques de modélisation les plus populaires est basée sur la Théorie de la Fonctionnelle Densité (DFT), qui permet de résoudre numériquement le problème quantique d'interaction des électrons. A partir des propriétés des électrons --- responsables des liaisons chimiques ---, il est possible de déduire un grand nombre de propriétés des matériaux

Dans ce cours, nous nous intéresserons aux fondements et applications de la DFT pour la compréhension et le calcul numérique de multiples propriétés des matériaux (structurales, magnétiques, thermodynamiques...). Une large part du cours sera dédiée à la pratique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Mécanique Quantique, Physique du Solide (Crystallographie, Structure de bandes), Thermodynamique

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction à la DFT: théorie, implémentation
- DFT: algorithmes, calcul hautes performances
- Interactions noyaux-électrons
- Perturbations de la densité électronique : réponse des matériaux
- Stabilité et transitions de phases: thermodynamique des matériaux
- Propriétés électroniques: magnétisme, isolant ou métal?
- DFT et apprentissage machine

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et session pratiques utilisant le code open-source ABINIT

Organisation de l'évaluation

Présentation orale sur projet de fin de cours.

Les deux premières séances de cours sont primordiales à la bonne compréhension du cours. Les élèves absents lors des deux premiers cours seront considérés comme démissionnaires.

Moyens

- slide de cours et références incluses dans les slides
- travaux pratiques utilisant le code open-source abinit pour simuler différentes propriétés de la matière

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre les fondements théoriques de la DFT issus de la mécanique quantique
- Comprendre l'importance des électrons dans les propriétés fonctionnelles
- Savoir calculer une propriété d'intérêt pour un ou plusieurs matériaux

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Être capable d'utiliser de façon pertinente un code de DFT pour modéliser les propriétés de matériaux

3PN3500 – Projet scientifique Quantum Engineering

Responsables : **Thomas Antoni**

Département de rattachement : **MENTION QUANTUM ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Seul ou en binôme vous vous consacrerez à une étude concrète et approfondie d'une problématique physique véritable. Vous pouvez proposer vous-même un sujet ou le choisir parmi ceux sélectionnés dans un catalogue à partir de propositions des partenaires ou des laboratoires de l'École. Sauf cas particulier, vous travaillerez dans les locaux et parmi le personnel de l'organisme d'encadrement afin de vous permettre de découvrir un nouvel environnement de travail et d'affiner vos aptitudes professionnelles.

La durée du projet est équivalente à un mois et demi de travail à temps plein (144h à l'emploi du temps et 96h hors emploi du temps).

Afin de vous permettre de débiter votre projet en ayant accumulé un bagage suffisant et de vous donner les conditions d'y travailler de façon régulière, notre mention a aménagé son emploi du temps afin que vous puissiez y consacrer une journée et demie consécutive par semaine de janvier à avril.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9 SG10 SG11

Prérequis

Aucun.

Plan détaillé du cours (contenu)

Projet.

Déroulement, organisation du cours

Projet.

Organisation de l'évaluation

Rapport final et soutenance.

Moyens

Projet. Outils à définir avec l'encadrant.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Prise d'autonomie dans le traitement d'un problématique scientifique réelle et la production de résultat.
Approfondissement d'une thématique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- (C1.2) Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines.
- (C1.3) Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème.
- (C1.4) Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation.
- (C1.5) Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe.
- (C1.6) Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.
- (C2.1) Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur. Transposer à d'autres champs disciplinaires, généraliser des connaissances.
- Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres. Créer de la connaissance, dans une démarche scientifique.
- (C2.2) Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior).
- (C3.2) Avoir la culture de l'effectuation, être réaliste, pragmatique.
- (C3.3) Être agile, créatif, accepter l'échec, se remettre en cause, résilient, esprit de décision.
- (C3.4) Envie d'avoir de l'impact, ambition, passion, envie, voir le verre à moitié plein, orienté solution.
- (C3.5) Savoir recruter toutes les parties intéressées, savoir manager, être dans le référentiel de l'autre, savoir écouter, empathie.
- (C3.6) Mener un projet de bout en bout, Avoir une vision 360°.
- (C3.5) Être proactif, prendre des initiatives, savoir mobiliser des ressources, entrepreneur de soi-même.
- (C3.8) Prendre des décisions dans un environnement partiellement connu, gérer l'imprévu, savoir prendre des risques.
- (C3.10) Proposer des solutions/outils nouveaux soit en rupture soit en progrès continu.
- (C3.12) Évaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées.
- (C3.13) Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles.
- (C4) Percevoir les finalités Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socio-économiques.
- Savoir discerner les opportunités, les bonnes occasions d'affaire et les saisir.
- (C5.2) Écouter, comprendre et se faire comprendre de public divers (métiers, cultures...) en utilisant les moyens de communication adaptés. Travailler avec des acteurs de culture, d'expérience et compétences très différentes
- Proposer des solutions adaptées, déployables dans un
- (C6.1) Identifier et utiliser au quotidien les logiciels nécessaires pour son travail (y compris les outils de travail collaboratif).
- (C6.8) Comprendre les limitations des solutions logicielles (simulations numériques, algorithmes, machine learning...) et ce qu'on peut en attendre.
- (C6.9) Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.
- (C7.1) Convaincre sur le fond. Être clair sur les objectifs et les résultats attendus. Être rigoureux sur les hypothèses et la démarche. Structurer ses idées et son argumentation. Mettre en évidence la valeur créée.
- (C7.2) Convaincre en travaillant sur la relation à l'autre. Comprendre les besoins et les attentes de ses interlocuteurs. En tenir compte de façon évolutive. Susciter des interactions. Créer un climat de confiance.
- (C7.4) Maîtriser le langage parlé et écrit. Maîtriser les techniques de base de communication.
- (C8.1) Travailler en équipe/en collaboration.
- (C8.4) Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation.

DOMINANTE SYSTEMES COMMUNICANTS et OBJETS CONNECTES (SCOC)

3SQ1010 – Défis et enjeux des technologies de l'information et de la communication

Responsables : **Armelle Wautier, Catherine Soladie**

Département de rattachement : **DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) sont en constante évolution et au cœur des enjeux sociétaux actuels. L'objectif de ce module est de découvrir les enjeux, les défis et les mutations technologiques dans différents secteurs d'activité comme la santé, le transport, l'énergie, l'espace, l'industrie du futur, les villes intelligentes ou les territoires durables. Il présente une vision globale de l'évolution de ces domaines en traitant les aspects réglementaires, scientifiques et aussi géopolitiques. Cette formation intègre également l'évolution des besoins des marchés avec la transformation numérique et le développement durable.

Dans le cadre de conférences, études de cas, tables rondes, visites et mini-forum, vous pourrez échanger avec des experts sur l'avenir des TIC et les impacts des nouvelles technologies (internet des objets, xG, cloud computing, intelligence artificielle, réalité virtuelle...). Cette formation vous permet d'appréhender la complexité des systèmes connectés à différents niveaux, de comprendre les synergies entre les acteurs et les enjeux et de découvrir la variété des métiers au travers d'activités pédagogiques centrées sur le monde de l'entreprise.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Les enseignements sont dispensés selon trois axes majeurs : les instances de réglementation, les marchés et les enjeux géopolitiques des nouvelles technologies de l'information et de la communication, le développement des systèmes connectés. Ces axes sont déclinés sur différents secteurs d'activité (télécommunications spatiales, produits connectés, transports, villes intelligentes,).

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement se déroule sous la forme de cours magistraux, de conférences, études de cas, mini-forum ou visites. De nombreux échanges avec des professionnels de différents domaines sont proposés. La présence aux activités pédagogiques est obligatoire et active.

Organisation de l'évaluation

Les étudiants participent à l'organisation et l'accueil des conférenciers. L'évaluation est faite par une note de synthèse personnelle sur les thèmes abordés lors des activités du module, la participation à un entretien en lien avec le projet professionnel, ainsi que la présence aux différentes activités.

Moyens

Ce module est principalement animé par des experts des différents domaines.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves seront sensibilisés aux défis technologiques et aux enjeux de plusieurs domaines d'application des systèmes communicants, des objets connectés et des technologies de l'information et de la communication.

Les acquis de d'apprentissage visés sont :

- appréhender la complexité des systèmes connectés
- comprendre et identifier les enjeux de transformations numériques
- appréhender la variété des métiers
- connaître les principaux acteurs et leurs synergies (opérateurs, constructeurs, équipementiers, consultants, régulateurs etc.)
- connaître l'évolution des besoins du marché avec la transformation numérique et le développement durable
- mûrir son projet professionnel

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques.

C7 Savoir convaincre

C8 Mener un projet

C9 Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3SQ1025 – Traitement du signal pour les communications, l'image et l'audio

Responsables : **Haïfa Jridi, Jose Picheral**

Département de rattachement : **DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le traitement numérique du signal occupe une place centrale dans le domaine des systèmes communicants et des objets connectés. En effet, la théorie du traitement du signal revêt une importance capitale pour garantir une transmission fiable de l'information, en prenant en compte les contraintes physiques et technologiques inhérentes. Parallèlement, le traitement, l'analyse et la mise en forme des données mesurées reposent sur les outils du traitement du signal.

En combinant la théorie et la pratique, ce cours vous permettra de maîtriser les compétences essentielles du traitement du signal pour concevoir, analyser et optimiser des systèmes communicants et des objets connectés performants. Vous serez en mesure d'exploiter les données de manière efficace, de prendre des décisions éclairées et de contribuer à l'avancement des technologies de communication et de connectivité.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Traitement du signal

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours explore différentes applications dans les domaines des communications, du traitement de l'image et de l'audio afin de mettre en évidence l'utilisation pratique des outils fondamentaux du traitement du signal. Nous commencerons par étudier les définitions et les propriétés théoriques du traitement numérique du signal, puis nous les mettrons en pratique au travers d'applications concrètes.

Au cours de cette formation, nous aborderons des concepts clés tels que le filtrage, la projection, l'orthogonalité des signaux et la représentation fréquentielle des signaux. Ces concepts seront appliqués dans des contextes spécifiques tels que la synchronisation, la transmission, la compression et l'extraction d'informations à partir des signaux.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, travaux dirigés et travaux pratiques.

Organisation de l'évaluation

Examen final écrit (70%/C2.1, C2.5, C6.7), travaux pratiques obligatoires (30%/C1.4) avec une pénalité de -2 en cas d'absence à une séance.

Une partie des compétences (en partie C1.4) sera évaluée lors des travaux pratiques.

Support de cours, bibliographie

J. G. Proakis, "Digital Communications", Fourth Edition, McGraw Hill, 2001.

T. Cover, "Elements of Information Theory", 1991

D. Tse, P. Viswanath, "Fundamentals of Wireless Communications", Cambridge University Press, 2005.

Moyens

- Equipe enseignante à Rennes : Haïfa Farès, Yves Louët
- Langue d'enseignement à Rennes : Français, Anglais
- Equipe enseignante à Saclay : José Picheral, Jacques Antoine
- Langue d'enseignement à Saclay : Français

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Utiliser les outils du traitement du signal pour des applications en communication image et audio.
- Maîtriser les outils théoriques du traitement du signal

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

C2.5 Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur

C6.7 Comprendre la transmission de l'information

3SQ1030 – Communications numériques

Responsables : **Haïfa Jridi, Jacques ANTOINE**

Département de rattachement : **DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le traitement du signal et la transmission d'information se trouvent à la jonction du monde physique et du monde numérique. Les applications sont présentes dans de nombreux domaines : télécommunications, systèmes de localisation, radar, spatial, transports, énergie, santé, environnement, réalité virtuelle, objets connectés. L'objectif de ce cours est de maîtriser les outils mathématiques et les méthodes pour concevoir et évaluer des chaînes de traitement à différents niveaux d'un système : du capteur à l'application. En particulier, le cours présente les techniques de modulation et les principes de dimensionnement de systèmes de communication. Les concepts sont illustrés par des exercices et des simulations numériques avec Matlab. Ce cours est un prérequis pour d'autres cours de la mention.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Représentations et Analyse des Modèles ; Traitement du signal

Plan détaillé du cours (contenu)

- Modélisation d'une communication à différents niveaux, Modèles de canaux physiques
- Techniques de modulation : Formes d'onde, fréquence porteuse, Modulation, Constellation
- Techniques de diversité, Théorie de la réception.
- Synchronisation, Estimation du canal, Egalisation, Détection
- Compromis de conception de l'émetteur et du récepteur
- Systèmes multi porteuses (OFDM)
- Formes d'onde à économie d'énergie
- Dimensionnement d'un système de communication : énergie, environnement, rapport signal à bruit, débit, latence, spectre, fiabilité, sécurité
- Modélisation et simulation via Matlab de systèmes de communication

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux (10h30), travaux dirigés (4h30) et travaux pratiques (7h30)

Organisation de l'évaluation

Examen final écrit (1h30) (70%), travaux pratiques obligatoires (30%) avec une pénalité de -2 en cas d'absence à une séance

Les compétences sont évaluées lors des travaux pratiques

Support de cours, bibliographie

J. G. Proakis, "Digital Communications", Fourth Edition, McGraw Hill, 2001.

R. Van Nee & R. Prasad, "OFDM for wireless multimedia communication", Artech House Publishers.

A. F. Molish, "Wireless Communications", Wiley-IEEE Press, 2005.

A. J. Goldsmith, "Wireless Communications", Cambridge University Press, 2005.

D. Tse, P. Viswanath, "Fundamentals of Wireless Communications", Cambridge University Press, 2005.

Moyens

Equipe enseignante à Gif : Jacques Antoine, Armelle Wautier, José Picheral, Raul De Lacerda. Dinh Thuy Phan Huy,

Langue d'enseignement à Gif : Français

Equipe enseignante à Rennes : Haïfa Farès, Yves Louët

Langue d'enseignement à Rennes : Anglais

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue du cours, les élèves seront capables :

- de comprendre les concepts et outils fondamentaux du traitement du signal et de la transmission de l'information
- de concevoir et modéliser tout ou une partie d'un système de communication et d'évaluer les performances de façon analytique ou par simulation
- de spécifier un système de traitement de l'information (choix des architectures fonctionnelles et des algorithmes, dimensionnement, optimisation des paramètres) en fonction d'objectifs au service d'une application et de contraintes physiques, énergétiques, environnementales, technologiques, économiques ou réglementaires...

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C6.7 Comprendre la transmission de l'information

C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pour traiter le problème

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

C2.5 Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur

3SQ1040 – Systèmes embarqués

Responsables : **Anthony Kolar**

Département de rattachement : **DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de permettre aux étudiants d'appréhender la complexité de la conception des systèmes embarqués dans son ensemble en partant des bases et en développant les connaissances jusqu'aux technologies récemment développées

La thématique des systèmes embarqués est très vaste mais ce cours va essayer de s'organiser autour de 3 idées principales :

1- Tout d'abord d'un point de vue technologique : quelles sont les technologies qui sont utilisées et quelles sont leurs différences principales et dans quel cas utiliser l'une ou l'autre de ces technologies. Il s'agira ici des aspects dits "Matériel"

2- Le 2nd axe est celui des outils et de l'environnement de développement : quand et comment choisir un outil ou un environnement de développement adapté à un cas d'usage spécifique. Nous traiterons principalement ici des aspects dits "Software"

3- enfin le 3e axe est une ouverture vers l'avenir où nous allons appréhender de nouvelles plateformes de développement et de nouvelles approches de conception. Nous allons pour cela se focaliser sur 2 aspects :

a- le premier sont les plateformes matériellement hybride

b- le 2nd aspect est l'utilisation de l'intelligence artificielle mais non plus seulement d'un point de vue logiciel mais surtout d'un point de vue matériel afin d'en optimiser les performances.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Ce cours requiert un minimum de prérequis :

- 1- Connaissance minimum en électronique numérique
- 2- Connaissance minimum en programmation

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours est composé de deux grandes parties :

A- La programmation en langage C

- 1- Théorie du langage
- 2- Mise en pratique par approche Projet

B- Les systèmes Embarqués

1 - Les Processeurs : CPU et GPU [Pour n'ayant pas fait l'électif 2A "Architecture des Systèmes Numériques"]

1.1 Les CPUs: Les éléments constitutifs de base, les architectures majoritairement utilisées en embarqué, le jeu d'instruction, ouverture vers d'autres architectures

1.2 Le compilateur: comment un code "écrit" permet de programmer un processeur ?

1.3 Les processeurs graphiques: Les architectures NVIDIA, le calcul parallèle

1- Le professeur RISC V [Pour ayant fait l'électif 2A "Architecture des Systèmes Numériques"]

1.1 Zoom sur les familles de processeur RISC

1.2 Le RISC V: Architecture et Spécificités

2 - Les composants spécialisés : FPGA et ASIC

- 2.1 ASIC et FPGA : Définitions et différences
- 2.2 Le Flow de conception : comment concevoir et simuler ?
- 2.3 Optimisation : Etude cas - Contraintes et comparaison

3 - Environnement et outil de développement

- 3.1 CPU et GPU : Quand, comment et quel langage utiliser avec quelles conséquences? a.k.a Python vs C/C++
- 3.2 FPGA et ASIC : Les approches de conception et leurs évolutions (HDL vs HLS). Les outils de conception ASIC VS FPGA

4 - Les System on Chip

- 4.1 Les architecture hybride SoC: définition, philosophie et usages
- 4.2 Etude cas : le Zynq Book

5 - L'intelligence Artificielle Matérielle ou comment rendre vraiment efficient l'IA dans le monde de l'embarqué

Déroulement, organisation du cours

- 1- Cours
- 2- Etude de cas en classe
- 3- Travail personnel

Organisation de l'évaluation

L'évaluation portera sur l'entièreté du programme du cours et évaluera votre capacité de réflexion et de prise de recul sur le domaine étudiant

Les compétences seront validées si et seulement si l'ensemble des notes des évaluations sont supérieures à 10.

Support de cours, bibliographie

Les System on Chip: Book and Tutorial
<http://www.zynqbook.com/>

Moyens

L'apprentissage du langage C sera fait via une approche de type Projet
Le reste cours sera fait avec une approche d'enseignement classique mais favorisant l'échange durant les séances.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- 1- Acquisition de la connaissance de la programmation en langage C
- 2- Compréhension de la conception et programmation dans le monde de l'embarqué
- 3- Acquisition de la vision de l'évolution des technologies et de son impact sur le travail de concepteur actuel
- 4- Savoir choisir les bons outils de développement en fonction de la situation et du niveau de performance souhaité
- 5- Aborder l'intelligence artificielle suivant un prisme matériel et non plus seulement logiciel

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un

problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines.

1. C1.3 : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation.
2. C1.4 : Concevoir : spécifier, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

3SQ1041 – Systèmes embarqués

Responsables : **Amor Nafkha**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES), DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Un système embarqué est un système électronique et informatique autonome dédié à une tâche spécifique avec de ressources limitées et une faible consommation d'énergie. L'ingénierie des systèmes embarqués est une discipline qui conçoit et met en œuvre du matériel et des logiciels de systèmes embarqués et elle est utilisée dans des industries telles que l'aérospatiale et la défense, l'énergie, l'automatisation industrielle, la santé, les communications, la sécurité, le transport et plus encore. Ce cours permettra aux étudiants de développer des compétences pratiques et des connaissances théoriques en ingénierie des systèmes embarqués, y compris la programmation des systèmes embarqués, les systèmes d'exploitation temps réel embarqués ainsi que l'ingénierie du matériel embarqué.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Notions de programmation en langage C;
Connaissances de bases sur l'électronique numérique ;

Plan détaillé du cours (contenu)

Les concepts suivants seront discutés en détail et illustrés par des travaux pratiques ou des démonstrations :

- + Microcontroller Architecture
- + General Purpose I/O and general Purpose Timers
- + Real-time Clock (RTC)
- + Software Development Platforms
- + Interrupts & Power management
- + Timing & Memory operations
- + Debugging tools for embedded systems
- + Fundamentals of Real-Time Operating Systems
- + FreeRTOS: Task, event, mutex, semaphore and Queue
- + Software Timers in FreeRTOS
- + Memory management in FreeRTOS

==> Travaux pratiques/ projets: Plateformes STM32 avec STM32CubeIDE ou Keil microVision IDE

Déroulement, organisation du cours

Des cours magistraux pour présenter les principes généraux.

Des applications seront étudiées lors de TD et seront testées sur des cartes de développement pendant des séances de TP

Environnements de Développement Intégrés:

- STM32CubeIDE & STM32CubeMX IDE
- Keil microVision IDE

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours portera sur le travail réalisé en TPs (évaluation en séance et rapport écrit)

Support de cours, bibliographie

Les supports de cours (polycopiés et autres ressources pédagogiques) seront mis à disposition sur Edunao et sur un drive (OneDrive).

Bibliographie :

- 1- Zhu, Y. Embedded Systems with ARM Cortex-M3 Microcontrollers in Assembly Language and C; E-Man Press LLC: Ballston Spa, NY, USA, 2014;
- 2- Brian Amos. Hands-On RTOS with Microcontrollers: Building Real-Time- Embedded Systems using FreeRTOS, STM32 MCUs, and SEGGER Debug Tools. Packt Publishing Limited, Birmingham, United Kingdom, 2020;

Moyens

Pédagogie participative (30% cours, 70% TDs & TPs)

Chaque élève aura une carte de développement à base d'un microcontrôleur ARM cortex-M (STM32) associée à des environnements de développement intégrés: STM32CubeMX, STM32CubeIDE, STM32CubeProgrammer, Keil microVision IDE.

Différents capteurs et convertisseurs (ex: USB-RS232) seront mis à disposition pour les élèves pour réaliser leurs travaux pratiques ou leurs activités dans le domaines des systèmes embarqués.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les élèves seront capables de:

- 1- Comprendre les environnements de développement intégrés et les enjeux liés aux consommations énergétiques pour les systèmes embarqués;
- 2- Comprendre l'architecture matérielle interne de processeur MCU (Micro Controller Unit ou microcontrôleur);
- 3- Comprendre et maîtriser les mécanismes d'interruption (causes, interruptions matérielles, interruptions logicielles, traitement des interruptions,...) et de débogage
- 4- Concevoir et mettre en œuvre un système embarqué temps-réel (tâches, boîtes aux lettres, sémaphores,...)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines.

C1.3 : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation.

C1.4: Concevoir : spécifier, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

C2.3 Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres.

C2.5 Mener un projet dans un contexte professionnel

C3.3 : Décider, lancer, porter et s'engager sur un projet ambitieux à fort impact, délivrer des résultats tangibles, faire preuve de pragmatisme

3SQ1050 – Architecture radio

Responsables : **Mohammed Serhir**

Département de rattachement : **DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce module est d'introduire l'étude des dispositifs radiofréquences. Il se focalisera sur l'analyse des architectures radio des transceivers en adoptant une approche conceptuelle et méthodologique. Du composant au niveau CMOS à l'architecture des sous-systèmes, les élèves sont sensibilisés aux méthodes d'analyse et de synthèse des blocs fonctionnels les plus utilisés. Les étages incontournables dans les architectures des émetteurs/récepteurs radiofréquences seront décrits en prenant en compte le bruit et selon une approche comparative et opérationnelle.

Ce cours est lié naturellement aux autres modules de la séquence (systèmes embarqués, systèmes de communication, conception IoT). Il vise à donner aux ingénieurs architectes les outils/méthodes pour :

- Prédire les performances et élaborer les spécifications techniques des systèmes et sous-système radio,
- Évaluer la pertinence des solutions radio selon les applications visées : spatiale (charge utile), véhicule autonome (consommation, rendement), miniaturisation et intégration des dispositifs (compatibilité électromagnétique).

À l'issue de ce cours les élèves seront capables d'analyser/dimensionner le cahier des charges d'un transceiver radio pour répondre aux compromis : consommation / rendement / dynamique / sensibilité.

Du cahier des charges à la maquette, ce cours a pour objectif de rendre transparente l'interconnexion entre l'Homme et le monde numérique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

- Traitement de signal, transformée de Fourier, Filtrage
- Modulations numériques et analogique
- Physique des ondes, rayonnement et propagation,
- Systèmes électroniques
- Communication numérique

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction : vue d'ensemble

Blocs fonctionnels (système)

- Amplification / Mélange
- Filtrage / Détection
- Paramètres S

Linéarité dans les transceivers

Variation temporelle, système avec et sans mémoire, distorsion harmonique, compression, interférence et intermodulation IP3,

Architecture radio: part1

Introduction, modulation et l'architecture, modulations analogiques, modulations numériques, interférence intersymboles, constellation, optimisation/bande passante, modulation en quadrature, cahier des charges

Architecture radio: part2

Filtrage, couplage/isolation dans les étages Tx-Rx, solution Hétérodyne, gestion de la fréquence image/Oscillateur local, solution Hétérodyne à double transposition, Hétérodyne moderne, conversion directe,

Analyse du bruit dans les architectures radio

Modélisation du bruit, rapport signal à bruit, facteur de bruit d'une chaîne de réception

Déroulement, organisation du cours

- 6 séances de cours magistral en Amphi
- 3 séances de Travaux Dirigés

Organisation de l'évaluation

- Examen écrit à la fin du cours (1h30)
- La compétence C.1 est évaluée à travers un exercice parmi les exercices du contrôle final. Si la note brute à cet exercice est supérieure à 50%, l'élève aura validé la compétence C.1 dans le cadre de ce cours.
- La compétence C.3 est évaluée à travers un exercice parmi les exercices du contrôle final. Si la note brute à cet exercice est supérieure à 50%, l'élève aura validé la compétence C.3 dans le cadre de ce cours.

Support de cours, bibliographie

- Microwave and RF Design, M. Steer,
- Microwave Engineering, D. M. Pozar
- RF Microelectronics, B. Razavi
- CMOS Wireless Transceiver Design, J. Crols, M. Steyaert
- RF Circuit Design, Theory and Applications, R. Ludwig, P. Bretchko

Moyens

Équipe enseignante :

- Campus de Saclay : M. Serhir, I. Hinostrroza
- Campus de Rennes : H. Farès, A. Nafkha, R. Salvador

Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 2 groupes à Saclay, 1 groupe à Rennes

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le cours « Architecture Radio » apportera aux élèves les connaissances nécessaires pour :

- Analyser / évaluer les architectures usuelles des transceivers radio et en justifier les limites
 - Dimensionner / spécifier les composants adéquats pour une application spécifique
- Hierarchiser les contraintes de conception sur les étages d'émission / réception
- Modéliser et évaluer le bruit dans une chaîne Tx-Rx radio

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.2 : Savoir utiliser un modèle présenté en cours de manière pertinente (analyse des amplificateurs et des mélangeurs)
- C1.3 : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation et de la simulation (non-linéarités dans les transceivers)
- C1.4 : Spécifier et concevoir une partie d'un système (adéquation entre modulation et architecture)
- C3.7 : Évaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées

3SQ1061 – Politique, financement, réglementation et normes des entreprises TechForGood

Responsables : **Renaud Segulier**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Comment vendre de la santé en France ? C'est quoi être DM (dispositif médical) classe 2 ? C'est obligatoire ? Combien de temps cela prend-il ? Et ça coûte combien ?

J'ai envie de sensibiliser les gens à la nécessité de changer leurs habitudes de consommation, dois-je créer ou rejoindre une association ? Une entreprise ? Puis-je vivre de cette activité ? Comment faire en sorte que des lois efficaces voient le jour sur le sujet ?

Pour répondre à ces questions, et bien d'autres, des acteurs du métier viendront vous expliquer ce qu'ils ont mis en place, les difficultés rencontrées, leurs réussites, les contraintes qu'ils rencontrent. Au travers de ces échanges, vous affinerez votre compréhension de l'écosystème global des entreprises TechForGood, parce que la réussite d'un projet, d'une entreprise, c'est la réussite de tous ces acteurs, au sein d'un écosystème complexe.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Financement (20%)

- Pôles de compétitivité,
- Appels à projets étatiques
- Financements privés

Règlements (20%)

- Biodiversité
- Bien être animal
- Santé

Dispositifs médicaux (10%)

- Marquage CE (Europe) versus FDA (USA)
- Protocole de recherche

Projet (50%)

- Travail sur un projet personnalisé : dispositif médical CE de classe IIa

Déroulement, organisation du cours

Témoignages par des intervenants extérieurs (règlements, financement)

Classe inversée : création "from scratch" d'un protocole de recherche

Organisation de l'évaluation

Rapport (40% de la note finale) (C3, C5)

Présentation des travaux pratiques (50% de la note finale) (C3, C5)

Pitch de 90s sur le projet choisi (10% de la note finale)(C7)

Moyens

Equipe enseignante :

- Renaud Segulier
- Intervenants Extérieurs

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de :

- Comprendre les procédures à mettre en place pour réaliser un protocole de recherche clinique et le soumettre à un comité d'éthique
- lister les outils de financements des dispositifs médicaux
- Identifier et comprendre les études cliniques en cours en Europe et aux USA sur un sujet donné.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C3.2 : Proposer des alternatives, formuler des idées en intégrant les expertises externes nécessaires (techniques, commerciales, RH, financières, juridiques, etc.), intégrer les risques et l'incertitude

C3.3 : Mettre en œuvre concrètement des idées novatrices et s'engager sur ses décisions, évaluer les solutions, passer à l'industrialisation pour délivrer des résultats tangibles

C5.2 : Écouter, se faire comprendre et travailler avec des acteurs de diversités, cultures, codes, formations, disciplines, etc. variés

C7.1 : Sur le fond : Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

3SQ1070 – Conception d'une application IoT

Responsables : **Pietro Maris Ferreira**

Département de rattachement : **DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de cet enseignement est de mettre les élèves en situation de conception d'une application de l'internet des objets en expérimentant, en réalisant et en validant un démonstrateur fonctionnel. Des apports technologiques et méthodologiques ainsi qu'une mise en pratique en mode projet permettront d'appréhender les différentes composantes d'un système connecté du choix des capteurs au traitement des données.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Les élèves doivent avoir des bases en programmation (connaissance d'un langage informatique structuré de type java, Python ou C). Ils doivent avoir suivi le début du cours de systèmes embarqués de dominante (introduction au C/C++).

Plan détaillé du cours (contenu)

Les premières séances seront consacrées à des tutoriels pour apprendre les notions nécessaires (environnement de développement, cloud), ...

Les autres séances seront consacrées à la mise en œuvre du projet.

Les élèves travailleront en équipes.

Dans les équipes les élèves se partageront le travail en problématiques autour de plusieurs axes :

- Conception et intégration électronique (capteur)
- Traitement et communication (programmation C, traitement sur carte embarquée, mise en œuvre du protocole de communication)
- Traitement des données et application sur serveur C via Matlab

Les élèves disposeront d'un ensemble de composants (capteurs, cartes de traitement,, ...) qu'ils pourront choisir parmi un panel fourni par l'école.

La première étape est de spécifier un objet connecté et une application cibles.

La deuxième étape consistera à assembler et intégrer les différents éléments pour créer l'objet (capteurs et carte processeur)

En parallèle, La troisième étape consiste à développer l'application et son environnement de type cloud.

Les élèves doivent fournir un démonstrateur fonctionnel à la fin du projet.

Déroulement, organisation du cours

L'enseignement se fait sous forme de plusieurs tutoriels pour la découverte des éléments constitutifs de l'objet et d'un projet encadré par des enseignants.

Organisation de l'évaluation

A la fin de la 3^e séance, les élèves font une présentation orale du concept qu'ils ont imaginé. Les encadrants leur font alors un retour sur la pertinence du projet et la possibilité d'aboutir dans un temps raisonnable. En fin de projet les élèves présentent leur travail (présentation orale suivie d'une démonstration). Ils sont évalués sur la qualité technique du travail (démonstrateur fonctionnel ou pas), la prise en compte des remarques lors de la présentation intermédiaire, et la qualité de la présentation orale.

Support de cours, bibliographie

Tutoriel Polycopié proposé par l'équipe enseignant.

Moyens

Les élèves disposeront chacun d'une carte développement électronique associée à un environnement de développement :

- Sur le campus de Saclay : Carte ST-Discovery-L475E-IOT01A et environnement de développement MBED-OS

Pour la réalisation du système, les élèves disposeront d'un panel de capteurs.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les élèves seront capables de programmer une application simple temps réel en langage C sur un processeur embarqué. Ils seront capables de connecter un système embarqué sur un réseau de type WIFI ou Lora et enfin seront capables de traiter simplement des données enregistrées sur un cloud.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C4 : Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C7 : Savoir convaincre

C8 : Mener un projet, une équipe

3SQ1071 – Conception d'une application IoT

Responsables : **Amor Nafkha**

Département de rattachement : **DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de cet enseignement est de mettre les élèves en situation de conception d'une application complète de l'internet des objets en se basant sur les trois modules suivants : 3SQ1041, 3SQ3070 et 3SQ3140. Ce module sera réalisé sous le format d'un projet dans lequel l'étudiant sera amené à définir un cahier de charge avec l'enseignant, concevoir, expérimenter et valider à travers un démonstrateur une application IoT de bout en bout : depuis le(s) capteur(s) jusqu'à l'interface logicielle de visualisation.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Modules :

3SQ1041 Systèmes embarqués

3SQ3070 Sensors and communication interfaces

3SQ3140 IoT Platforms

Plan détaillé du cours (contenu)

Les séances seront consacrées à la mise en œuvre de l'application IoT. Les étudiants travailleront en équipes (deux à trois personnes)

Déroulement, organisation du cours

La pédagogie par projet

Organisation de l'évaluation

En fin de projet les étudiants présentent leur travail (présentation orale suivie d'une démonstration)

Moyens

Les étudiants disposeront chacun d'une carte de développement (ESP32 et/ou STM32-L475E-IoT et/ou raspberry Pi et/ou Lora modules,) associée à un ensemble de capteur et à un environnement de développement IDE.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les élèves seront capables de :

- + Définir un cahier de charge à partir des besoins dans l'un des domaines suivantes : santé, protection de la faune, traitement des eaux usées, traitement de l'air, traitement des déchets
- + Définir la technologie IoT à utiliser
- + Collecter, transmettre, stocker et analyser les informations envoyées par les capteurs
- + Analyser la consommation de la solution proposer

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C4 : Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C6 : Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

3SQ2010 – Sciences des réseaux

Responsables : **Koen De Turck, Richard Combes**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les réseaux sont partout dans notre vie quotidienne moderne. En termes abstraits, un réseau est un ensemble d'entités (appelées nœuds) liées par des relations (appelées arêtes). Cette définition simple permet de capturer et d'étudier de nombreux exemples et phénomènes différents, dont nous n'en nommons que quelques-uns : les réseaux sociaux, les réseaux de communication, les moteurs de recherche, les systèmes de recommandation de contenu, les processus épidémiques. Dans ce cours, nous proposons une première introduction au domaine moderne et fascinant de la "science des réseaux", qui est l'étude des réseaux complexes, dans le but de comprendre leur structure.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Algèbre linéaire ; probabilité ; statistique ; bases de programmation en Python

Plan détaillé du cours (contenu)

Programme provisoire

- I) Introduction: exemples de réseaux complexes provenant de: informatique, biologie, médecine.
- II) Graphes aléatoires: introduction à la théorie des graphes aléatoires, graphes aléatoires comme modèles de réseaux complexes, processus de branchement, modèles de graphes aléatoires
- III) Phénomènes de transition de phase: seuils de connectivité, composants géants
- IV) Réseaux invariants d'échelle et réseaux dits «petit monde»: exemples dans les réseaux du monde réel, distributions de degrés suivant une loi de puissance, attachement préférentiel
- V) Structures communautaires dans les réseaux: exemples de structures communautaires dans les réseaux du monde réel, le modèle de bloc stochastique, algorithmes de détection communautaire
- VI) Processus épidémiques: diffusion d'informations sur des graphes, algorithmes d'inférence de modèles, stratégies de diffusion

Déroulement, organisation du cours

Ce cours consiste en une combinaison de cours classiques (~50%) et de travaux dirigés et pratiques (~50%)

Organisation de l'évaluation

Les étudiants seront évalués par un examen à la fin du cours.

Support de cours, bibliographie

Remco van Der Hofstad, "Random Graphs and Complex Networks", 2013
Albert-Lazlo Barabasi, "Network Science", 2016

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Après complétion de ce cours, les étudiants seront capables de :

- comprendre les bases des graphes aléatoires, afin de pouvoir modéliser n'importe quel réseau complexe
- comprendre les propriétés structurelles de grands réseaux complexes : connectivité, détection des communautés, distribution des degrés, et bien d'autres
- appliquer des algorithmes aux données extraites de réseaux réels à grande échelle afin de comprendre leur structure, de faire des prédictions et de contrôler leur fonctionnement et / ou leur dynamique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C1.3 Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles

C6.4 Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

C6.5 Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.

3SQ2030 – Théorie des jeux

Responsables : **Sheng Yang, Samson LASAULCE**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de ce cours est de permettre aux étudiants de comprendre comment la théorie des jeux est actuellement utilisée pour analyser, concevoir, et étudier des réseaux modernes tels que les réseaux sans fil de 5ème génération, les réseaux d'énergie intelligents, et les réseaux sociaux. A la fois des notions de bases et des notions avancées seront étudiées. L'articulation de la théorie des jeux avec des disciplines telles que l'optimisation, l'optimisation distribuée, le contrôle optimal, et l'apprentissage multi-agent sera mise en évidence.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Bases mathématiques typiquement enseignées en 1A et 2A des écoles d'ingénieurs.

Plan détaillé du cours (contenu)

D'un point de vue technique, les notions suivantes seront abordées et illustrées par des applications modernes de la théorie des jeux :

- Méthodologie d'étude des équilibres d'un jeu
- Classes importantes de jeu (tels que les jeux de potentiels). Propriétés mathématiques et applications.
- Jeux répétés.
- Jeux de coalition.
- Apprentissage multi-agent.

Déroulement, organisation du cours

Enseignement fondé sur les exemples, applications et études de cas. Les échanges entre l'enseignant et les étudiants sont très encouragés.

Organisation de l'évaluation

Analyse et résumé (sous forme de présentation) d'un article scientifique par binôme ou trinôme.

Support de cours, bibliographie

[1] M. Maschler, E. Solan, and S. Zamir. "Game Theory". Cambridge University Press. 2013.

[2] S. Lasaulce and H. Tembine. "Game Theory and Learning for Wireless Networks : Fundamentals and Applications". Academic Press. 2013.

Moyens

- 12h de cours incluant environ 3h d'étude de cas et d'exercices
- Approfondissement d'un domaine de la théorie des jeux via la sélection et l'étude d'un article scientifique en binôme ou en trinôme

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

L'objectif de ce cours est triple : donner une vision unifiée des principaux outils de la théorie des jeux (théorie des jeux directe, théorie des mécanismes, forme stratégique, forme coalitionnelle, analyse et conception) ; acquérir une méthodologie systématique des équilibres d'un jeu; étudier en détails des cas d'études modernes (marketing viral dans les réseaux sociaux, ordonnancement de consommation dans un réseau d'énergie intelligents, gestion de l'interférence dans les réseaux 5G).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2 Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

3SQ2040 – Apprentissage par renforcement

Responsables : **Richard Combes**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'apprentissage par renforcement est un domaine de l'intelligence artificielle qui traite les méthodes qui permettent pour apprendre par essais et erreurs. L'apprentissage par essais et erreur est non seulement la stratégie utilisée par tous les êtres vivants mais également celle qui permet de résoudre efficacement plusieurs problèmes difficiles et importants:

- comment apprendre à un ordinateur à jouer aux échecs ou au jeu de go et battre les meilleurs joueurs humains ?
- comment apprendre à des robots à se mouvoir dans un environnement imprévu, éviter les obstacles et atteindre des cibles ?
- comment recommander automatiquement des contenus (livres, films, vidéos etc.) à des millions de clients, afin que chacun obtienne des recommandations qui l'intéresse ?

Le but de ce cours est de donner une introduction à ce domaine à la fois fascinant et en pleine expansion: des modèles mathématiques, en passant par les algorithmes, leur performance théorique et numérique, ainsi que leur implémentation pratique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Cours de première année de probabilités et statistiques. Niveau basique de programmation en Python.

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours 1:

Partie 1: Modèle général de l'apprentissage par renforcement: états, actions, récompenses, exemples d'applications.

Partie 2: Problèmes de Bandits I: définitions, récompenses stochastiques vs adversariales, algorithme EXP3.

Cours 2:

Partie 1: Problèmes de Bandits II: borne de Lai-Robbins, algorithme Upper Confidence Bound, algorithme Thompson sampling, problèmes structurés.

Partie 2: Problèmes de Bandits III: implémentation en Python et performance en pratique.

Cours 3:

Partie 1: Processus de Décision Markoviens I: définitions, équation de Bellman, calcul des politiques optimales.

Partie 2: Processus de Décision Markoviens II: résoudre les Processus de Décision Markoviens en ligne, algorithme Q-learning et plus.

Cours 4:

Partie 1: Processus de Décision Markoviens III: fléau de la dimension, approximation de fonctions valeur, gradient de politique.

Partie 2: Processus de Décision Markoviens IV: implémentation en Python et performance en pratique.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux + programmation en Python.

Organisation de l'évaluation

Compte rendu à rendre à la fin du cours.

Support de cours, bibliographie

Notes de cours

Moyens

Cours magistraux + programmation en Python.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants maîtriseront les algorithmes principaux de l'apprentissage par renforcement. Ils comprendront leurs garanties théoriques de performance, ainsi que comment les implémenter et leur performance pratique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A l'issue de ce cours, les étudiants maîtriseront les algorithmes principaux de l'apprentissage par renforcement. Ils comprendront leurs garanties théoriques de performance, ainsi que comment les implémenter et leur performance pratique.

3SQ2050 – Apprentissage profond

Responsables : **Juan-Pablo Piantanida**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ces dernières années, l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage automatique pour résoudre de nombreux problèmes mal posés dans le domaine du traitement multidimensionnel du signal et de l'analyse des données massives a gagné en importance. Des nouvelles méthodes de représentation, de modélisation, d'optimisation et d'apprentissage statistique des signaux ont été formulées, couvrant divers domaines de l'apprentissage automatique, de la reconnaissance de formes, de la vision, du traitement du langage naturel et des communications numériques.

Ce cours d'introduction donne un aperçu de nombreux concepts, techniques et algorithmes en apprentissage automatique, les principes de représentation et d'apprentissage profond en particulier, en commençant par des sujets tels que la classification et la régression linéaire et en terminant par des sujets plus récents tels que les machines vectorielles de support, réseaux neuronaux, auto-encodeurs, réseaux neuronaux convolutifs et réseaux récurrents. Le cours donnera à l'étudiant les idées de base et l'intuition derrière les méthodes modernes d'apprentissage profond, ainsi qu'une compréhension un peu plus formelle de comment, pourquoi et quand elles fonctionnent. Le thème sous-jacent du cours est le domaine de l'apprentissage profond, car il constitue la base de la plupart des méthodes couvertes.

Ce cours fournira un aperçu des théories et des pratiques actuelles dans le domaine de l'apprentissage profond, nécessaires aux étudiants qui ont l'intention de se spécialiser dans ce domaine, pour résoudre des problèmes complexes en apprentissage automatique avec des applications à des domaines d'ingénierie tels que les communications et l'Internet des objets (IoT).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Les thèmes sous-jacents des cours de base de l'inférence statistique, de la théorie des probabilités et de l'optimisation, car ils constituent la base de la plupart des méthodes couvertes. En outre, une certaine expérience de la programmation Python est requise.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction à l'apprentissage statistique

- Introduction, classification linéaire, règle de mise à jour du perceptron
- Erreurs de classification, généralisation, régularisation, régression logistique
- Régression linéaire, biais d'estimateur et variance
- Support de la machine vectorielle (SVM) et des noyaux, optimisation du noyau
- Sélection du modèle, longueur de la description, sélection des fonctionnalités
- Clustering

2. Introduction aux réseaux de neurones :

- Perceptrons, capacité d'un seul neurone
- Régression linéaire et logistique
- Rétropropagation et optimisation du gradient stochastique

3. Faire progresser les réseaux de neurones :

- Auto-encodeurs et variantes
- Hyper-paramètres et astuces d'entraînement pour les réseaux de neurones
- Difficulté à former des réseaux profonds et à régulariser (normes, Dropout, auto-encodeurs de débruitage,...)
- Apprentissage non supervisé des représentations et pré-formation

4. Variations sur les encodeurs automatiques et les réseaux récurrents:

- Réseaux de neurones convolutifs
- Réseaux récurrents
- Auto-encodeurs variationnels et filets adverses génératifs

5. Variations architecturales modernes avec des applications aux communications et à l'analyse des données IoT:

- Un aperçu rapide de TensorFlow
- Tâches de classification typiques: classification des chiffres MNIST à l'aide de la régression logistique
- Keras: une bibliothèque d'apprentissage en profondeur python
- Apprentissage profond pour résoudre les problèmes de communication

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, exemples, notes de cours, livres pertinents, implémentations pratiques basées sur des projets dédiés, ...

Organisation de l'évaluation

Il y aura deux examens, un projet de classe à mi-parcours et un final le dernier jour de classe.

Les étudiants doivent compléter un projet de classe. Le choix du sujet appartient aux étudiants dans la mesure où il se rapporte clairement au matériel du cours. Pour s'assurer que les étudiants sont sur la bonne voie, ils devront soumettre une description d'un paragraphe de leur projet avant l'échéance du projet. Nous attendons une rédaction de quatre pages sur le projet, qui devrait décrire clairement et succinctement l'objectif, les méthodes et les résultats du projet. Chaque groupe doit soumettre une seule copie de la rédaction et inclure tous les noms des membres du groupe (un groupe de deux personnes aura 6 pages, un groupe de trois personnes aura 8 pages, et ainsi de suite). Les projets seront notés sur la base de votre compréhension du matériel global du cours (et non en fonction, par exemple, de la brillance de la méthode). La portée du projet est d'environ 1 à 2 ensembles de problèmes.

Les projets peuvent être des revues de littérature, des dérivations ou analyses théoriques, des applications de méthodes d'apprentissage automatique (en profondeur) à des problèmes qui vous intéressent, ou autre chose (à discuter avec le responsable du cours).

Support de cours, bibliographie

1. **Deep Learning:** by Ian Goodfellow, Yoshua Bengio and Aaron Courville, Adaptive Computation and Machine Learning series, MIT Press, November 2016, ISBN-10: 0262035618.
2. **Machine Learning: A Probabilistic Perspective,** by Kevin P. Murphy, Adaptive Computation and Machine Learning series, MIT Press, ISBN-10: 0262018020.
3. **Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms,** by Shai Shalev-Shwartz and Shai Ben-David. 2014, Cambridge University Press, USA.
4. **Deep Learning - Methods and Applications,** by Li Deng and Dong Yu
<http://research.microsoft.com/pubs/219984/BOOK2014.pdf>
5. **Torch7:** <http://torch.ch/>
6. **TensorFlow:** <https://www.tensorflow.org>
7. **Tools:**
 - o <http://keras.io/>
 - o <https://www.cs.cmu.edu/~ymiao/pdnnk.html>
 - o <http://deeplearning.net/software/pylearn2/>
 - o <http://blocks.readthedocs.org/>

Moyens

Logiciels: Python, TensorFlow, Torch

Salle de TP: Department of Télécommunications

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants doivent pouvoir

- comprendre les grands principes de la théorie de l'apprentissage statistique
- comprendre les principes et les outils du deep learning
- être capable de mettre en œuvre des algorithmes d'apprentissage profond pour les tâches de classification
- comprendre le principal compromis entre les ressources informatiques, l'optimisation et les ressources statistiques
- comprendre les astuces pratiques utilisées pour la sélection de modèles dans les réseaux de neurones profonds

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.3 Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation.

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

C6.4 Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle.

C6.5 Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.

C8.1 Travailler en équipe/en collaboration.

C1.5 Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

3SQ2060 – Sujets avancés sur le cloud computing

Responsables : **Sheng Yang**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans ce cours, vous apprendrez les méthodes d'optimisation de base et, surtout, comment les appliquer pour résoudre de vrais problèmes en affaires.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le matériel est organisé en 4 séances de cours :

Cours 1 – Planification des ressources

- Introduction à l'informatique en nuage
- Qu'est-ce que la planification des ressources ?
- Le problème newsvendor & optimisation stochastique des ressources
- Préviation de la demande
- Apprentissage en ligne pour l'allocation des ressources

Devoirs 1 : Concevez un modèle de prévision pour les données dataset1 et comparez-le avec le voisin le plus proche.

Cours 2 - Répartition de charge

- Qu'est-ce que la répartition de charge ?
- Bin packing et l'algorithme Best-fit
- Rejoignez la file d'attente la plus courte
- Dérive et stabilité de Lyapunov
- Simulation d'événements discrète (DES)

Devoirs 2 : Écrivez un simulateur DES pour affecter les tâches à 10 serveurs de capacité unitaire sur les données dataset2 et comparez JSQ par rapport à l'allocation aléatoire.

Cours 3 - Équité

- Qu'est-ce que l'équité ?
- L'équité max-min et l'équité proportionnelle
- Maximisation des services publics et alpha-équité
- Répartition la plus équilibrée
- Équité multirésources

Devoirs 3 : Supposons que nous devons allouer tous les numéros de 1 à 365 à trois serveurs, de sorte que le nombre x se traduit par un utilitaire x et a besoin de ressources $x/10$. Le serveur 1 a une capacité 3000, le serveur 2 en a 2500 et le serveur 3 1500. Y a-t-il une allocation équitable de max-min ? Et si oui, laquelle ?

Cours 4 – Découpage de réseau

- Qu'est-ce que le découpage du réseau ?
- Formulation et applications d'intégration de réseau virtuel
- Complexité et heuristique

Devoirs 4 : Formuler le problème d'intégration de réseau virtuel sur les données dataset3, le résoudre avec des outils Google-OR.

Déroulement, organisation du cours

4 cours magistraux avec exercices et devoirs

Organisation de l'évaluation

Le cours sera évalué au moyen de rapports d'affaires créés par les étudiants. Chaque élève produira quatre rapports d'affaires d'une page, un pour chaque devoir. Chaque rapport comprendra un résumé (3-6lines) qui devrait être un texte autonome expliquant la page. Le contenu du reste de la page est libre à l'élève. Le rapport devrait décrire comment vous avez résolu les devoirs (les mathématiques/chiffres/données devraient soutenir les arguments/conclusions) et être lisible et compréhensible par un scientifique/gestionnaire qui n'est pas au courant du cours actuel, et sera évalué selon les critères suivants :

- Être correct (3pts)
- Clarté (3pts)
- Concision/exhaustivité (3pts)
- Originalité du contenu (1pts)

La note finale sera donnée après le classement et la normalisation pour tous les élèves. Tous ceux qui fourniront un rapport complet pour les 4 devoirs auront la « passe ».

Les élèves sont encouragés à commencer à travailler avant la classe. Le matériel sera disponible avant la fin de 2022.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Plus précisément, vous allez :

- Acquérir des informations sur l'optimisation des infrastructures de cloud computing
- Apprendre à effectuer la planification et la prévision des ressources
- Apprendre à coder les simulateurs d'événements discrets afin d'analyser les stratégies dynamiques
- Apprendre à concevoir des stratégies d'allocation des ressources qui atteignent certains critères d'équité
- Apprendre à résoudre les problèmes d'optimisation de l'intégration des ressources à l'aide de solveurs open source

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C1.3 Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

3SQ2070 – Systèmes intelligents

Responsables : **Armelle Wautier**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de comprendre les enjeux, les leviers et les freins de l'intelligence artificielle avec des questionnements sur la confiance, l'éthique et l'évaluation des systèmes intelligents.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Apprentissage par renforcement, Apprentissage profond, Réseaux

Plan détaillé du cours (contenu)

Enjeux de l'IA pour l'industrie et la société
Méthodologie de conception de produits industriels intégrant de l'IA
Évaluation, homologation et certification des systèmes intelligents
Apports de l'IA pour les réseaux du futur

Déroulement, organisation du cours

Conférences et échanges avec des professionnels
Expérimentation sous la forme d'étude de cas

Organisation de l'évaluation

La participation aux conférences et études de cas est obligatoire.
L'évaluation comprend une note de synthèse.

Moyens

Conférences et études de cas par des experts

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les acquis d'apprentissage visés sont :

- identifier les défis et les enjeux de l'IA
- appréhender des questionnements sur la confiance, l'éthique et l'évaluation de l'IA
- comprendre les défis de conception de systèmes intelligents
- identifier le potentiel de l'IA pour les futurs réseaux de communication

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C6 : Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

C9 : Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

3SQ2080 – Économie du Numérique

Responsables : **Raul De Lacerda**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Avec le développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication, le monde entier rentre dans l'ère du « digital » où la transformation numérique devient fondamentale pour rester compétitif dans le monde globalisé. Après l'invention des machines à vapeurs à la fin du XVIIIe, l'apparition des nouvelles sources d'énergie à la fin du XIXe et la révolution des transports et de la communication au XXe, l'intégration des systèmes communicants et des objets connectés dans la chaîne industrielle de produits et de services devient un des grands enjeux du XXIe et l'économie des réseaux de communication le pilier principal de cette révolution. Pour répondre de manière adaptée aux besoins du marché, la gestion des systèmes de communication doit respecter des règles qui répondent à des impératifs de coût et d'efficacité. Par conséquent, l'État joue un rôle très important dans la gestion de la réglementation pour assurer le développement du marché des télécommunications et la qualité des services fournis, ainsi que les principes de concurrence et de tarification pour établir un équilibre dans le rapport entre l'offre et la demande. Ce cours couvre les aspects économiques et sociétaux du marché des systèmes de communication.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

L'enseignement sera dispensé sous forme de cours :

- Introduction à la régulation de l'activité économique
- Les enjeux économiques des TIC
 - L'essor du haut-débit
 - Concurrence et tarification
 - Les nouveaux marchés
- L'Autorité de la Concurrence
 - L'Autorité en France et en Europe
 - L'abus de position dominante et l'impact sur le marché
 - Le contrôle des concentrations dans le monde des télécommunications
- Études de cas pratiques

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement se déroule sous la forme de cours magistraux avec présence obligatoire.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fait sous forme d'un questionnaire à choix multiples (QCM). Chaque absence en cours magistral sera pénalisée de 2 points.

Support de cours, bibliographie

D. Battu, « Économie des réseaux de communication », Hermes Science Publishing Ltd 2016.
H. Mazar, « Radio Spectrum Management: Policies, Regulations and Techniques », Wiley 2016.
T.W. Hazlett, « The Political Spectrum », Yale University Press 2017.

Moyens

Ce cours sera dispensé par des enseignants-chercheurs de CentraleSupélec et par des vacataires extérieurs qui ont l'expérience de la gestion économique des nouvelles technologies dans les agences de l'État.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves comprendront les enjeux économiques des nouvelles technologies, ainsi que le cadre réglementaire en France et en Europe. Cette formation permettra aux élèves d'apprendre les principes et dispositifs de protection de la concurrence et l'importance de l'intervention de l'État dans l'économie et dans la régulation du marché des télécommunications.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1. Analyser concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques technologiques humaines et économiques
 - C1.1 Analyser : étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc.
- C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers
 - C2.2. Importer des connaissances d'autres domaines ou disciplines
- C5. Evoluer et agir dans un environnement international, interculturel et de diversité
 - C5.3. Analyser les enjeux globaux et/ou locaux à l'international et adapter des projets ou solutions à ceux-ci
- C9. Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales
 - C9.2. Analyser et anticiper les conséquences possibles des organisations et modèles économiques des structures auxquelles on contribue

3SQ2090 – Réseaux informatiques

Responsables : **Sahar Hoteit**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les notions suivantes seront abordées dans ce module:

Définition d'un réseau informatique et modèles en couches (OSI et TCP/IP)

Couche Physique (rôle, supports, modulation, multiplexage)

Couche Liaison de données (rôle, détection et correction d'erreurs, méthodes d'accès au canal)

Couche Réseau (rôle, routage, adressage IP, protocoles ARP, ICMP et DHCP)

Couche Transport (rôle, protocoles TCP et UDP)

Couche Application (rôle, protocoles DNS, HTTP)

TDs et TP:

TD1: Adressage IP

TD2: Algorithmes de routage

TD3: Protocoles TCP et DNS

TP: Configuration d'un réseau local et analyse de protocoles de communication Multimedia.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

SIP (SG1)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Définition d'un réseau informatique et modèles en couches (OSI et TCP/IP)
- Couche Physique (rôle, supports, modulation, multiplexage)
- Couche Liaison de données (rôle, détection et correction d'erreurs, méthodes d'accès au canal)
- Couche Réseau (rôle, routage, adressage IP, protocoles ARP, ICMP et DHCP)
- Couche Transport (rôle, protocoles TCP et UDP)
- Couche Application (rôle, protocoles DNS, HTTP)

Déroulement, organisation du cours

Cours/TD/TP

Utilisation des logiciels Wireshark et Packet tracer

Organisation de l'évaluation

Examen Final + TP noté

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Compréhension des concepts, protocoles et mécanismes du réseau informatique classique (TCP/IP);
Compréhension des notions de réseau sous-jacentes au Web.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Configuration et administration des équipements de réseau;
- Analyse des protocoles de communication Multimedia.

3SQ2100 – Compression de données multimédias

Responsables : **Sheng Yang, Frédéric Dufaux**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le contenu audiovisuel et multimédia devient omniprésent de nos jours, avec des applications telles que le streaming vidéo, la vidéo à la demande et les médias sociaux. Cette évolution est également rendue possible par des appareils toujours plus puissants, notamment les smartphones et les tablettes, ainsi qu'une meilleure connectivité réseau. Pour permettre une gestion efficace de ce contenu multimédia, des méthodes de compression efficaces sont nécessaires. Dans ce module, dans un premier temps, nous passerons en revue les concepts théoriques de base pour le codage de source et la compression. Après ces préliminaires, dans une deuxième étape, nous présenterons certaines des normes de codage d'image et vidéo les plus utilisées. Comme dans la plupart des applications, ce contenu multimédia est consommé par des êtres humains, nous présenterons également certaines des propriétés du système visuel humain et comment elles peuvent être exploitées afin d'évaluer de manière fiable la qualité visuelle du contenu compressé.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Des bases en traitement du signal, en théorie des probabilités et en algèbre linéaire sont utiles

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours: Codage de source

Modèles de source (source sans mémoire, source Markovienne)

Codage de source (codes décodables de manière unique, codes instantanés, codes préfixes, inégalité Kraft-McMillan, code optimal)

Code de Huffman, codage arithmétique, code de LZ-Zempel, codage par plages

Cours: Quantification

Quantification scalaire (quantification uniforme, quantification non uniforme, algorithme de Lloyd-Max)

Quantification vectorielle (k-means ou LBG)

Cours: Codage par transformation

Transformations linéaires, transformations unitaires, conservation d'énergie

Transformation de Karhunen-Loeve (KLT)

Transformation cosinus discrète (DCT)

Allocation optimale des bits

Cours: Codage prédictif

Modulation par impulsions et codage différentiel (DPCM)

Prédiction en boucle fermée

Application au codage vidéo: prédiction spatiale (intra) et temporelle (inter) en vidéo

Cours: Normes de codage d'images et de vidéos

JPEG
JPEG 2000
HEVC (High Efficiency Video Coding)

Cours : Système visuel humain
Principales propriétés du système visuel humain, photorécepteurs bâtonnets et cônes de la rétine, sensibilité au contraste, masquage
Évaluation subjective de la qualité
Mesures de qualité objectives (perceptuelles)

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux

Organisation de l'évaluation

Epreuve écrite

Support de cours, bibliographie

T. Cover et J. Thomas, Elements of Information Theory, 2nd ed., Wiley, 2006.
K. Sayood, Introduction to data compression, 2nd ed., Morgan Kaufman, 2005.
A. K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1989
S. Winkler, "Digital Video Quality", Wiley, 2005
D. Taubman and M. Marcellin, "JPEG 2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice", Kluwer Academic Publishers, 2002.
V. Sze, M. Budagavi, G. J. Sullivan, High Efficiency Video Coding (HEVC), Springer, 2014

Moyens

Intervenant: Frederic Dufaux (L2S)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Former les étudiants sur des sujets associés à la compression de contenu multimédia, afin qu'ils puissent appréhender les problèmes techniques et les défis scientifiques associés. Codage de source, quantification, codage par transformation, codage prédictif, normes de codage d'image et vidéo, système visuel humain, évaluation de la qualité visuelle

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème
C1.3 Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation
C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

3SQ2110 – Modèles de Markov et algorithmes pour l'optimisation et l'apprentissage

Responsables : **Mehrdad Pourmir**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de guider l'étudiant dans le maniement de concepts et outils avancés en traitement du signal appliqué aux communications numériques. Les thèmes abordés comprennent l'analyse du signal en ondelettes, l'apprentissage adaptatif des paramètres d'un canal de communication, l'analyse spectrale adaptative, filtrage et estimation de paramètres dans les modèles de Markov cachés, techniques itératives sur graphes pour le décodage de séquences. L'acquisition de la théorie sera renforcée par la résolution de problèmes et par la programmation et simulation des algorithmes étudiés.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

On s'appuiera sur des connaissances générales en théorie des probabilités et en algèbre linéaire au niveau undergraduate.

Si besoin, des résultats mathématiques seront énoncés sans démonstration.

Plan détaillé du cours (contenu)

I: Traitement du Signal Adaptatif

Principes du traitement adaptatif en moyenne quadratique

Prédiction linéaire et la structure en treillis

Méthodes de sous-espaces optimaux, filtrage rapide en moyenne quadratique

Modèles ARMAX

II: Traitement du Signal Adaptatif

Problèmes corrigés et Programmation Matlab

Estimation spectrale, formation de voies adaptative, égalisation et poursuite de canaux fluctuants

III: Modèles de Signal de Markov Caché

Modèles de signaux spécifiés par la dépendance locale

Dynamique, statistique et récursivité

Techniques basées sur la probabilité de référence

Estimation récursive de chaînes et champs de Markov

Techniques d'optimisation Monte Carlo

IV: Modèles de Signal de Markov Caché

Problèmes corrigés et programmation Matlab

Décodage sur arbre, propagation de croyances, filtrage de Kalman et filtres particulières

V: Analyse en ondelettes et temps-fréquence

Principes sur l'analyse temps-fréquence, échantillonnage, analyse multi-résolution

Construction de bases d'ondelettes discrètes

Compression de données en ondelettes

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux ponctués de séances d'entraînement à la résolution de problèmes et à la simulation numérique sur Matlab.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation sera partagée entre un contrôle théorique commun et une partie projet individuel sur la simulation numérique d'un algorithme ou la présentation d'un article.

Moyens

Usage intensif du tableau noir. Programmation en Matlab.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Savoir identifier le critère et le modèle statistiques adaptés à l'analyse d'un signal dans le contexte de communications numériques. Reconnaître les algorithmes optimaux pour l'estimation des signaux et savoir les adapter aux contraintes du contexte.

3SQ2120 – Principes fondamentaux des communications sans fil

Responsables : **Sheng Yang**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La communication sans fil devient indispensable pour la société moderne et notre vie quotidienne. Pourtant, les ingénieurs sont continuellement confrontés à de nouveaux défis en raison de nos besoins de débit plus haut, de latence plus faible et de connectivité plus fiable. Ce cours présente les principes des communications sans fil, en mettant l'accent sur les limites fondamentales de la communication dans un environnement caractérisé par l'évanouissement et le bruit. Ces principes aideront les futurs ingénieurs à comprendre et à résoudre de nouveaux problèmes.

Dans ce cours, l'étudiant apprendra à calculer la capacité d'un canal sans fil et à comprendre les stratégies optimales de transmission et les algorithmes efficaces de récepteur. Outre les cours théoriques, plusieurs travaux pratiques sont également programmés. Pour suivre ce cours, l'étudiant doit avoir des notions de base sur les communications numériques, l'algèbre linéaire et la probabilité.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Théorie de l'information (ST4), Théorie de communications (électif 2A, SG6)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Cours 1 : Capacité et panne des canaux sans fil (Cours + Exercice 3H)
- TP 1 : "Allocation de l'énergie de remplissage d'eau" (1.5H)
- Cours 2 : Schémas de transmission (Cours + Exercice 3H)
- TP 2 : "Transmission spatio-temporelle" (1.5H)
- Cours 3 : Algorithmes de réception (cours + exercice 3H)
- TP 3 : "Mise en œuvre par le destinataire" (1.5H)
- Cours 4 : Communications multi-utilisateurs (Cours + Exercice 3H)
- Examen écrit : 1.5H

Déroulement, organisation du cours

Cours (12 H avec TD)

TP (4.5 H)

Examen écrit (1.5 H)

Organisation de l'évaluation

Compte rendu de TP (30%) Examen écrit (70%)

Support de cours, bibliographie

Tse, Viswanath, "Fundamentals of wireless communication"
El Gamal, Kim, "Network information theory"

Moyens

Logiciels : Matlab, Python
Salle de TP : Département de télécommunications

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin du cours, l'étudiant sera capable de

- analyser la capacité des canaux sans fil
- comprendre les évanouissements, la coupure de canal, la notion de diversité et de multiplexage
- comprendre les communications multi-antennes (MIMO)
- appliquer des techniques de transmission : beamforming, modulation spatio-temporelle
- appliquer des conceptions de récepteurs : récepteurs linéaires et non linéaires
- comprendre les communications multi-utilisateurs : liaison montante, liaison descendante, accès non orthogonal

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C6.7 Comprendre les systèmes de communications sans fil

C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pour traiter le problème

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

3SQ2130 – Codage correcteur d'erreur

Responsables : **Antoine Berthet**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le domaine du codage de canal a commencé avec l'article historique de Claude Shannon en 1948. Soixante-dix ans d'efforts et d'invention ont finalement produit des schémas de codage qui se rapprochent étroitement de la limite de capacité de canal de Shannon. L'objectif du cours est de fournir aux étudiants une connaissance générale du domaine et de son utilisation à différents niveaux dans les réseaux de communication. Pour commencer, nous rappelons aux étudiants les bases de la théorie du codage algébrique pour les canaux sans mémoire à entrée discrète. Nous exposons ensuite des notions plus avancées afin de rendre compréhensibles certains des schémas de codage les plus récents proposés dans la littérature et adoptés dans les normes de télécommunications modernes, par exemple les systèmes cellulaires de quatrième et cinquième générations. Nous élargissons enfin le périmètre classique de la discipline et présentons quelques applications importantes impliquant le codage de canal telles que les modulations codées, l'accès codé, le codage réseau ou le codage pour les systèmes de stockage.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Solides connaissances en algèbre générale et linéaire, théorie des probabilités, théorie de l'information, et communications numériques.

Plan détaillé du cours (contenu)

Partie A. Codage des canaux classiques - rafraîchissements

Revue des notions de base du codage des canaux : codes de blocs linéaires ; codes de Hamming, Golay et Reed-Müller ; codes convolutionnels linéaires ; champs de Galois, propriétés générales, structure cyclique, polynômes minimaux, factorisation ; codes polynômes, codes cycliques, codes BCH et Reed-Solomon ; probabilité maximale a posteriori (MAP) et décodage à maximum de vraisemblance (MLD) ; mise en œuvre algorithmique exacte et approximative : algorithme de Viterbi, algorithme avant-arrière, décodage statistique ordonné ; analyse des performances des codes linéaires dans le cadre du DLM.

Partie B. Codage moderne des canaux

Aperçu des systèmes modernes de codage des canaux : codes à graphes épars (codes de type turbo, codes LDPC) et codes polaires ; définition, construction, représentation graphique, décodage (propagation de croyances en boucle, décodage de listes) et analyse des performances.

Partie C. Ouverture

Ouverture sur les modulations codées (codage à plusieurs niveaux) et les applications récentes du codage au-delà du codage par canal de liaison, c'est-à-dire comment combiner le codage avec les schémas d'accès (programmé ou aléatoire) et le réseau/routage, c'est-à-dire le codage de réseau pour les réseaux graphiques et les réseaux de communication sans fil.

Déroulement, organisation du cours

L'enseignement se fait sous la forme de cours magistraux, complétés par des listes d'exercices avec solutions pour l'entraînement personnel à la maison. L'enseignant guidera les étudiants qui souhaitent implanter dans le langage de programmation de leur choix (MATLAB, C) certains schémas de codage vus en cours et simuler leur performance.

Organisation de l'évaluation

Examen final écrit de 1h30 avec documents (transparents, notes de cours).

Support de cours, bibliographie

- [1] COVER, T.M. and THOMAS, J.A., Elements of Information Theory, Wiley, 1991.
- [2] EL GAMAL, A. and KIM, Y.-H., Network Information Theory, Cambridge, 2011.
- [3] GALLAGER, R.G., Information Theory and Reliable Communication, Wiley, 1968.
- [4] MAC WILLIAMS, F.J. and SLOANE, N.J.A., The Theory of Error-Correcting Codes, North Holland, 1977.
- [5] RYAN, W.E. and LIN, S., Channel Coding: Classical and Modern, Cambridge, 2009.
- [6] VITERBI, A.J. and OMURA, J.K., Principles of Digital Communications and Coding, McGraw Hill, 1979.
- [7] YEUNG, R.W., Information Theory and Network Coding, Springer, 2008.

Moyens

Enseignant : Antoine O. BERTHET, professeur à CentraleSupélec, chercheur au Laboratoire des Signaux et Systèmes (L2S)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin du cours, les étudiants seront en mesure de :

- 1) comprendre les concepts fondamentaux du codage de canal moderne pour les systèmes de communication avancés ;
- 2) concevoir et modéliser un ensemble ou des parties d'un système de communication et évaluer les performances du système de communication soit analytiquement soit par simulation ;
- 3) déterminer ou optimiser les paramètres des systèmes de communication (par exemple, choix de l'architecture de fonctionnement, algorithmes de traitement de l'information, dimensionnement) sous des contraintes physiques, énergétiques et/ou technologiques.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C6.7 Comprendre les notions avancées en codage correcteur d'erreurs de canal et leurs applications ;
- C1.2 Utiliser et développer des modèles appropriés, choisir la bonne échelle de modélisation et simplifier les hypothèses pour traiter un problème ;
- C1.4 Spécifier, concevoir, construire et valider des parties d'un système complexe ;
- C2.1 Approfondir un domaine ou une discipline liée aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur ;
- C2.5 Maîtriser les compétences d'un des métiers d'ingénieur de base.

3SQ2140 – Réseaux d'accès radio

Responsables : **Mohamad Assaad**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours fournit une description générale des réseaux sans fil en mettant l'accent sur les principaux défis de conception et de modélisation dans ce domaine. En plus de décrire l'architecture et les aspects pratiques de base des réseaux sans fil, le cours se concentre sur diverses techniques d'accès multiple et schémas d'accès aléatoire utilisés dans les réseaux sans fil. Des outils et des méthodes théoriques permettant d'optimiser les techniques d'accès multiples susmentionnées et donc de développer des schémas de transmission intelligents seront décrits en détail. En outre, le cours présente divers aspects émergents qui façonneront l'architecture des futurs réseaux sans fil (5G et au-delà). Par exemple, des sujets tels que la conception MAC avancée (basée sur des techniques d'accès cross layer et distribuées) pour l'Internet des objets (IoT) seront couverts. Les techniques permettant de gérer la grande densité des futurs réseaux seront également abordées. Enfin, la limitation théorique et la mise en œuvre des schémas présentés seront discutées.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Communications numériques, traitement de signal, optimisation

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction générale aux réseaux sans fil (1.5h CM)
 - Cas d'usage et exigences, introduction générale aux techniques d'accès multiple, défis de modélisation et conception
- Accès multiple orthogonal (6h CM, 3h TD, 6h TP)
 - Introduction des techniques d'accès orthogonal
 - Conception de politiques d'allocation de ressources qui optimisent la QoS ou le débit moyen
 - Application aux CDMA, TDMA et OFDMA (e.g. 3G, 4G and 5G)
 - Limite de la théorie
- Accès multiple non-orthogonal (3h CM)
 - Différents types d'accès NOMA: principes et comparaison
 - Analyse de performance et optimisation du réseau
- Accès aléatoire et distribué (3h CM, 1.5h TD)
 - Méthodes classiques (CSMA, Aloha, etc.)
 - Analyse de performance des méthodes d'accès aléatoire existantes
 - Limites de performance et implémentation dans les réseaux à grande échelle (e.g. IoT)

Déroulement, organisation du cours

Déroulement, organisation des cours

-Introduction générale (1.5h CM)

-Techniques d'accès multiple orthogonal (6h CM, 3h TD, 6h TP)

-Accès multiple non-orthogonal (3h CM)

-Accès aléatoire et distribué (3h CM, 1.5h TD)

Organisation de l'évaluation

Examen final (3h) : 70% de la note finale

TP : 30% de la note finale

Support de cours, bibliographie

- Jean Walrand, Shyam Parekh, Communication Networks: A concise introduction, Second Edition (Synthesis Lectures on Communication Networks), 2nd Edition, 2017
- Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold, 5G NR: The next Generation of Wireless Access Technology, 1st Edition, 2018.
- R. Srikant and Lei Ying, Communication Networks: An optimization, Control, and Stochastic Networks Perspective, Feb 17, 2014.
- Michael Neely, Stochastic Network Optimization with Application to Communication and Queueing Systems, Morgan & Claypool Publishers
- T. Donald, M. Feuillet, Network Performance Analysis, Wiley, 2011.
- D. Levin, Y. Peres and E. Vilmer, Markov Chain and Mixing Times, AMS, 2008.
- 5G standard: 3GPP specifications

Moyens

Equipe enseignante : Mohamad Assaad

- Taille des TD (par défaut 35 élèves) :25

- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Matlab

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- connaître l'architecture et les différentes fonctions des réseaux sans fil
- modéliser un réseau cellulaire avec ses fonctions principales.
- dimensionner un réseau cellulaire
- connaître les techniques d'accès multiple orthogonal et non-orthogonal et leur performance fondamentale
- connaître les méthodes d'accès aléatoire et leurs performances limites
- maîtriser les techniques de modélisation des techniques d'accès multiple et accès aléatoire

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C1.1 : Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

C1.2 : Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C1.3 : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C1.4 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

C1.5 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C2.1 : Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.

C2.3 : Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres

C3.2 : Remettre en cause ses hypothèses de départ, ses certitudes. Surmonter ses échecs. Prendre des décisions

C9 : Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique

C9.2 : Percevoir le champ de responsabilité des structures auxquelles on contribue, en intégrant les dimensions environnementales, sociales et éthiques

C9.4 : Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques

3SQ2150 – Gestion des flux et qualité de service dans les réseaux mobiles

Responsables : **Salah-Eddine El Ayoubi, Sahar Hoteit**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours s'intéresse à l'ingénierie et le dimensionnement des réseaux sans fil, incluant les réseaux mobiles de quatrième génération et les réseaux pour l'IoT. Le but étant d'assurer une Qualité de Service (QoS) cible pour différents services (voix, données, vidéo, IoT), nous proposons des modèles de performance adaptés à chaque technologie/service. Nous montrons par la suite comment appliquer ces modèles pour un dimensionnement du réseau d'accès et une allocation optimale du spectre.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Avoir suivi le cours 3A "réseaux sans fil"

Plan détaillé du cours (contenu)

- Notions de trafic, files d'attente
- dimensionnement des réseaux d'accès mobiles : 4G, IoT (LoRA/4G IoT)

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu : TP noté (40%)

Examen final : 60%

Support de cours, bibliographie

- Bouguen, Y., Hardouin, E., & Wolff, F. X. (2012). LTE pour les reseaux 4G. Editions Eyrolles.
- Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold, 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology 1st Edition, 2018.
- T. Bonald, M. Feuillet, Network Performance Analysis, Wiley, 2011
- 5G standard: 3GPP specifications

Moyens

- Equipe enseignante : Salah Eddine Elayoubi
- Outils logiciels : Matlab

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les futurs ingénieurs auront acquis des connaissances en performances et dimensionnement des réseaux sans fil à couverture nationale.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Évaluation de performances
Ingénierie de trafic et dimensionnement

3SQ2160 – Théorie de l'échantillonnage et acquisition comprimée

Responsables : **Maxime FERREIRA DA COSTA**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'échantillonnage est une tâche fondamentale avant le traitement numérique. Il est omniprésent en ingénierie des systèmes, où les signaux d'entrée sont convertis de l'analogique au numérique, et en science des données, où la sélection des caractéristiques pertinentes garantit la qualité. En abordant les aspects mathématiques avec des principes clés et des applications, ce cours vise à fournir un aperçu complet de l'échantillonnage et de la reconstruction des données et des signaux, tant d'un point de vue statistique que pratique.

Nous commencerons par le théorème de Nyquist-Shannon qui démontre la reconstruction exacte des signaux à bande limitée, et le généralisation jusqu'à aborder le domaine de l'échantillonnage comprimé. Nous montrerons que l'adaptation de la stratégie d'échantillonnage à un modèle de données spécifique permet une reconstruction à des fréquences en sous de la limite de Nyquist. Ensuite, nous considérerons l'échantillonnage et la reconstruction de structures de données plus complexes, telles que les matrices et les opérateurs. Enfin, nous examinerons la distorsion numérique produite par le stockage de données sur des nombres de précision finie et montrerons comment un schéma d'échantillonnage adapté peut contribuer à résoudre ce problème.

Tout au long du cours, nous mettrons l'accent sur les applications pratiques en science des données, en traitement du signal et en communication.

Prérequis

- Algèbre linéaire, espaces hilbertiens
- Statistiques et estimation
- Traitement du signal
- Signal et communication

Plan détaillé du cours (contenu)

- Rappel d'algèbre linéaire (Espaces de Hilbert et bases de Riesz).
- Échantillonnage dans les espaces invariants par translation.
- Transformée de Gabor et ondelettes, applications au traitement d'image.
- Échantillonnage avec sous-espace latent.
- Échantillonnage avec une union de sous-espaces, applications aux télécommunications.
- Échantillonnage des signaux à taux d'innovation fini.

Déroulement, organisation du cours

Cours et TD/TP

Organisation de l'évaluation

Travaux dirigé / Devoir maison : 50%

Examen final : 50%

Support de cours, bibliographie

- Eldar, Y.C., 2015. *Sampling theory: Beyond bandlimited systems*. Cambridge University Press.
- Mallat, S., 1999. *A wavelet tour of signal processing*. Elsevier.

Moyens

- 7.5h de cours
- 6h TD
- 1.5h d'examen

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

1. Identifier les avantages et les limites de l'échantillonnage compressé par rapport aux techniques d'échantillonnage traditionnelles.
2. Concevoir et mettre en œuvre des algorithmes de reconstruction de signaux à partir de données échantillonnées dans le cadre du compressed sensing.
3. Comprendre les techniques avancées de régularisation et de résolution de problèmes inverses spécifiquement appliquées au compressed sensing.
4. Effectuer des expériences numériques afin d'évaluer et de comparer les performances des algorithmes de reconstruction de signaux dans des scénarios réalistes.
5. Développer des stratégies d'échantillonnage optimisé pour résoudre des problèmes concrets en utilisant les principes du compressed sensing.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

3SQ2170 – Théorie de l'information et codage

Responsables : **Lionel Husson**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est d'éclairer les fondements d'une chaîne de transmission et de codage de l'information. Après avoir considéré les différents éléments constitutifs d'une chaîne de communication numérique, et leurs fonctions, le cours porte sur la théorie de l'information et des principes de codage de source (compression de l'information) et codage canal (protection de l'information)

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Les apprenants doivent être familiarisés avec les concepts de base des probabilités, signaux aléatoires et algèbre linéaire.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Modèle d'une chaîne de communication numérique
- Théorie de l'information (entropie d'une source, capacité d'un canal)
- Codage de source (propriétés des codes, codes déchiffrables, codes instantanés, inégalité de Kraft-McMillan, code de Huffman, performances)
- Codage canal et codes en blocs (stratégies FEC et ARQ, propriété des codes, codes en bloc, codes linéaires binaires, matrices génératrice et de contrôle, décodage algébrique, codes de Hamming, codes raccourcis et étendus, performances)

Déroulement, organisation du cours

L'enseignement comprend des cours magistraux, des séances de travaux dirigés et des séances d'expérimentation et simulation

Organisation de l'évaluation

Examen écrit et étude de laboratoire

Support de cours, bibliographie

J. G. Proakis, "Digital Communications", Fourth Edition, McGraw Hill, 2001.

D. Mac Kay, "Information Theory, Inference and Learning Algorithms", Cambridge University Press, 2005

Moyens

Equipe pédagogique : Lionel Husson, Jacques Antoine

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les apprenants seront capables :

- Comprendre et décrire les constituants d'une chaîne de communication numérique et leurs fonctions
- Manipuler les mesures d'information, et les limites fondamentales pour la transmission de données
- Construire des codes simples avec des méthodes de codage de source et de canal dans diverses situations, en considérant les contraintes applicatives et évaluer leur performance

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C1.3 Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

3SQ2500 – Projet Industriel SRI

Responsables : **Sheng Yang**

Département de rattachement : **MENTION INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les élèves, organisés en binômes ou trinômes, effectuent un projet de recherche ou de développement, d'une durée de 200h de travail dédié, sur un sujet proposé par une entreprise, un laboratoire ou un enseignant chercheur. Il existe trois types de projets :

- les conventions d'études industrielles (CEI) : proposé par l'entreprise/laboratoire, encadrement par un enseignant chercheur et moyens techniques de l'école
- les projets immersion : proposé par l'entreprise/laboratoire, encadrement et moyens techniques assurés par l'entreprise/laboratoire
- les projets internes : proposés et encadrés par un enseignant chercheur

Le projet est un moment privilégié pour l'élève d'interagir avec un expert dans le monde de l'entreprise ou de la recherche, sur un sujet d'actualité. Les créneaux du projet sont indiqués sur l'emploi du temps et se trouvent souvent au mercredi et jeudi. Un tuteur académique est assigné pour assurer le bon déroulement du projet.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9 SG10 SG11

Prérequis

En fonction du projet attribué

Plan détaillé du cours (contenu)

En fonction du projet attribué

Déroulement, organisation du cours

Réunion de suivi, soutenance intermédiaire

Organisation de l'évaluation

Deux rapports intermédiaires

1. Formulation du problème, étude préalable, méthodes envisagées, plan du travail
2. Rapport d'avancement

Un rapport final

Un livrable selon le projet (e.g. programme, simulation, plateforme)

Une soutenance devant un jury (encadrant, tuteur école)

Moyens

Créneaux dédiés chaque semaine, salles informatiques disponibles

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Formulation du problème, étude/recherche bibliographique, maîtrise des outils scientifiques/informatiques, rédaction/présentation scientifique/professionnelle, esprit de travail en équipe, autonomie

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C2 Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers
- C3.1 Etre proactif, prendre des initiatives, s'impliquer
- C3.2 Remettre en cause ses hypothèses de départ, ses certitudes. Surmonter ses échecs
- C3.6 Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées
- C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles
- C6 Etre à l'aise et innovant dans le monde numérique
- C7 Savoir convaincre
- C8 Mener un projet, une équipe
- C9.3 Agir avec éthique, intégrité et dans le respect d'autrui
- C9.4 Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques

3SQ3050 – Apprentissage automatique, traitement du signal et des images

Responsables : **Simon Leglaive**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **65**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **39,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le traitement du signal et des images est une des composantes fondamentales mais quelque peu invisible du monde moderne, sans laquelle de nombreuses technologies que nous considérons comme acquises n'existeraient pas : téléphonie numérique, radio numérique, télévision, MP3, WiFi, radar, etc. Les techniques récentes d'apprentissage automatique cherchent à exploiter l'analogie entre le traitement de l'information dans les cerveaux biologiques et les techniques de modélisation et d'inférence statistique. Ces méthodes sont à la base de nouvelles technologies qui commencent à atteindre un niveau de performance et d'omniprésence important, comme les techniques de reconnaissance automatique d'images, de reconnaissance vocale, de détection de défauts sur les chaînes de montage, d'aide à la pose de diagnostic médical, de guidage des robots et de navigation autonome. Les nombreux chevauchements qui existent entre le traitement du signal et des images et l'apprentissage automatique peuvent être exploités pour produire de nouveaux algorithmes d'une efficacité surprenante, et d'une large applicabilité, très adaptés au monde contemporain des capteurs omniprésents et du traitement embarqué et connecté.

De nombreux problèmes rencontrés en traitement du signal et des images consistent à extraire des variables cachées d'intérêt à partir d'observations/mesures potentiellement incomplètes et/ou bruitées. Les approches à mettre en œuvre pour aborder ce type de problèmes dépendent de la nature des variables cachées d'intérêt (variables continues, discrètes, signaux ou images structurés, etc.) et de la disponibilité ou non de données d'entraînement étiquetées.

Vous souhaitez découvrir comment extraire de l'information cachée dans des données de nature variée ? Dans ce cours vous apprendrez à utiliser des outils mathématiques pour traiter, analyser et interpréter des signaux/images, ainsi que des méthodes d'apprentissage automatique pour créer des modèles prédictifs à partir de données. Préparez-vous à explorer les données cachées dans le monde qui nous entoure !

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Notions de base en statistiques, apprentissage automatique et traitement du signal.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction et applications
- Représentation des signaux
 - * Représentations usuelles (DCT, DFT, ondelettes)
 - * Non stationarité, fenêtrage et transformée de Fourier à court-terme
 - * Représentations parcimonieuses, acquisition compressée, débruitage et restauration de signaux
 - * Apprentissage de représentation (analyse en composantes principales, analyse en composantes indépendantes, factorisation en matrices non-négatives)
- Apprentissage non-supervisé
 - * Modélisation générative
 - * Clustering
 - * Techniques de réduction de dimension

- Apprentissage supervisé
 - * Classification
 - * Régression
 - * Régularisation
- Librairie d'apprentissage automatique scikit-learn (<https://scikit-learn.org>).

- Applications sur des données de nature variée, par exemple : analyse, transformation et synthèse d'images et de signaux audio/parole, analyse de relevés de température, analyse de données biomédicales pour l'aide au diagnostic du diabète, traitement de données ECoG (électrocorticographie) pour les interfaces cerveau-machine, séparation de sources pour l'extraction non invasive de l'électrocardiogramme fœtal, super résolution pour la microscopie de fluorescence, etc.

Déroulement, organisation du cours

Le module est organisé en séances de cours de 3 heures alternant théorie, exercices et/ou mise en pratique en Python, et en séances de travaux pratiques (TPs) de 3 heures. Chaque séance de TP nécessitera un travail préparatoire et la rédaction d'un compte rendu.

En autonomie, les élèves exploreront un sujet de leur choix en lien avec la thématique du cours. Cette étude devra intégrer des composantes scientifiques et techniques mais aussi humaines, sociétales et/ou économiques. Elle sera présentée par l'intermédiaire d'un rapport écrit et d'un exposé vidéo.

Organisation de l'évaluation

Les acquis n°1 et 2 seront validés par un examen final sous forme de questionnaire à choix multiples (QCM), représentant 1/3 de la note finale.

Les acquis n°2 et 3 seront validés par une évaluation des comptes-rendus de TP, représentant 1/3 de la note finale.

L'acquis n°4 sera validé par une évaluation du rapport et de l'exposé vidéo de l'étude réalisée, représentant 1/3 de la note finale.

Support de cours, bibliographie

Les supports de cours (présentations, notebooks Jupyter, code Python et activités pédagogiques) seront mis à disposition sur Edunao.

Références :

- J. Friedman, T. Hastie, & R. Tibshirani, « The elements of statistical learning » (Vol. 1, No. 10). New York: Springer series in statistics, 2001 (disponible en ligne gratuitement)
- C.M. Bishop, « Pattern Recognition and Machine Learning », Springer, 2006 (disponible en ligne gratuitement)
- M. P. Deisenroth, A. Aldo Faisal, and Cheng Soon Ong, « Mathematics for Machine Learning », Cambridge University Press, 2020 (disponible en ligne gratuitement)
- K. P. Murphy, « Machine Learning, A Probabilistic Perspective », MIT Press, 2012 (disponible à la bibliothèque)
- S. Foucart and H. Rauhut, « A mathematical introduction to compressive sensing », Birkhauser, 2013
- S. Ben-David and S. Shalev-Shwartz, « Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms », Elsevier, 2009 (disponible en ligne gratuitement)

Moyens

Equipe enseignante : Clément Elvira, Catherine Soladié, Simon Leglaive, intervenant.e.s externes.

Outils logiciels : Anaconda (gestionnaire de packages Python).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Acquis n°1 : Posséder un socle de connaissances générales et fondamentales en apprentissage automatique, traitement du signal et des images.

Acquis n°2 : Comprendre les aspects de formalisation d'un problème, de modélisation et d'algorithmes pour le traitement et l'analyse de données/signaux/images.

Acquis n°3 : Concevoir et implémenter des solutions algorithmiques pour répondre à des problèmes de traitement et d'analyse de données/signaux/images.

Acquis n°4 : Conduire et présenter une étude sur un sujet nouveau intégrant des composantes scientifiques et techniques mais aussi humaines, sociétales et/ou économiques.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques.

C6. Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique.

C9. Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales.

3SQ3060 – Réflexion éthique, acceptabilité

Responsables : **Jean-Marc Camelin**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **15**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **9,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce module aborde la question de l'éthique dans l'entreprise (comité d'éthique, politique RSE, code d'éthique) et de la responsabilité dans le métier d'ingénieur. Il abordera aussi plus particulièrement les spécificités liées au Vivant, afin de gérer les questions non triviales et les dilemmes, posés par l'utilisation du numérique pour le Vivant. Par exemple, comment aborder la question : Est-ce OK de mettre des capteurs sur des oiseaux afin de mieux connaître leurs habitudes, leurs habitats, en vue de protéger ces espèces ? Il ne semble pas que la réponse soit si simple et immédiate que oui ou non. Ce qui est certain, c'est qu'une réflexion structurée doit être menée pour aboutir à une décision. Les exemples illustratifs liés à la santé, le vivant en tant que tel, mais aussi l'IA, le numérique dans l'industrie pharmaceutique seront abordés.

En se basant sur des cas concrets, il s'agira de comprendre que ces questions doivent être posées et répondues, en amont de toute action, que ce soit de la création de produits, ou du lancement d'études scientifiques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction à l'éthique : la responsabilité, le concept, historique, textes de référence, les "agir" concernés, le sens.

Illustrations de la problématique : travail (concept, rôle, souffrance au travail, émancipation par le travail), environnement (développement durable, choix à poser, impact), grands enjeux mondiaux.

Ethique du numérique : comité d'éthique, pré-requis aux travaux scientifiques.

Déroulement, organisation du cours

Alternance de séances en plénières et d'ateliers, conférences, témoignages de professionnels.

Organisation de l'évaluation

Présentation orale d'un projet en groupe (100% de la note et C9).

Moyens

Equipe enseignantes et intervenants extérieurs.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce module, les étudiants seront capables de :

- savoir prendre le recul nécessaire par rapport au contexte professionnel pour envisager l'aspect éthique de l'action
- mener une réflexion éthique sur un sujet relatif au Vivant
- lister les démarches éthiques nécessaires à la création d'un produit ou au lancement d'études scientifiques

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C9 : Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales.

3SQ3070 – Principes des capteurs et Interfaces de communication

Responsables : **Amor Nafkha**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les capteurs sont nécessaires pour mesurer les signaux et les paramètres inconnus d'un système et de son environnement. En particulier, les capteurs sont nécessaires pour surveiller un système et en apprendre davantage sur celui-ci. Ces connaissances seront utiles non seulement pour faire fonctionner ou contrôler le système, mais aussi à de nombreuses autres fins, telles que la surveillance des processus, la modélisation expérimentale, l'analyse de l'environnement, la détection et le diagnostic des défaillances, la génération d'avertissements et la surveillance. En général, les signaux en sortie de divers capteurs sont de type analogique alors que les entrées/sorties des systèmes numériques sont nécessairement présents sous forme numérique. Par conséquent, outre l'étude de la partie traitement numérique, le développement d'un système embarqué complet nécessite d'apprendre à reconnaître les phénomènes analogiques, de tenter de retenir la majorité des phénomènes observés à l'aide d'un bloc de conditionnement du signal, puis de convertir le signal analogique en signal numérique à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique avant de l'envoyer à l'unité de traitement numérique à l'aide de divers protocoles de communication numérique standard.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Connaissances de base en électronique analogique & numérique
Notions de base en traitement de signal (échantillonnage, corrélation, convolution, filtrage, transformée de Fourier)

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours est organisé en quatre parties :

- Capteurs et principes fondamentaux
- Conditionnement des signaux analogiques
- Convertisseurs analogique-numérique et numérique-analogique
- Protocoles de communication série (*I2C, SPI, UART, ...*)

Déroulement, organisation du cours

Pédagogie participative (30 % cours, 70% TDs & TPs)

Organisation de l'évaluation

Oral sur questions de connaissance (30% de la note et C6/C9) + compte rendu de TPs (40% de la note et C4/C6/C1) + Lire et analyser une fiche technique (30% de la note et C4/C2)

Support de cours, bibliographie

- 1- Wilson, J.S. Sensor Technology Handbook; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2004.
- 2- Das A. Signal Conditioning: An Introduction to Continuous Wave, Communication and Signal Processing, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg, 2012.
- 3- R. V. de Plassche CMOS Integrated Analog-to-Digital and Digital-to-Analog Converters New York; Springer, 2003.
- 4- Louis E. Frenzel. Handbook of serial communications interfaces: a comprehensive compendium of serial digital input/output (I/O) standards. Newnes, an imprint of Elsevier, 2016;

Moyens

Cours magistraux, TDs et séances de TPs avec étude de cas
Outils de simulation : LTspice, , STM32Cube IDE

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le cours "Capteurs et interfaces de communication" apportera aux élèves les connaissances nécessaires pour :

- Analyser, justifier et dimensionner les composants et les interfaces adéquats pour une application spécifique.
- Modéliser et évaluer le bruit de quantification et les caractéristiques statiques des ADC/DAC
- Comprendre les protocoles de communication (SPI, I2C, UART,...)
- Résoudre les problèmes de choix qui découlent d'un cahier des charges (capteur, conditionneur du capteur, transport des informations,)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C4.1- Définir des critères de choix de solutions en tenant compte de l'ensemble des paramètres identifiés et en prenant en compte la pérennisation des solutions dans le temps ;

C6 - Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

C9 - Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

Compétences peuvent être évaluées optionnellement :

C1.1- Analyser le comportement global d'un système complexe (multi-agents, multi-échelles, etc.), avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc., incluant l'identification des facteurs qui influencent son comportement, et l'analyse des interactions entre composantes ;

C1.2- Enrichir des modèles décrivant des phénomènes impliquant plusieurs échelles ou des couplages, analyser la sensibilité d'un modèle à ses paramètres ;

C1.4- Prototyper (par exemple par simulation), réaliser et valider un système ou une partie d'un système complexe;

C2.4- Proposer une démarche globale pour répondre à un besoin de connaissances, intégrant analyse de l'état de l'art, hypothèses, modèles, expérience (réelle ou numérique), interprétation, conclusion ;

3SQ3080 – DataVis et AppWeb pour Informer, envoyer des feedbacks, suivre à distance

Responsables : **Gwendal Fouché**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **75**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **45,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement de 75 HEE regroupe 4 notions intégrant tech et soft skills.

Conception centrée utilisateur

Même si l'on crée des produits pour des utilisateurs dit "finaux", ces utilisateurs ne doivent pas intervenir qu'une fois que le produit est créé. Comment les inclure ? Quelles sont les bonnes pratiques ? Quelle méthodologie mettre en œuvre ? C'est l'objet de la conception centrée utilisateur. La conception centrée utilisateur est une démarche de conception où les besoins, les attentes et les caractéristiques propres des utilisateurs finaux sont pris en compte à chaque étape du processus de développement d'un produit. Nous aborderons donc les différents aspects de cette méthodologie.

Data visualisation et interface graphique

Toujours concernant les utilisateurs finaux, comment leur faire passer les bonnes informations à partir des données récoltées ? Prenons un exemple en Santé : des données d'un patient ont été récoltées, transmises, analysées. Ces mêmes données doivent-elles être fournies de la même façon au patient et au(x) professionnel(s) de santé ? La réponse est vraisemblablement non.

Vous avez peut-être déjà fait l'expérience d'un rapport médical incompréhensible. Si la restitution des données n'est pas adaptée à / aux utilisateurs, cette restitution est au mieux inutile, au pire, source d'agacement (professionnel de santé) ou d'anxiété (patient). Il est donc nécessaire d'avoir des outils de visualisation des données adaptés aux utilisateurs. Aux utilisateurs... et à leurs contraintes : pas plus de 30 secondes disponibles pour un professionnel de santé. Comment respecter ces contraintes ? Avec des visuels adaptés. Ainsi, des mêmes données peuvent faire l'objet de visualisations différentes selon les personnes à qui elles sont adressées. C'est le cas en Santé, c'est aussi le cas dans les autres domaines applicatifs de la mention. Dans cette partie, nous passerons en revue les principaux outils de visualisation de données et étudierons, au travers de cas concrets et de feedbacks d'entreprise, l'impact sur les utilisateurs finaux.

Par ailleurs, avec l'arrivée de données massives, il devient impossible de visualiser toutes les données collectées. Il est donc nécessaire d'employer des outils graphiques ou interactifs afin de traduire des quantités importantes de données en visuels compréhensibles et exploitables. C'est l'objet de la data visualization (ou datavis), discipline des Data Science, qui rend intelligibles les données collectées afin de transmettre des informations via des représentations accessibles à tous. Les outils de visualisation de données sont donc utilisés à différentes étapes du process, et non cantonnés aux utilisateurs finaux. Ils sont notamment extrêmement utilisés lors de la conception ou l'évolution de produits, pour détecter l'émergence de tendances, ou encore favoriser la prise de décision.

Applications web, mobile, agents IA

Revenons à nos utilisateurs, ils ont désormais été pris en compte dès le début de la conception (conception centrée utilisateur), nous avons de beaux graphiques ou autres représentations pour fournir les informations pertinentes.

Sur quels supports fournir ces informations ? De plus en plus d'informations sont captées et/ou restituées via des médias numériques, que sont le Web et le Mobile. Avec l'arrivée des agents IA, ces médias numériques sont en évolution. L'objet de cette partie est de vous fournir des savoir-faire permettant de maquetter rapidement des interfaces utilisateurs efficaces.

Travailler en environnement multidisciplinaire

Pour finir, un ingénieur du numérique n'a pas la même culture que ces utilisateurs finaux : un médecin, un agriculteur, ... ou même un ingénieur d'une autre discipline. Cela rend difficile la conception des outils numériques dans les domaines de la Santé, de la Biodiversité ou de l'Environnement.

Lors de la mention ou de vos expériences professionnelles, vous avez été et serez au contact de professionnels d'horizons variés. Nous vous proposons de mieux comprendre ces différences afin de pouvoir les appréhender dans vos futurs métiers.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- Statistiques
- Génie logiciel

Plan détaillé du cours (contenu)

Conception centrée utilisateur et Data visualisation (75%)

- Introduction aux problématiques de visualisation : ce qui est nécessaire dans la visualisation, ce qui est difficile dans la visualisation, et le besoin d'un processus de conception.
- Représentation des données : comment approcher les données, quelle abstraction (type, sémantique) imposer pour mieux répondre au problème de visualisation ?
- Tâches de visualisation : que veut-on faire des données ?
- Afficher l'information : comment afficher l'information pour correspondre à l'abstraction et aux tâches
- L'utilisateur dans la boucle : problématiques de perception des couleurs, formes, quantité d'information
- Visualisation d'imagerie : problématiques d'imagerie médicale, biologique, 3D, super résolution
- *Visual Analytics* : systèmes complexes et infrastructure pour supporter un schéma analytique complet – méthodologie de conception centrée utilisateur

Interfaces utilisateurs : Application web, mobile, agent IA (25%)

- Introduction au JavaScript/AndroidStudio
- Interface Homme Machine : comment l'interface graphique et les interactions disponibles supportent l'analyse ?
- Intégration de technologie IA dans les interfaces

Déroulement, organisation du cours

Cours appliqué : alternance d'apport théorique et de pratique en présentiel (50%, 37.5HEE)

Evaluation en présentiel (10%, 7.5HEE)

Mini-projet par groupe non présentiel (40%, 30HEE)

Organisation de l'évaluation

Retour d'expérience personnelle sur une expérience collaborative multidisciplinaire : 20% de la note / C5.2

Analyse d'une visualisation, la problématique explorée, les techniques utilisées et leur pertinence, les faiblesses (travail individuel, présentation orale de 5 à 10min) : 30% de la note / C1.1, C7.1

Réalisation d'une interface de visualisation interactive, mobile ou web, par groupe de 3 : 50% de la note / C1.2, C6.2, C6.3

Support de cours, bibliographie

Visualization analysis and design. MUNZNER, Tamara. CRC press, 2014.

Moyens

Equipe enseignante :

- Gwendal FOUCHÉ
- Intervenants extérieurs

Taille des TD : <= 25

Salles de TP : 309, Campus de Rennes

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, vous serez capable de :

- Présenter les méthodes de conception centrée utilisateur.
- Interagir en environnement multidisciplinaire.
- Choisir une représentation adéquate (type, sémantique) pour des données non formatées.
- Présenter les classifications de tâches de visualisation.
- Associer un ensemble de tâches simples ou complexes adaptées à un problème de visualisation.
- Concevoir une visualisation en prenant en compte à la fois l'objectif et l'utilisateur cible.
- Approcher des problèmes de visualisation complexes ou spécifiques.
- Créer une interface graphique et interactive adaptée à la problématique abordée et à l'utilisateur.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 : Analyser : étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc.

C1.2 : Modéliser : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes

C5.2 : Écouter, se faire comprendre et travailler avec des acteurs de diversités, cultures, codes, formations, disciplines, etc. variés

C6.2 : Concevoir un logiciel

C6.3 : Traiter des données

C7.1 : Sur le fond : Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

3SQ3090 – Le MIMO massif pour des efficacités spectrale et énergétique extrêmes

Responsables : **Haïfa Jridi**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) massif est une technologie avancée de communication sans fil qui exploite un grand nombre d'antennes à la fois au niveau de l'émetteur et du récepteur pour améliorer les performances des systèmes de communication.

Le principe fondamental du MIMO massif est basé sur la diversité spatiale et le traitement du signal adapté. En utilisant un grand nombre d'antennes, le système est en mesure de former des faisceaux étroits vers chaque utilisateur, ce qui permet d'améliorer considérablement la qualité du signal et de réduire les interférences, permettant ainsi d'atteindre :

- une efficacité spectrale accrue en exploitant efficacement la bande passante disponible, et par conséquent augmenter considérablement le débit du système ;

- une réduction de la consommation d'énergie, en optimisant les transmissions vers chaque utilisateur.

Ce cours permettra donc d'introduire le MIMO massif comme étant une technologie clé pour les réseaux de communication avancés tels que la 5G et au-delà. A travers deux projets bibliographiques complémentaires, nous arriverons à l'issue de ce cours à comprendre comment cette technique permettra de répondre à la demande croissante en matière de capacité et d'efficacité énergétique dans les systèmes de communication sans fil.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Traitement du signal

Plan détaillé du cours (contenu)

- Principes de base du MIMO massif : diversité spatiale, beamforming
- Techniques de précodage
- Projet 1 : Le MIMO massif pour les applications 5G mobiles à haut débit
- Projet 2 : Le MIMO massif pour les communications massives type machine

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux (4h30), projets encadrés (6h), soutenance projets et mise en commun (1h30)

Les premières séances de cours permettront de présenter le contexte et les concepts de base. Un travail personnel est associé à cette partie du cours pour approfondir quelques notions spécifiques (associées au type de projet à réaliser).

Les séances de projet qui suivront se focaliseront sur la pratique à travers un code fourni à comprendre et à analyser en termes de résultats, tout en exerçant un esprit critique pour identifier les limites.

Organisation de l'évaluation

Note travail personnel (20%) et Note projet/soutenance (80%)

Le travail individuel permettant de reprendre les cours dispensés dans la première session et préparant le travail dans les projets adressera la compétence C2.1.

La prise en main du code fourni dans les projets pour comprendre la problématique et analyser la pertinence des techniques utilisées adressera la compétence C1.4.

Le travail en équipe et la mise en commun pour l'analyse complète et complémentaire des deux projets permettra de valider la compétence C8.1.

Support de cours, bibliographie

- Emil Björnson, Jakob Hoydis, Luca Sanguinetti, "Massive MIMO Networks: Spectral, Energy, and Hardware Efficiency," *Foundations and Trends® in Signal Processing*, vol. 11, no. 3-4, pp. 154–655, 2017.
- Trinh Van Chien, Emil Björnson, "Massive MIMO Communications," in *5G Mobile Communications*, W. Xiang et al. (eds.), pp. 77-116, Springer, 2017.
- Andrea Pizzo, Luca Sanguinetti, Emil Björnson, "Fundamental limits of energy efficiency in 5G multiple antenna systems," in *Green Communications for Energy-Efficient Wireless Systems and Networks*, H. A. Suraweera et al. (eds.), Chapter 9, IET, 2020.

Moyens

- Enseignant : Haïfa Farès
- Langue d'enseignement : Français, Anglais

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre les principes fondamentaux et les avantages du MIMO massif dans les systèmes de communication sans fil.
- Explorer les techniques de traitement du signal spécifiques au MIMO massif.
- Comprendre l'intérêt du MIMO massif pour l'efficacité spectrale et le débit
- Explorer les techniques de réduction de la consommation d'énergie dans les systèmes MIMO massif.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur

C8.1 Construire le collectif pour travailler en équipe

3SQ3140 – Infrastructures l’IoT, stockage et visualisation des données

Responsables : **Amor Nafkha**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES)**

Langues d’enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d’heures d’études élèves (HEE) : **30**

Nombre d’heures présentielles d’enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Afin de créer des solutions IoT de bout en bout, ce cours introduit les principaux protocoles, les architectures logicielles/matérielles, de la passerelle au cloud, et leurs implémentations. Les étudiants acquerront des connaissances sur les plates-formes de "cloud computing" et de "edge computing", les passerelles IoT, le stockage de données et les logiciels associés.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Prérequis non obligatoires mais souhaités :

- 1- Connaissances de base en informatique et adressage IP
- 2- Les commandes Linux de base
- 3- Technologies sans fil pour IoT
- 4- Langages de programmation : Python et C++

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction to IoT systems and enabling technologies
IoT architectures
IoT Protocol Stack
IoT components: from gateway to cloud.
IoT data storage
IoT Platforms for Building IoT Projects
Security in IoT

Déroulement, organisation du cours

Les notions abordées en cours seront illustrées et mises en œuvre en travaux pratiques pour acquérir des nouvelles compétences

Organisation de l'évaluation

- + QCM de 45 min (50% de la note et C1/C4/C7)
- + Le compte-rendu d'un ou deux TPs (50 % de la note et C6/C8/C7/C2)

Support de cours, bibliographie

IoT Platforms, Use Cases, Privacy, and Business Models With Hands-on Examples Based on the VICINITY Platform

IoT System Design Project Based Approach

Programmation avec Node.js, Express.js et MongoDB: JavaScript côté serveur

Moyens

Des cours magistraux seront donnés pour présenter les principaux concepts. Séances des travaux de laboratoire associés au cours seront réalisés en salle de TP avec logiciels pré-installés

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables de :

- 1- Décrire les principaux composants logiciels requis dans une architecture IoT
- 2- Développer des solutions IoT en utilisant de composants et de plateformes open source
- 3- Sélectionner les protocoles, composants et plateformes IoT appropriés pour un projet spécifique
- 4- Évaluer les options de connectivité à votre disposition et sélectionner les plus appropriées

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A l'issue de ce cours les élèves sauront :

C1.1 : Analyser le comportement global d'un système complexe (multi-agents, multi-échelles, etc.), avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc., incluant l'identification des facteurs qui influencent son comportement, et l'analyse des interactions entre composantes

C6 Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

C8 Mener un projet, une équipe

Compétences peuvent être évaluées optionnellement :

C2.4 : Proposer une démarche globale pour répondre à un besoin de connaissances, intégrant analyse de l'état de l'art, hypothèses, modèles, expérience (réelle ou numérique), interprétation, conclusion

C4.1 : Définir des critères de choix de solutions en tenant compte de l'ensemble des paramètres identifiés (cf. jalon 2) et en prenant en compte la pérennisation des solutions dans le temps

C7.1: Maîtriser son sujet pour imposer son argumentation dans une situation de concurrence ou de débat contradictoire.

3SQ3150 – Intelligence artificielle et apprentissage profond

Responsables : **Simon Leglaive**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les techniques récentes issues du domaine de l'intelligence artificielle (IA) cherchent à exploiter l'analogie entre le traitement de l'information dans le monde du vivant, notamment dans les cerveaux biologiques, et les techniques de modélisation et d'inférence statistique. Ces méthodes sont à la base de nouvelles technologies qui commencent à atteindre un niveau de performance et d'omniprésence important : reconnaissance automatique d'images, reconnaissance vocale, systèmes de recommandation, assistants à la rédaction, aide à la pose de diagnostic médical, robots compagnons et véhicules autonomes.

Vous avez déjà entendu parler de réseaux de neurones et d'algorithmes génétiques mais tout cela vous semble un peu obscure ? Ce module vous permettra d'y voir plus clair avec une approche pédagogique tournée vers la pratique.

A la fin de ce module vous aurez acquis un socle de connaissances générales et fondamentales ainsi que des compétences algorithmiques dans le domaine de l'IA, permettant d'aborder différents cas d'usages applicatifs pour analyser des données de nature variée.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

Prérequis

Notions de base en statistiques, apprentissage automatique et traitement du signal.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Algorithmes inspirés du vivant :
 - Systèmes multi-agents
 - Algorithmes génétiques
- Apprentissage profond :
 - Perceptron multi-couches
 - Réseaux de neurones convolutifs et récurrents
 - Autoencodeurs
 - Modèles génératifs
- Mini-projet sur le suivi de la pollution sonore en milieu urbain, consistant à concevoir et comparer plusieurs solutions algorithmiques pour traiter un problème donné. Il s'agira aussi de prendre du recul et de replacer le problème dans le cadre plus général de l'éco-acoustique et des technologies pouvant aider à monitorer les activités humaines, animales, et la biodiversité.
- Etude en autonomie sur une des thématiques suivantes identifiées comme prioritaires dans le cadre de la stratégie nationale pour l'IA : intelligence artificielle embarquée ; « edge computing » ; confiance, explicabilité et fiabilité des algorithmes ; IA frugale en énergie. Certaines de ces thématiques seront également abordées pendant le module dans le cadre de conférences invitées.

Déroulement, organisation du cours

La pédagogie de ce module est axée sur la pratique :

- Les cours traitant d'apprentissage profond se feront sous forme de classe inversée, avec des ressources (e.g., vidéos, chapitres de livre) à étudier à la maison. Les séances en classe se focaliseront sur la pratique, notamment au travers d'un mini-projet portant sur le suivi de la pollution sonore en milieu urbain.

- Les algorithmes inspirés du vivant seront abordés au travers de cours appliqués, alternant théorie et mise en pratique.

Organisation de l'évaluation

L'acquis n°1 sera validé par un examen final sous forme de questionnaire à choix multiples (QCM), représentant 1/3 de la note finale.

L'acquis n°2 sera évalué dans le cadre du mini-projet, sur la base d'une note de suivi et d'un exposé vidéo, représentant 1/3 de la note finale.

L'acquis n°3 sera validé par une évaluation du rapport de l'étude réalisée.

Support de cours, bibliographie

Les supports de cours (présentations, notebooks Jupyter, code Python et activités pédagogiques) seront mis à disposition sur Edunao.

Références :

- Aston Zhang, Zachary C. Lipton, Mu Li, Alex J. Smola, « Dive into Deep Learning », 2019.
Livre interactif sur l'apprentissage profond, disponible en ligne gratuitement.

- Ian Goodfellow, Aaron Courville, and Yoshua Bengio, « Deep Learning », MIT Press, 2016.
Livre de référence en apprentissage profond, disponible en ligne gratuitement.

Moyens

Equipe enseignante : Catherine Soladié, Simon Leglaive, intervenant·e·s externes.

Outils logiciels : Anaconda (gestionnaire de packages Python).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Acquis n°1 : Posséder un socle de connaissances générales et fondamentales en intelligence artificielle.

Acquis n°2 : Savoir concevoir, mettre en œuvre et évaluer des algorithmes issus du domaine de l'intelligence artificielle pour résoudre un problème donné.

Acquis n°3 : Conduire et présenter une étude sur un sujet nouveau intégrant des composantes scientifiques et techniques mais aussi humaines, sociétales et/ou économiques.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C6. Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

C7. Savoir convaincre

3SQ3160 – Applications industrielles, étude de cas d'usage

Responsables : **Catherine Soladie**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Vous serez amené à proposer et étudier en détail, sous la forme d'ateliers, plusieurs cas concrets et précis d'outils numériques pour la Santé, pour la Biodiversité et pour l'Environnement. L'objectif sera de comprendre le besoin industriel de chaque cas précis, les problématiques des utilisateurs, et de définir la chaîne globale de traitement (allant du capteur jusqu'aux feedback aux utilisateurs), en précisant, à chaque étape du process, comment sont faits les choix de technologies. Tout cela, sur des exemples concrets, issus de problématiques proposés par des entreprises ou des laboratoires de recherche.

Chaque atelier se focalisera sur une thématique précise que vous étudierez sur une demi-journée ou sur une journée complète. Ce module se déroulera sur l'ensemble de l'année.

Ces cas d'usages feront aussi l'objet d'exemples ou d'approfondissements dans les enseignements des 5 autres modules (Sensibiliser, Capter, Transmettre, Comprendre, Informer).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Analyse de 3 à 5 cas réels industriels ou recherche dans le domaine du Vivant :

- Compréhension de la problématique
- Définition de la chaîne de traitement de l'information
- Lien avec les modules d'enseignement (Capteurs, IoT, Communications numériques, Analyse de données, Traitement du signal, DataViz, ...)
- Choix d'une ou plusieurs solutions sur tout ou partie du pipeline
- Mise en oeuvre et évaluation des solutions
- Restitution des travaux (livrables / soutenance)

Déroulement, organisation du cours

Interventions d'industriels dans les domaines de la mention.

Etude de cas réels.

Organisation de l'évaluation

Certaines études de cas feront l'objet de livrables et/ou soutenances qui seront évaluées. La note et l'évaluation des compétences C1, C3 et C4 seront issues de ces évaluations.

Moyens

L'équipe pédagogique est constituée principalement d'industriels des domaines de la Santé, de la Biodiversité, et de l'Environnement.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, vous serez capable de :

- Proposer un pipeline complet allant de la captation des données aux feedbacks utilisateurs (C1.4)
- Evaluer différentes solutions (C3.3)
- Choisir une solution technique qui corresponde aux besoins et contraintes des utilisateurs et des clients (C1.4, C4.2)
- Arbitrer entre plusieurs solutions (C4.2)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4 : Concevoir : spécifier, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

C3.3 : Mettre en œuvre concrètement des idées novatrices et s'engager sur ses décisions, évaluer les solutions, passer à l'industrialisation pour délivrer des résultats tangibles

C4.2 : Proposer une ou des solutions répondant à la question reformulée en termes de création de valeur et compléter par l'impact sur les autres parties prenantes et par la prise en compte des autres dimensions. Quantifier la valeur créée par ces solutions. Arbitrer entre des solutions possibles

3SQ3170 – Données : sécurité, intégrité, traçabilité, droit

Responsables : **Yves Louet**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La numérisation des informations en vue de traitements divers (apprentissage, statistiques, stockage, transmission, etc.) touche tous les secteurs économiques et en particulier ceux de la santé et l'environnement ou plus généralement le vivant. Afin de suivre les évolutions des technologies de l'information et des communications en termes de protection des données, la loi française Informatique et Liberté de 1978 a évolué et encadre les traitements des données personnelles sur le territoire européen sous l'acronyme RGPD « Règlement Général sur la Protection des Données ». Ce règlement, harmonisé au sein de l'Union Européenne, renforce le contrôle par les citoyens de l'utilisation qui peut être faite des données les concernant.

Au sujet de la santé et de l'environnement, des données numériques très sensibles sont nécessaires pour prendre des décisions (souvent en vue d'un traitement médical ou d'une action spécifique) et des questions aussi fondamentales comme la façon dont elles seront traitées, leur sécurité, leur intégrité ou leur traçabilité doivent reposer sur un cadre juridique précis pour toutes les parties.

Ce module abordera donc les questions des droits des données & des utilisateurs dans le contexte du vivant en se focalisant le contexte de la santé et de l'environnement.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Ce module nécessite juste quelques connaissances de base en programmation/informatique et électronique pour aborder les aspects techniques de ce module.

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce module contient les thématiques suivantes. Sur les aspects réglementaires, il sera question de la RGPD (règlement général sur la protection des données), de la propriété intellectuelle et de la transparence. Sur l'aspect technique, seront abordés les problématiques de vulnérabilités des équipements et leur sécurisation vis-à-vis des malveillances. Enfin, sur les études de cas pratiques, des focus sur les données de santé et sur l'environnement seront donnés.

Déroulement, organisation du cours

Ce module se déroulera sous des formes différentes : des cours magistraux, des travaux pratiques/dirigés et des études de cas.

Organisation de l'évaluation

Ce module sera évalué à travers d'une part un compte-rendu de TP/TD (30% de la note permettant d'évaluer la compétence C6.2) et d'autre part à travers une étude de cas pratique (70% de la note permettant d'évaluer les compétences C2.2 et C9.2)

Support de cours, bibliographie

La protection des données personnelles, Les principales clés de décryptage du RGPD, Guillaume Desgens-Pasanau

LexisNexis, 5e édition, 2022, EAN : 9782711036011

Santé et protection des données, La Documentation française, Conseil d'Etat, Colloque 2017, parution 2020

Innovations en santé publique, des données personnelles aux données massives (Big Data) - Aspects cliniques, juridiques et éthiques, Christian Hervé, Michèle Stanton-Jean, Dalloz, 2018, ISBN 978-2-247-18001-1

Moyens

Ce module comprend 30 HEE et 18 HPE.

Il sera assuré par des intervenants venant du monde académique (pour les aspects réglementaires liés aux données, à la sécurisation des données) et du monde professionnel (industriels pour les aspects liés aux données de santé, associations pour des études de cas).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce module, les étudiants seront en mesure de : (1) Comprendre l'enjeu à légiférer sur la protection des données numériques (2) Distinguer les convergences entre Droit en santé publique, Droit du numérique, RGPD et protection intellectuelle (3) Identifier les risques et vulnérabilités dans le cadre de la manipulation des données numériques (4) Etablir les spécificités juridiques des données dans les domaines de la santé et de l'environnement

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les acquis d'apprentissage à l'issue de ce module sont les suivantes :

C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers (et plus précisément C2.2 à propos du multisectoriel et de l'étude de cas).

C6 : Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique (et plus précisément la compétence C6.2)

C9 : Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales (et plus précisément la compétence C9.2 pour l'étude de cas)

3SQ3180 – Réalité mixte et Serious Game pour Sensibiliser, Impliquer, Engager

Responsables : **Gwendal Fouché**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **36,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement de 60HEE regroupe 2 notions intégrant tech et soft skills pour aborder les thèmes : Sensibiliser, Impliquer, Engager

Serious Game

Et si vous sauviez le monde depuis votre console ou votre téléphone ?

Le jeu, et en particulier le jeu vidéo, est un média fascinant. Vous avez certainement déjà fait l'expérience d'une concentration maximale, face à un écran ou un plateau, d'heures que l'on ne sent plus passer, de défis et de limites qu'on franchit puis dépasse. Le jeu n'annonce pas ses idées, il les fait vivre. Le jeu n'explique pas, il implique.

Aujourd'hui, cette force du jeu nous montre qu'il est possible d'aller plus loin que le simple divertissement : de plus en plus, il permet de transmettre des connaissances, des savoir-faire, des prises de conscience écologiques ou sociales, ... Bref, le jeu devient sérieusement utile, de l'industrie aux salles de classe.

Dans cet enseignement, vous découvrirez comment le serious game a permis de transformer la transmission d'idées ou l'implication dans de nombreux domaines. En se basant sur l'analyse d'exemples tels que l'implication des patients dans leur thérapie ou la sensibilisation de la population aux enjeux climatiques, vous deviendrez vous-même le designer d'un jeu, sérieusement utile.

Réalités mixtes et métaverse

Au-delà de la réalité physique et tangible, de nouveaux mondes émergent depuis quelques dizaines d'années : les contenus numériques ont leur réalité propre. Si l'on peut parler de mondes virtuels, c'est notamment par l'immersion sensorielle, les interactions ou les nouvelles relations sociales qu'ils proposent. La réalité mixte ayant beaucoup progressé ces dernières années, les techniques d'interaction avec des environnements virtuels ont été développées, permettant à l'utilisateur d'effectuer des tâches complexes, de façon plutôt réaliste ou pragmatique. Les phénomènes liés à l'immersion sont également mieux compris, et l'influence de la perception, par l'utilisateur, de son environnement et de lui-même mieux maîtrisés. Toutes ces nouvelles méthodes ouvrent la porte à de nombreuses possibilités et applications.

Après avoir testé et compris les dernières avancées de ces outils numériques immergés, nous verrons comment ils peuvent permettre de sensibiliser ou d'impliquer. Au travers d'exemples concrets comme les hôpitaux virtuels, la thérapie de certaines phobies ou la nage avec les dauphins, vous étudierez comment leurrer nos sens ouvre la voie à de nouveaux échanges entre utilisateur et système. Les solutions de réalité mixte peuvent être optimales pour répondre à des problématiques très concrètes, notamment dans les domaines de la formation, de la recherche, de la santé ou du divertissement. Le cours peut ainsi faire intervenir des professionnels du domaine pour présenter des exemples de telles applications, ainsi que les technicités de ce type de projets.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Génie logiciel
- Datavis

Plan détaillé du cours (contenu)

Serious Game (20%)

- Définition et concepts autour du Serious Game
- Analyse de Serious Game existants pour identifier les trucs et astuces permettant de lier les éléments de gameplay aux objectifs du produit
- Conception d'un Serious Game : identifier l'audience et la problématique pour concevoir un gameplay et une communication adaptée

Réalité Mixte (50%)

- Réalité mixte et technologies immersives : résumé des évolutions technologiques, de la conceptualisation en 1965 jusqu'aux casques modernes, introduction aux concepts autour de la réalité mixte, Metaverse et applications
- L'utilisateur dans la boucle : les contraintes et libertés impliquées par l'utilisateur et la technologie utilisée
- Réalité augmentée : balance entre environnement réel et simulé, et problématiques techniques associées
- Interaction et navigation en réalité mixte
- Immersion : étude des phénomènes de présence et d'appropriation de l'avatar, questionnement éthique
- Autres modalités de perception : retours haptiques, odeurs, températures

Projet (30%)

Projet en groupe au choix, sur un serious game, sur une méthode d'interaction avancée ou sur un cas d'application concret

Déroulement, organisation du cours

Cours appliqué : alternance d'apport théorique et de pratique en présentiel (45%, 27HEE)

Evaluation présentiel (15%, 9HEE)

Mini-projet par groupe non présentiel et coaching présentiel (40%, 24HEE)

Organisation de l'évaluation

QCM : questions sur les concepts : 20% de la note / C2.1

Evaluations de travaux pratiques (rapport de travaux pratiques, pitch de serious game) : 30% de la note / C2.3, C7.3, C7.4

Projet par groupe : présentation orale de l'approche et des techniques utilisées, incluant une réflexion éthique (~10min), démo de 3min : 50% de la note / C3.1, C7.3, C7.4, C8.4, C9.4

Support de cours, bibliographie

The ultimate display. SUTHERLAND, Ivan E., *et al.* Proceedings of the IFIP Congress. 1965. p. 506-508.
3D user interfaces: theory and practice. LAVIOLA JR, Joseph J., KRUIJFF, Ernst, MCMAHAN, Ryan P., *et al.* Addison-Wesley Professional, 2017.

Moyens

Equipe enseignante:

- Gwendal FOUCHÉ
- Catherine SOLADIÉ
- Intervenants extérieurs

Taille des TD : <= 25

Casques de réalité virtuelle

Logiciel : Unity (licence gratuite)

Salles de TP : 309, Campus de Rennes

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, vous serez capable de :

- Concevoir un serious game, en mettant à profit les techniques du jeu pour communiquer sur des problématiques concrètes.
- Présenter les concepts et méthodes liés aux technologies immersives, ainsi les techniques pour mettre en place de telles solutions.
- Identifier lorsqu'une problématique peut être abordée de manière avantageuse par des solutions de réalité mixte.
- Comprendre les contraintes liées aux technologies immersives, aux infrastructures et contexte du public cible, et aux limites physiques et mentales de l'utilisateur.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.1 : Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

C2.3 : Identifier et acquérir de façon autonome les nouvelles connaissances et compétences nécessaires

C3.1 : Observer et s'autoriser à critiquer le monde tel qu'il est, douter, dépasser les injonctions, remettre en cause ses hypothèses de départ, s'autoriser à apprendre dans ses échecs, diagnostiquer

C7.3 : Sur soi : Être à l'aise et se montrer convaincu, manifester de l'empathie et gérer ses émotions

C7.4 : Sur les techniques de communication : Maîtriser le langage parlé, écrit et corporel, et maîtriser les techniques de base de communication

C8.4 : Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation

C9.4 : Agir de façon inclusive face à des questions de diversité comme l'égalité F/H, le handicap, la diversité culturelle et sociale, etc.

3SQ3500 – Projet Industriel NUVI

Responsables : **Clement Elvira, Catherine Soladie**

Département de rattachement : **MENTION NUMERIQUE ET VIVANT (RENNES)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce projet de fin d'études est un élément clé de la formation ingénieur, il va permettre aux élèves de se placer dans un contexte industriel sur une étude de longue durée (200h).

Sur une problématique industrielle ou recherche, ce projet, réalisé en binôme ou trinôme permettra aux élèves de mettre en application tous leurs acquis d'apprentissage, dont :

- travail en équipe et dynamique de groupe
- gestion de projet
- résolution de problèmes techniques et scientifiques complexes
- communication écrite et orale

Le projet peut aussi être un projet Startup ou un projet Recherche. Dans ce cas, le projet n'est pas réalisé en groupe d'étudiant et l'accent est mis sur l'autonomie et la communication avec les différents organismes collaborateurs (en remplacement du travail en équipe et dynamique de groupe). Les 3 autres points restent identiques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9 SG10 SG11

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

Le sujet et le cahier des charges seront spécifiés par l'encadrant.

Des réunions d'avancement du projet seront à programmer régulièrement avec le ou les encadrants.

Tout projet devra débiter par une recherche bibliographique (ou « état de l'art ») pour identifier les solutions existantes et chercher les sources d'amélioration et d'innovation pour répondre aux attentes du projet.

Déroulement, organisation du cours

Le projet se déroulera sur les 3 premières séquences de la troisième année, avec la répartition suivante pour les heures à l'emploi du temps :

- SD9 : 24h
- SG10 : 48h
- SG11 : 72h

Il est complété par un travail en dehors des créneaux à l'emploi du temps afin d'atteindre les 200 heures.

Il sera encadré par un ou plusieurs enseignants-chercheurs ; dans le cas d'une étude en lien avec un industriel, un suivi régulier sera mis en place avec l'entreprise.

Organisation de l'évaluation

A la fin des séquences SD9 et SG10, une soutenance et un rapport intermédiaires permettront d'évaluer la progression du travail réalisé.

L'évaluation finale du projet sera réalisée à la fin de la séquence SG11 par une soutenance devant un jury, un rapport et les livrables.

Moyens

Les projets sont répartis par équipes (binôme ou trinôme, selon l'étude), ou seul en cas de projet startup ou recherche, avec un ou plusieurs encadrants.

Les élèves auront à disposition les environnements matériels et logiciels nécessaires pour mener à bien ce projet.

Encadrement : enseignants-chercheurs et intervenants industriels

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le projet a pour but de développer l'autonomie et la responsabilité des élèves, à créer une dynamique de groupe et l'esprit d'un travail collectif et bien sûr à mettre en pratique les enseignements reçus.

Il doit permettre aux étudiants d'affirmer leur savoir-faire et à considérer leurs compétences.

Comme le stage en entreprise qui va suivre, le projet constitue un des derniers maillons de la transition entre les études et le premier emploi.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.5 Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

C3.5 Proposer des solutions/outils nouveaux soit en rupture soit en progrès continu

C3.6 Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées

C3.8 Savoir concevoir, réaliser et passer à l'industrialisation

C6.2 Pratiquer la conception collaborative au travers d'outils de conception et de prototypage de produits (CAO, imprimante 3D...).

C7.1 Convaincre sur le fond. Être clair sur les objectifs et les résultats attendus. Être rigoureux sur les hypothèses et la démarche. Structurer ses idées et son argumentation. Mettre en évidence la valeur créée.

C8 Mener un projet et travailler en équipe

C9.4 Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques

3SQ4010 – Séminaires d'introduction et séminaires industriels

Responsables : **Philippe Benabes**

Département de rattachement : **MENTION ELECTRONIC ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **32**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **19,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ces séminaires ont pour but de présenter la mention et de rencontrer nos partenaires afin de découvrir les problématiques d'ingénieurs dans le domaine de l'électronique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction de la mention : 1h30

Economie de l'électronique : 6h

Présentation des activités spécifiques des entreprises partenaires : 6*1h30

Le programme définitif n'est pas encore établi mais les partenaires pressentis sont :

Airbus, Safran, Thales, SLB, ST microelectronics, Nokia

Visite d'entreprise : 3h

Déroulement, organisation du cours

Les conférences et les présentations des partenaires laisseront une large part aux interactions entre les élèves et les intervenants.

Organisation de l'évaluation

Le module est validé (pass/fail) par la présence des élèves aux différentes activités et un petit QCM de quelques questions organisé à la fin de chaque créneau de 3h.

Le module est validé à partir de 60% de bonnes réponses aux différents QCM.

A partir de 2 absences ou de non validation des QCMs, un travail de synthèse supplémentaire sera demandé.

La compétence C2 sera validée à partir du moment où le module est validé.

Support de cours, bibliographie

aucune

Moyens

Cette introduction se fera au moyen de conférences générales :

* introduction de mention,

* économie de l'électronique,

et de conférences spécifiques réalisées par nos partenaires, ainsi qu'une visite d'entreprise

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

L'objectif de ces séminaires est de dresser un portrait de l'état de l'art et des perspectives de l'électronique moderne et des micro-ondes d'un point de vue technique, intégratif (nouveaux prédicats de conception) et économique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C2.1 Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres

Créer de la connaissance, dans une démarche scientifique

3SQ4020 – Architecture des circuits analogiques

Responsables : **Emilie Avignon-Meseldzija**

Département de rattachement : **MENTION ELECTRONIC ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de présenter les architectures les plus répandues et utilisées en électronique analogique depuis les montages simples jusqu'aux systèmes analogiques complets. Les architectures abordées partent du montage à 1 seul transistor (montage source commune, drain commun, grille commune, interrupteurs), en passant par des assemblages de ces circuits (OTA à 1 ou 2 étages, bandgap reference voltage, transmission gate, multiplieur, additionneur/soustracteur, comparateur...) jusqu'aux systèmes où chacun des blocs comprend plus de 10 transistors (filtre Gm-C, PLL, conversion analogique-numérique...).

Pour faciliter la compréhension, et préparer au métier de concepteur, l'étude de chaque architecture se base sur une étude des blocs et des systèmes complets mis en œuvre sous LtSpice avec des modèles réels de transistors ou de composants du marché.

Enfin, pour illustrer la réalité du métier de concepteur électronique analogique dans l'industrie, un/des intervenant(s) d'Elsys Design viennent présenter leur parcours, leur métier et des études de cas au cours d'un séminaire d'1h30.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Il est nécessaire d'avoir suivi la séquence de dominante SCOC, ou d'avoir un M1 en Electronique équivalent au Master E3A de l'Université Paris Saclay ou un M1 d'une école partenaire.

Plan détaillé du cours (contenu)

CM1/TD1 : les montages élémentaires (architecture, études petits signaux, propriétés) et à 2 transistors : source commune, drain commun, grille communes + cascode télescopique + référence de tension

CM2/TD2 : les montages à plusieurs transistors (1) : miroir de courant, OTA à 1 étages puis 2 étages (Miller)

CM3/TD3 : les montages à plusieurs transistors (2) + switches : transmission gate, multiplieur, additionneur/soustracteur, comparateur

CM4/TD4 : les filtres Gm-C, gyrateurs : méthode des intégrateurs, traduction de fonction de transfert en filtre OTA-C

CM5/TD5 : architecture de PLL/synthétiseur de fréquence : étude système de la PLL : modèle linéaire, stabilité, puis introduction aux différents blocs au niveau transistor : comparateur phase-fréquence, oscillateur, charge-pump...

Séminaire ELSYS DESIGN : parcours d'un(e) ingénieur(e), présentation métier, étude de cas illustratifs de conception de système analogique en projet entreprise.

TP conception de système analogique : 2 sujets d'étude seront proposés avec des domaines applicatifs différents. Pour chaque sujet une phase de dimensionnement/simulation sera à effectuer sous LtSpice avec les modèles réels de transistors ou de composants du marché.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et travaux dirigés couplés à des séances de travaux pratiques.

Organisation de l'évaluation

Un examen écrit pour 70% de la note et les travaux pratiques pour 30% de la note

La compétence C6 sera évaluée sur la base du TP/projet où il y aura des résultats à obtenir à partir de simulateur électronique. Il faudra une note supérieure à 12/20 en TP pour valider cette compétence.

Les compétences C1 et C2 seront évaluées sur toutes les activités, mais il faudra une note d'examen écrit supérieure à 10/20 et une note de TP supérieure à 12/20 pour valider ces compétences.

Support de cours, bibliographie

T. C. Carusone, D. A. Johns, and K. W. Martin, Analog Integrated Circuit Design, 2nd ed. Danvers, MA: John Wiley & Sons, Inc., 2012.

B. Razavi, Design of Analog CMOS Integrated Circuits, McGraw Hill, 2003.

R. Jacob Baker, CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., IEEE Press, 2010.

Moyens

Ce cours se base sur :

- 15h00 de cours (CM) et exercices (TD)
- un séminaire entreprise (ELSYS DESIGN) de 3h00
- 9h00 de TP LtSpice et/ou PCB

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les étudiants devront être capable de :

- Proposer des architectures adaptées à une application
- Prédire les ordres de grandeurs et les compromis pour chaque architecture
- Comprendre/calculer les montages comprenant une dizaine de transistors CMOS

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1

Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2

Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C6

Être à l'aise et innovant dans le monde du numérique

3SQ4030 – Electronique numérique avancée

Responsables : **Caroline Lelandais Perrault**

Département de rattachement : **MENTION ELECTRONIC ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **36,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présente et forme à la méthodologie de conception de systèmes numériques et logiques complexes partant de la spécification fonctionnelle jusqu'à la synthèse logique sur FPGA. Dans une première partie constituée de cours magistraux et TD et dans l'objectif de préparer la deuxième partie du module, on étudie la méthode de conception d'une architecture détaillée sous forme de schéma bloc assemblant des blocs usuels dimensionnés à la taille optimale, en partant d'un cahier des charges décrivant un algorithme. La seconde partie du module est centrée autour d'un projet à réaliser à partir d'un cahier des charges. L'objectif du projet est d'obtenir une réalisation complète qui fonctionne sur carte FPGA. En guise d'introduction, une intervention d'un partenaire industriel présentera le contexte et la méthodologie de développement des systèmes numériques embarqués sur FPGA. Une fois le cahier des charges présenté, une architecture en schéma bloc devra être proposée par les élèves. Puis une succession de cours/TD permettra, tout en apprenant le langage VHDL, de réaliser des blocs de base nécessaires au projet avec l'outil ModelSim. Enfin durant les séances de projet, les élèves devront implémenter leur solution, réaliser les tests unitaires, valider en simulation et enfin sur carte FPGA.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Ce cours est directement lié au cours d'architecture et conception de systèmes embarqués dispensé en SD9 de la dominante SCOC.

Par ailleurs, avoir suivi le cours SPI "Systèmes Electroniques" (deux occurrences en SG1 et deux occurrences en SG3) et le cours électif "Architecture des Systèmes Numériques et des Processeurs" (SG6) est un vrai plus.

Plan détaillé du cours (contenu)

Déroulé du cours :

Fondements sur les architectures logiques et numériques (6 HPE) :

- Cours (3h) : Compléments de bases de numérique sur le séquentiel (Finite State Machine), multi domaine horloge et synchronisation, systèmes complexes (chemins de données/séquenceur).

- TD (3h) : Architecture et fonctionnement de l'accumulateur et d'un filtre FIR

Contextualisation du projet dans un cadre industriel (3 HPE) :

- Cours (3h) : Intervention de Airbus sur le contexte et la méthodologie de conception d'un système sur FPGA en entreprise et présentation du projet à réaliser

Cours, TD et études préliminaires au projet (12 HPE) :

- Cours/TD (3h) : Introduction au VHDL, processus, hiérarchie et testbench / implémentation d'un premier bloc

- Cours/TD (3h) : Paquetages et opérations arithmétiques / calculs en type nombres signés et virgule fixe

- Cours/TD (3h) : Fonctions séquentielles simples / diviseur de fréquence

- Cours/TD (3h) : Machines d'état

Développement du projet (15 HPE)

- Projet (3h) : Conception de l'architecture du projet

- Projet (10h30) : Réalisation, tests unitaires et validation

- Examen (1h30) : Présentation orale avec présentation du projet et des résultats.

Déroulement, organisation du cours

Après un cours magistral d'introduction, le module se compose exclusivement de séances de cours/TD et de projet afin de favoriser l'acquisition de compétence par apprentissage. Pour toutes ces séances pratiques, les élèves sont en groupe réduit. Chaque élève disposera d'un poste équipé d'une station Linux ou Windows installée avec des logiciels de conception et d'une carte FPGA de type DE10-lite.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation portera sur le travail effectué lors des TD et du projet. Le travail en séance, la qualité de la conception, les performances des systèmes réalisés et la clarté de la présentation des architectures et résultats seront notés. Les absences non justifiées auront une répercussion sur la note.

Moyens

Les élèves seront amenés à pratiquer sur des outils professionnels de conception numérique tels que ModelSim et Quartus. Deux salles du CETIC sont équipées de stations Linux/Windows avec ces outils et de cartes FPGA. Les outils peuvent également être installés sur les machines personnelles des élèves si dotées d'un système Windows et Linux.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les élèves sont capables de concevoir un système numérique complexe en partant d'une spécification et d'une modélisation haut niveau. Ils seront capables de construire une architecture de type schéma bloc réalisant l'algorithme demandé, réaliser en VHDL les différents blocs, les tester en simulation, interpréter les résultats, comprendre les causes des échecs rencontrés et proposer des solutions à ces problématiques. Ils auront acquis la maîtrise d'un outil de développement de système numérique sous FPGA.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le travail effectué par les élèves leur permettra d'acquérir des compétences pour spécifier, concevoir et analyser un système logique et numérique à l'aide d'un langage de description matérielle. Les compétences seront acquises selon un principe de mise en situation tout au long du module. Ainsi, la compétence C1 sera acquise et validée au cours des TD. La compétence C2 sera acquise et validée au cours du projet. La compétence C6 sera abordée et validée par la mise en œuvre et la bonne utilisation des logiciels ainsi que par la bonne écriture du langage VHDL.

3SQ4040 – Antennes intelligentes et intégrées

Responsables : **Andrea Cozza**

Département de rattachement : **MENTION ELECTRONIC ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présente une vision panoramique des principales typologies d'antennes utilisées dans les communications sans fil, avec une attention particulière pour les technologies utilisées en 5G, les communications satellitaires, les systèmes communicants portables et les dispositifs IoT.

Le cours se compose de trois unités fondamentales

- Notions générales d'antennes
- Réseaux d'antennes adaptatives et beamforming
- antennes intégrables et miniature

L'approche pédagogique vise à mettre en évidence les 'building blocks' utilisés dans les solutions technologiques employées dans les objets communicants, leurs principales caractéristiques et leurs limitations.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

SD9 SCOC

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction aux antennes

- CM1 (1h30) Antennes filaires
- CM2 (1h30) Antennes patch
- CM3 (1h30) Antennes à ouverture
- TD1 (1h30) Principaux scénarios de transmission sans fils
Beamforming, smart antennas

- CM4 (1h30) Réseaux uniformes linéaires
- TD2 (1h30) Réseaux phasés
- TL1 (1h30) Caractérisation d'une antenne réseau
- CM5 (1h30) Beamforming adaptatif
- TD3 (1h30) Contrôle d'interférences
- TL2 (3h00) Smart antenna (beamforming) pour un téléphone portable 5G (simulations avec CST Microwave Studio)

Antennes miniature et intégrées

- CM6 (1h30) Techniques de miniaturisation
- CM7 (1h30) Antennes imprimées compactes, limitations physiques
- TL3 (1h30) Antennes PIFA miniatures
- CM8 (1h30) RFID
- TL4 (1h30) Retro-diffusion d'un tag RFID

Déroulement, organisation du cours

La division du cours en trois parties vise à simplifier l'assimilation des notions introduites. Pour chaque partie, des travaux dirigés mettront en situation les technologies introduites pendant les cours. L'accent sera mis sur les différences pratiques entre les scénarios applicatifs explorés : ceux-ci couvrent un large éventail, à l'image du vaste nombre de configurations dans lesquelles des antennes sont utilisées dans les communications sans fils.

A cette fin, environ la moitié des séances sera dédiée à des travaux dirigés et de laboratoire. Les outils informatiques tel que CST Microwave Studio et Matlab seront utilisés afin de pouvoir explorer des scénarios complexes.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation s'effectuera selon deux volets : 1) par le biais de trois QCM, proposés à la fin de chaque thématique, 2) en répondant à des questions proposées à chaque séance de TD/TP, sous forme de devoir à la maison. Ces QCM permettront de vérifier à la fois la compréhension des technologies et des scénarios applicatifs discutés. Les questions porteront aussi bien sur les notions introduites dans les cours que celles explorées dans les travaux dirigés et de laboratoire.

Support de cours, bibliographie

- Transparents de cours, corrigés de TD
- C.A. Balanis, "Antenna theory : analysis and design", Wiley & Sons

Moyens

Équipe enseignante : Andrea Cozza, Dominique Lecointe

Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 35

Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Microwave Studio (CST), Matlab.

Salles de TP (département et capacité d'accueil) : caractérisation d'une antenne réseau.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les élèves sauront

- identifier quel type d'antenne est mieux adaptée à une application donnée
- dimensionner des réseaux d'antennes, et les rendre capables de s'adapter à des conditions changeantes grâce aux techniques de beamforming
- comprendre les limitations intrinsèques des antennes intégrables, et les principales technologies utilisées dans la pratique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours permettra d'acquérir les compétences suivantes

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

3SQ4050 – Propagation radio

Responsables : **Andrea Cozza**

Département de rattachement : **MENTION ELECTRONIC ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **32**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **19,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours donne les clés pour comprendre et modéliser la propagation d'ondes dans des configurations applicatives réalistes, où la présence d'obstacles (immeubles, etc.) crée des conditions de propagation complexes. Le cours s'articule autour de trois thématiques

- la transmission de puissance sans contact, en champ lointain et proche (NFC, RFID)
- l'interaction entre ondes et obstacles, dans les milieux urbains, indoor et autour du corps humain
- la propagation multi-trajet et les techniques utilisées pour en mitiger les effets néfastes (diversité d'antennes, MIMO)

décrivant les principaux scénarios de transmission rencontrés dans les communications sans fil. Les outils et concepts introduits permettent de comprendre les défis inhérents aux communications sans fil dans des situations réalistes, du réseau local indoor aux communications entre objets portés sur le corps. Le cours présentera les principales solutions technologiques développées afin d'assurer des transmissions robustes et efficaces à travers ces milieux complexes, comme la diversité d'antennes et les systèmes MIMO, des concepts incontournables dans les nouvelles générations de technologies liées à la 5G et IoT.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

SD9 SCOC

Plan détaillé du cours (contenu)

Transmissions sans fils en espace libre

- CM1 (1h30) Bilans de liaison, pertes de propagation
- TD1 (1h30) Portée maximale de couverture
- CM2 (1h30) Transmissions en champ proche
De l'espace libre aux milieux complexes
- CM3 (1h30) Interaction avec des structures : diffusion et diffraction
- TD2 (1h30) Propagation two-path et fading
- TL1 (1h30) Fading lent et rapide
- TL2 (1h30) Atténuation par des parois (simulations avec CST Microwave Studio)
- CM4 (1h30) Propagation à proximité du corps humain
Propagation multi-trajet et techniques multi-antennes
- CM5 (1h30) Propagation multi-trajet
- TD3 (1h30) Macro-modèles pour la propagation en milieu urban/indoor
- CM6 (1h30) Techniques multi-antenne
- TD4 (1h30) Réception robuste : diversité d'antenne
- TL3 (1h30) Propagation multi-trajet, diversité & MIMO (en chambre réverbérante)

Déroulement, organisation du cours

L'approche poursuivie dans ce cours se veut pragmatique, et vise deux objectifs complémentaires : comprendre les raisons de la variabilité des propriétés de transmission selon la nature du milieu, tout en mettant en avant leur impact sur des scénarios applicatifs. A cette fin, la moitié des séances sera dédiée à des travaux dirigés et de laboratoire, visant à appliquer les notions introduites en cours. Les outils informatiques tel que CST Microwave Studio et Matlab seront utilisés afin de pouvoir explorer des scénarios complexes.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation s'effectuera selon deux volets : 1) par le biais de trois QCM, proposés à la fin de chaque thématique, 2) en répondant à des questions proposées à chaque séance de TD/TP, sous forme de devoir à la maison. Les QCM permettront de vérifier à la fois la compréhension des phénomènes et scénarios de propagations discutés et leur impact sur des cas d'applications concrets. Les questions porteront aussi bien sur les notions introduites dans les cours que celles explorées dans les travaux dirigés et de laboratoire.

Support de cours, bibliographie

- Transparents de cours, corrigé de TD
- J.D. Parsons, "The mobile radio propagation channel", Wiley & Sons
- K.L. Du, M.N.S Swamy, "Wireless communication systems", Cambridge University Press

Moyens

Équipe enseignante : Andrea Cozza, Dominique Lecointe

Taille des TD : 35

Outils logiciels : Microwave Studio (CST), Matlab

Salles de TP : propagation autour d'un obstacle, propagation multi-trajet.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les élèves

- Comprendront les raisons des fortes variations observées dans les transmissions sans fil
- Il leur sera possible de prévoir les difficultés inhérentes aux différents scénarios applicatifs
- Ils pourront utiliser les solutions multi-antenne afin de rendre plus fiable une communication dans des conditions multi-trajet

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours permettra d'acquérir les compétences suivantes

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

3SQ4060 – Les composants de l'électronique analogique

Responsables : **Emilie Avignon-Meseldzija**

Département de rattachement : **MENTION ELECTRONIC ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **15**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **9,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de présenter les composants de base de l'électronique analogique : la jonction PN, les transistors des technologies CMOS, l'amplificateur opérationnel (AOP), les composants passifs (résistances, capacités, inductances).

L'objectif est axé sur une approche concepteur/utilisateur. C'est-à-dire que la physique des composants élémentaires (jonction PN et transistors) est expliquée succinctement dans le but de comprendre les comportements et les équations utilisées par les concepteurs. Par ailleurs, sur l'aspect AOP et composants passifs, après de brefs rappels, l'accent sera mis sur les limitations (bruit, produit gain-bande, effets parasites, gamme de fréquence...) pour que le futur concepteur sache lire une documentation composant et choisir les composants appropriés à son application.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Il n'y a pas de prérequis spécifique car ce cours reprend des fondamentaux

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours se base sur un équilibre entre théorie (CM) et exercices (TD) sur un total de 9h00.

CM1/TD1 : introduction à la vue en coupe des circuits intégrés : la jonction PN + comprendre les différents comportements du transistor MOS à partir de la vue en coupe.

CM2/TD2 : Transistors MOS : équations quadratiques, modèle petits signaux du transistors, méthode d'étude d'un circuit à 1 seul transistor : étude DC, puis petits signaux. Compréhension des limitations en fréquence.

CM3/TD3 : Rappels sur l'amplificateur opérationnel et les composants passifs. Limitation des AOP (produits gain/bande...) et des composants passifs. Introduction à l'analyse de documentation composants.

Déroulement, organisation du cours

Ce cours est basé sur cours magistral (CM) et TD

Organisation de l'évaluation

Un examen écrit de 45 minutes

Moyens

Ce cours se base sur un équilibre entre théorie (CM) et exercices (TD) sur un total de 9h00.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les étudiants devront être capable de :

- Comprendre/calculer un montage simple à jonction PN
- Comprendre/calculer les montages à un seul transistor NMOS/PMOS
- Comprendre/calculer les montages basés sur l'amplificateur opérationnel
- Prédire les limitations et les domaines d'application des composants (par exemple transistor RF vs transistor puissance, produit gain/bande des amplificateurs...)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1

Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2

Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

3SQ4070 – Fondements en électromagnétisme

Responsables : **Dominique Lecoite**

Département de rattachement : **MENTION ELECTRONIC ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement :

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **15**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **9,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La théorie de Maxwell joue un rôle important dans la conception des systèmes électroniques embarqués. Les ondes électromagnétiques sont utilisées dans les communications sans fil, telles que le Wi-Fi, le Bluetooth, le NFC, la 4G/5G, etc., pour transmettre des données et des signaux entre les appareils électroniques. Les antennes sont utilisées pour émettre et recevoir des signaux électromagnétiques, ce qui permet la communication sans fil entre les appareils électroniques, la détection de l'environnement de nos systèmes électroniques. En plus de toutes ces applications utiles, l'électromagnétisme est une des bases de la compatibilité électromagnétique c'est à dire la pollution électromagnétique générée par nos équipements électroniques ou perturbant leur fonctionnement. Ces applications seront développées dans plusieurs cours de la mention. L'objectif de ce cours est de poser les fondements de la théorie de Maxwell. Ces bases seront donc ensuite utilisées dans plusieurs cours de la mention.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Partie 1

- Applications et fréquences
- Mise en équations : Maxwell, équations constitutives, relation de passage, domaine temporel, domaine fréquentiel
- Types de problèmes, hypothèses et principaux résultats

Partie 2

- Onde plane : propriétés, polarisation
- Réflexion d'une onde plane sur un plan parfaitement conducteur
- Réflexion et réfraction d'une onde plane sur un diélectrique parfait

Partie 3

- Propagation guidée et théorie des lignes
- Équations des télégraphistes et analyse de la solution
- Adaptation
- Taux d'onde stationnaire

Déroulement, organisation du cours

Cours et exercices utilisant un outil numérique de l'électromagnétisme

Organisation de l'évaluation

Travail personnel écrit à rendre à l'issue du cours

Support de cours, bibliographie

Planches de présentation sur edunao
Polycopié du cours 1A : Rayonnement et propagation

Moyens

- Outils logiciels et nombre de licences nécessaires : logiciel MWS. Licence éducation obtenue de la part du fournisseur.
- Salles de cours : Salle informatique

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- mettre en équations un problème réaliste par le choix de modèles plus ou moins complexes.
- juger la pertinence des modèles et leurs limitations.
- choisir une méthodologie de résolution incluant des outils de simulation modernes.
- maîtriser les structures des ondes électromagnétiques se propageant dans un milieu donné.
- maîtriser les systèmes permettant la propagation d'un signal électromagnétique.

Ces acquis seront utilisés dans plusieurs cours de la mention ELEN

Ces différents acquis d'apprentissage permettent de valider les compétences C1 et C2

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes Scientifiques, technologiques, humaines et sociétales

C2 : développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers
Plus précisément, les compétences C1 et C2 acquises à l'issue de ce cours seront un apport au niveau des méthodes de résolution des problèmes de l'électromagnétisme

3SQ4120 – Integrated Electronics (INTELECT)

Responsables : **Pietro Maris Ferreira**

Département de rattachement : **MENTION ELECTRONIC ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'électronique intégrée, également appelés microprocesseurs, est omniprésente en tant que technologie clé dans de nombreux appareils modernes, notamment les ordinateurs, les smartphones et les équipements industriels. Ils sont constitués de nombreux transistors et dispositifs passifs qui sont gravés sur un morceau de Silicium d'un millimètre carré. La pénurie de circuits intégrés au XXI^e siècle est le résultat d'une combinaison de facteurs qui ont été exacerbés par la pandémie de COVID-19, tel que :

- Forte demande d'appareils électroniques liés au travail et à l'apprentissage à distance, ainsi que d'appareils de divertissement pendant le confinement.
- Perturbation des chaînes d'approvisionnement mondiales, car les fonderies ont été contraintes de fermer ou de fonctionner à capacité réduite, ce qui a ralenti la production.

On dit que les pays qui pourraient concevoir et produire leurs propres circuits intégrés jouissent de la souveraineté technologique. Cela peut également contribuer à la souveraineté économique, en réduisant le montant d'argent dépensé pour l'importation de technologies et en augmentant la capacité de fournir des solutions technologiques aux besoins de la société.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Pour les étudiants de CentraleSupélec, il est nécessaire d'avoir suivi la mention ELEN de la dominante SCOC.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. CM1 : Integrated Electronics – Context, Challenges, and Industry 4.0
2. TP1. Hands on Virtuoso Cadence
3. CM2 : Integrated Electronics Manufacturing: from the physics of semiconductors to the economy of integrated electronics through modern industrial integration processes, présenté par XFAB France
4. CM3: Integrated Electronics Manufacturing: from the physics of semiconductors to the economy of integrated electronics through modern industrial integration processes, présenté par XFAB France
5. CM4 : Modeling, characterization, and simulation of transistors for modern industrial technologies présenté par XFAB France
6. CM5 : Modeling, characterization, and simulation of transistors for modern industrial technologies présenté par XFAB France
7. CM6 : Design of Experiments : from physical dataset generation to Circuit and System design equations.
8. TP2 : Practice of the Design of Experiments using a single stage amplifier.
9. TP3 : Physical Design of a Ring Oscillator using CADENCE (DRC, LVS, EXT)
10. TP4 : Physical Design of a Ring Oscillator using CADENCE (DRC, LVS, EXT)
11. CM7 : Passive Integrated Circuits (R, L, C, K, TL, ...)
12. CM8 : Design for Reliability and physical phenomena (PVT, MC, Corners, Aging, Faults)
13. TP5 : Practice of Design for Reliability for a Ring Oscillator
14. TP6-7-8 : IC Design Practice on CADENCE (évaluation)

Déroulement, organisation du cours

Séminaires industrielles, cours magistraux et travaux dirigés couplés à des séances de travaux pratiques. Equilibre entre théorie et pratique, savoir et savoir-faire.

Organisation de l'évaluation

- a) Exécution de 2 QCM sur le sujet des séminaires industrielles pour valider C2
- b) Examen devoir « Conception IC » préparée en avance (prévoir 20 HEE) avec des séances de validation et expérimentation qui représente 100% de la note finale (validation de C1 et C6).
- c) Examen de rattrapage comprend une série des questions théoriques. Il est exécuté en avril avant le départ en stage. Cet examen permet de rattraper seulement C1 dans les critères : C1 en jalon 3 (note supérieure à 12) ou jalon 2 (note supérieure à 7). Dans le cas de non-validation de C2 et ou C6, elles ne pourront pas être rattrapé par cette évaluation (ie compétence non évalué/non acquis).

Support de cours, bibliographie

Razavi, B. (2005). *Design of Analog CMOS Integrated Circuits* (2nd ed.). Mc Graw Hill.
Jespers, P. (2010). *The gm/ID Methodology, a sizing tool for low-voltage analog CMOS Circuits*. In Springer US. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-47101-3>
Carusone, T. C., Johns, D. A., & Martin, K. W. (2012). *Analog Integrated Circuit Design* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Inc.
Debroux, J.-F. (2020). *Top-Down method at work in analog IC design*. Open Access.
Ferreira, P. M. (2023). *Polycopié Electronique Intégré*. Open Access

Moyens

Ce cours se base sur un équilibre entre théorie (CM) et exercices (TD). Il propose aussi des séances pratique (TP) en machine Linux avec les logiciels de CAO professionnel : Virtuoso CADENCE.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Pendant le cours d'électronique intégrée, les étudiants apprendront

1. comment concevoir, répondre aux compromis de performance, dessiner la disposition et fabriquer des circuits intégrés, à l'aide d'outils d'automatisation de la conception électronique (EDA).
2. fabrication et conception de la microélectronique du point de vue de l'industrie, y compris les semi-conducteurs, les transistors, les circuits et les systèmes.
3. les exigences de l'électronique intégrée dans divers domaines, tels que l'Internet des objets, l'électronique de l'espace aérien, les instruments biomédicaux et l'automatisation industrielle.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- a) Validation de la compétence C1 : Le devoir « Conception IC » est constitué d'un ensemble des questions théoriques. Cela permet de valider la compétence C1 en jalon 3 (moyenne supérieur à 12) ou jalon 2 (moyenne supérieur à 7)
- b) Validation de la compétence C2 : Les séminaires industrielles vont approfondir le domaine des sciences de l'ingénieur dans le secteur de l'électronique intégré, surtout par le savoir-faire et le savoir-être illustrée par les vacataires. La participation aux séminaires industrielles avec la réponse au QCM (un par séminaire) proposé par les vacataires permet de valider la compétence C2 en jalon 3 (moyenne supérieur à 12) ou jalon 2 (moyenne supérieur à 7)
- c) Validation de la compétence C6 : Les activités de laboratoire avec le logiciel de CAO demandent une compétence en traitement des données et la solution numérique des problèmes (ex. design of experiments, physical design). La participation aux TP permet de valider la compétence C6 en jalon 2. Le devoir « Conception IC » comprend un ensemble des questions à être vérifié par simulation. Cela permet de valider la compétence C6 en jalon 3 (moyenne supérieur à 10).

3SQ4140 – Précision, Instrumentation, Mesures (PRIME)

Responsables : **Jerome Juillard**

Département de rattachement : **MENTION ELECTRONIC ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours s'articule autour de l'analyse et de l'optimisation du budget d'erreur d'une chaîne de mesure ou d'acquisition, des principes fondamentaux à leur mise en œuvre pratique sous la forme d'une implémentation électronique. On s'y intéresse :

- à la nature des erreurs (bruits, décalages, parasites, grandeurs d'influence, dérives), à leur origine physique et à leur représentation mathématique (spectre, variances, etc.)
- à leur impact sur la performance métrologique et à leur analyse, en lien avec les différents étages de la chaîne de mesure (transducteurs, conditionneurs, amplificateurs, références, numérisation).
- à des techniques de mesure ou d'acquisition (détection synchrone, chopping, auto-zéro, mesure résonante, techniques de zéro...), mais également d'étalonnage et de calibration permettant de s'en affranchir, au moins en partie.

Ce cours doit permettre aux étudiants de faire le lien entre une vision système de la chaîne de mesure, abordée durant les Cours Magistraux, et une vision composants, abordée durant les TDs et TPs. Il s'adresse ainsi non seulement à de futurs concepteurs, mais aussi à de futurs ingénieurs projet ou architectes système.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Modélisation (fonctions de transfert), Electronique (amplis ops, CAN), Automatique (asservissement), Traitement du Signal (densité de puissance)

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours se décompose en :

- 18h00 de cours (CM) et exercices (TD) ou travaux pratiques (TP) :
 - o CM 1 & 2 : budget d'erreur, caractéristiques métrologiques, bruits et dérives.
 - o CM 3 & 4 : transducteurs, conditionneurs, amplificateurs.
 - o TD 1 & 2 (papier) : analyse et optimisation d'une chaîne de mesure 1
 - o CM 5 & 6 : méthodes et techniques de l'instrumentation.
 - o CM 7 & 8 : méthodes et techniques de l'électronique de précision.
 - o TP 1 & 2 (LTSpice) : analyse et optimisation d'une chaîne de mesure 2
- 4h30 de séminaires (ASYGN : électronique de précision intégrée, SLB : précision et environnements extrêmes, APIX : chromatographie embarquée, du concept au produit)

Déroulement, organisation du cours

Cours Magistraux 9h

TDs/TPs 9h

+ conférences

Pour les étudiants ayant déjà validé le module CIMEMS de 2A ou un module équivalent, la possibilité est offerte de concevoir, réaliser et tester une électronique associée à un capteur MEMS en mode projet.

Organisation de l'évaluation

50% note de TP + 50% QCM final
ou
50% rapport de projet + 50% soutenance de projet.

Support de cours, bibliographie

Acquisition de données - 3ème édition, G. Asch
Introduction to Instrumentation and Measurements - 3rd Edition, R.B. Northrop
The Art of Electronics - 3rd Edition, P. Horowitz, W. Hill

Moyens

Logiciels Coventor, LTSpice, Cadence, Simulink, Simplorer

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les étudiants devront être capable de :

- Déterminer un budget d'erreur pour une application de mesure ou d'instrumentation
- Connaître les avantages et les limitations de transducteurs, conditionneurs, amplificateurs (etc.) courants.
- Dimensionner et choisir les éléments d'une chaîne d'acquisition pour atteindre des spécifications données

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1/C2

3SQ4150 – Compatibilité Electromagnétique

Responsables : **Dominique Lecoite**

Département de rattachement : **MENTION ELECTRONIC ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les systèmes communicants mobiles et autonomes, comme tous les systèmes électroniques, devront respecter les exigences découlant des problèmes de compatibilité électromagnétique. L'aspect communicant de ces systèmes impose aussi de respecter les exigences liées à la compatibilité radioélectrique. De plus, la protection de ces systèmes contre des agressions électromagnétiques volontaires sera une nécessité.

Les enjeux adressés par ce cours seront :

- des enjeux économiques (les solutions apportées au futur système doivent être compatible avec les contraintes liées à la réglementation et à l'environnement concurrentiel)
- des enjeux environnementaux (la prise en compte de la pollution générée par nos systèmes et équipements est aujourd'hui au premier plan ; ce cours traite de pollution électromagnétique)
- des enjeux sociétaux (la vulnérabilité des systèmes électroniques et communicants met en évidence la fragilité de nos sociétés modernes ; de plus, le public, les travailleurs sont de plus en plus sensibles aux problèmes d'exposition des personnes aux ondes électromagnétiques)

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Électromagnétisme : rayonnement et antennes, propagation libre et onde plane, propagation guidée et théorie des lignes

Plan détaillé du cours (contenu)

- Compatibilité électromagnétique et exposition des personnes
- Compatibilité radioélectrique
- Co-existence des systèmes communicants
- Guerre électronique
- Conférence par l'Agence Nationale des FRéquences

Déroulement, organisation du cours

1 conférence de 1h30, 9 cours de 1h30, 2 TD de 1h30 et 1 TP de 3h00

Organisation de l'évaluation

L'évaluation portera sur quatre critères :

- un exposé sur un thème proposé en début de cours.
- la méthodologie pour construire l'exposé et la bibliographie associée
- la pertinence des questions posées lors des exposés des autres élèves
- le rapport du TP

La compétence C1 est validée si l'élève a la moyenne à l'évaluation.

La compétence C2 est validée si l'élève a la moyenne au rapport de TP
La compétence C7 est validée si l'élève a la moyenne à la méthodologie et la bibliographie

Support de cours, bibliographie

Compatibilité électromagnétique : des concepts de bases aux applications (2 volumes) par Pierre Degauque et Ahmed Zeddani

Moyens

- équipe enseignante : Dominique Lecointe, Raul de Lacerda
- conférence présentée par l'Agence Nationale des FRéquences
- plateforme multi-service pour le TP

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, l'élève sera sensibilisé à la nécessité de prendre en compte les problèmes de compatibilité électromagnétique et d'exposition dès la phase de conception de futur système

Dans un environnement économique contraint, l'élève sera capable de :

- mettre en équations un problème réaliste par le choix de modèles plus ou moins complexes.
- juger la pertinence des modèles et leurs limitations.
- choisir une méthodologie de résolution incluant des outils de simulation modernes
- valider sa solution dans le respect de la réglementation

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 : Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

C1.2 : Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C2.3 : Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres

C7.1 : Convaincre sur le fond. Être clair sur les objectifs et les résultats attendus. Être rigoureux sur les hypothèses et la démarche. Structurer ses idées et son argumentation. Mettre en évidence la valeur créée.

3SQ4160 – Implémentation matérielle des traitements numériques

Responsables : **Erwan Libessart**

Département de rattachement : **MENTION ELECTRONIC ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **45**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **27,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présente et forme à la méthodologie d'implémentation d'architecture de traitements numériques sur FPGA et est séparé en deux parties. Le cours débute par une présentation et prise en main d'un logiciel industriel pour l'implémentation de système embarqué sur FPGA (Vivado). Cela donnera l'occasion de mettre en œuvre un système embarqué complet et de voir l'interaction entre le matériel et le logiciel. La seconde partie consiste en un projet d'implémentation d'un réseau de neurones sur FPGA afin de faire de la reconnaissance de chiffres sur des images provenant d'une caméra. Cela sera l'occasion de perfectionner leur connaissance du langage VHDL abordé lors des cours précédents.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Ce cours est la suite logique des cours d'Architecture et conception des systèmes embarqués (SD9) de la dominante SCOC et d'Électronique numérique avancée (SG10) de la mention ELEN.

Plan détaillé du cours (contenu)

Lors de la première partie du cours, les étudiants découvriront et utiliseront le logiciel professionnel Vivado, en utilisant comme support le tutoriel officiel de l'entreprise Xilinx, pour implémenter des premiers exemples de systèmes de traitements numériques complexes.

Lors de la seconde partie, les étudiants seront amenés à concevoir et dimensionner un réseau de neurones de type CNN pour de la reconnaissance de chiffre sur une image avant de réaliser la description VHDL de l'architecture électronique associée pour faire du test sur carte.

Déroulement, organisation du cours

L'ensemble du cours se déroulera en mode projet, où la prise d'autonomie des étudiants sera encouragée, le tout sous la supervision des enseignants référents.

Organisation de l'évaluation

Les deux parties du cours seront évaluées individuellement. Ces évaluations prendront la forme de comptes rendus du travail effectué à l'issue chaque partie. Chaque évaluation comptera pour 50% de la note finale.

Moyens

Les étudiants seront amenés à pratiquer sur des logiciels professionnels (Vivado, Quartus, Modelsim) sur des stations de travail qui seront mises à leur disposition. Des cartes de développement FPGA seront mises à disposition pour tester leurs architectures.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants sont capables d'utiliser un logiciel industriel pour réaliser un système de traitement numérique fonctionnel composé d'un processeur couplé à un accélérateur matériel. Ils seront par ailleurs capables d'optimiser cet accélérateur en concevant une architecture efficace, sur la base d'un cahier des charges.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

La compétence évaluée dans ce cours est la compétence C2 : « Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers ». Cette évaluation sera faite via des mises en situation.

3SQ4500 – Projet Industriel SCMA

Responsables : **Andrea Cozza**

Département de rattachement : **MENTION ELECTRONIC ENGINEERING (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Trois types de projet sont proposés à savoir les projet CEI, les projets immersion et les projets internes. Les projets CEI sont issus d'un contrat signé entre l'école et un industriel qui propose un sujet d'étude. Les élèves (deux ou trois selon l'ampleur du sujet) sont encadrés par un ou deux enseignants de la dominante SCOC. Les projets immersion sont donnés par les entreprises marraines de la mention. L'encadrement est assuré par l'entreprise même. Le projet interne porte sur un sujet donné par un enseignant-chercheur de la dominante. Typiquement, le sujet peut concerner un sujet de la recherche propre de l'enseignant-chercheur.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9 SG10 SG11

Prérequis

aucun

Organisation de l'évaluation

Une soutenance et un rapport sont requis à mi-parcours et en fin de projet.

Moyens

Selon la nature du projet, l'encadrement sera fait par le partenaire industriel ou des enseignants-chercheurs. Les élèves disposeront du matériel disponible dans le département d'enseignement. Pour les CEI, si besoin de matériel spécifique, l'industriel prêtera le matériel à l'école le temps du projet.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

L'objectif des projets est de confronter les élèves à un cahier des charges proches d'une problématique industrielle ou académique. Les élèves devront exploiter les compétences et connaissances acquises jusqu'à lors. Ils devront également développer leur autonomie et esprit d'initiative.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours permettra d'acquérir les compétences suivantes

C1 : Analyze, design, and build complex systems with scientific, technological, human, and economic components

C2 : Develop in-depth skills in an engineering field and a family of professions

C3 : Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C7 : Savoir convaincre

C8 : Mener un projet, une équipe

DOMINANTE VIVANT, SANTE, ENVIRONNEMENT (VSE)

3VS1010 – Concept du vivant, biologie, microbiologie, génomique

Responsables : **Filipa Lopes**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **65**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **39,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les principes généraux qui définissent le vivant, présenté comme un système complexe, seront abordés via une approche multi-échelle, de la cellule à la population : macromolécule, organite intracellulaire, cellule, population de cellules (microorganismes en suspension et immobilisés sous forme de biofilms).

L'objectif général de cet enseignement est d'introduire les concepts du vivant nécessaires à sa compréhension pour pouvoir l'exploiter dans des applications variées en industrie (production de biomolécules), et en environnement (traitement de l'eau et des déchets) et pour mieux le maîtriser dans un contexte de santé. Les différents principes seront traités par une approche multidisciplinaire aux interfaces de la biologie/microbiologie, de la biochimie, de la physique et des bioprocédés afin d'obtenir une vision globale et intégrée du vivant.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Théorie de l'évolution
- Les briques du vivant : macromolécules, enzymes et cinétiques enzymatiques
- La cellule : structure et fonctions cellulaires, cellule procaryote/eucaryote
- Fonctionnement général de la cellule : 1) du gène à la protéine, 2) métabolisme et sa régulation
- Diversité du vivant
- Les biofilms (formation, structure et impacts)
- Virus (structure/mécanismes de réplication)
- Culture de cellules en bioréacteur (principes et applications)
- La biologie synthétique (concepts et applications).

Déroulement, organisation du cours

Les principes généraux abordés seront illustrés avec des exemples et des applications concrets et traités sous forme de cours magistraux, d'une conférence sur la biologie synthétique et de deux travaux pratiques (TP1 - suivi d'une culture bactérienne et TP2 – suivi d'une cinétique enzymatique).

Organisation de l'évaluation

Contrôle final écrit (1.5h) et rapport des deux TP.

Support de cours, bibliographie

- Copies des présentations des différents intervenants.
- Ouvrages :
Madigan, M. (2007). Brock Biologie des microorganismes ;
Meyer, A., Deiana, J., & Bernard, A. (2004). Cours de microbiologie avec problèmes et exercices corrigés-2e édition.

Moyens

Equipe enseignante : C. Bernard (Dr, Inserm), F. Lopes (Pr, Centralesupélec), B Taidi (Pr, Centralesupélec), K. Maouche (MCF, U. Paris Diderot)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Définir les différentes briques du vivant : protéines, sucres, lipides et acides nucléiques.
- Décrire le mode de codage des protéines : le code génétique, l'ADN, l'ARN, la transcription et le mode de fabrication des protéines - la translation.
- Expliquer les mécanismes des réactions enzymatiques et décrire les différentes cinétiques.
- Identifier des différentes voies métaboliques et les relier à des exemples concrets (production de bioéthanol, élimination de l'azote des eaux usées, ...).
- Identifier différents mécanismes de régulation métabolique.
- Estimer le taux de croissance d'une population microbienne et discuter les facteurs l'impactant.
- Définir biofilm et lister les impacts associés.
- Identifier des différents modes de conduite des bioréacteurs.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1, C2

3VS1030 – Biostatistiques

Responsables : **Arthur Tenenhaus**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présente les outils statistiques utiles pour répondre aux différentes questions soulevées par l'analyse de données biomédicales

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Statistique & Apprentissage

Plan détaillé du cours (contenu)

- Approche univariée et tests multiples (Bonferonni, False Discovery Rate...)
- Modèle linéaire général (ANOVA/ANCOVA) et modèles à effets mixtes.
- GLM (régression logistique, régression de poisson...)
- Analyse en Composantes Principales et Clustering Hiérarchique

Une grande partie des notions abordées dans la partie biostatistique sera mise en oeuvre devant machine au travers du logiciel R

Organisation de l'évaluation

Devoir maison

3VS1040 – Modélisation et méthodes numériques appliqués au vivant

Responsables : **Véronique Le Chevalier, Emmanuel Odic**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif est d'assimiler la démarche de modélisation au travers notamment d'exemples de différents types de modèles tirés de divers domaines d'application (épidémiologie, génétique, écologie, médecine, biologie végétale, bioprocédés, etc.) et de maîtriser les différentes méthodes mathématiques associées. Ces méthodes sont génériques mais les spécificités des processus du vivant (complexité, variabilité, redondance, etc.) imposent certaines précautions avec lesquelles les élèves pourront se familiariser grâce à un projet de modélisation « fil rouge » qui permettra de les mettre en pratique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9

Prérequis

Cours 1A de Modélisation (Représentations et analyse des modèles) : notions de base concernant l'analyse des systèmes dynamiques, l'estimation paramétrique, l'analyse d'incertitude et de sensibilité
Cours 1A de Statistiques et Machine Learning : estimation paramétrique.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Initiation et pratique du langage R
- Séance de pré-requis pour les étudiants du M2 PBA (et FreeMoov, optionnels)
- Principes généraux et spécificités de la modélisation dans le domaine des sciences du vivant
- 1ère partie : deux paradigmes de modèles : (1) systèmes d'équations différentielles ordinaires non linéaires, avec illustration sur des modèles de bioréacteurs, et schémas numériques pour leur résolution ; (2) Automates cellulaires avec illustration sur des modèles de prolifération et déplacement de cellules
- 2ème partie : méthodes d'analyse et d'évaluation des modèles : (1) Analyse d'incertitude (de type A ou B, principe du maximum d'entropie de Shannon) et de sensibilité (indices SRC, méthode de la combinaison de variance, indices de Sobol basés sur la décomposition de la variance) ; (2) Estimation paramétrique de modèles dynamiques non linéaires, sélection de modèles (critères pénalisés, validation croisée), identifiabilité structurelle et pratique, rappels sur les méthodes d'optimisation pour la minimisation des critères issus du problème d'estimation (optimisation continue et description de deux algorithmes heuristiques issus de la biologie : algorithme génétique et optimisation par essaim particulaire).
- 3ème partie : Passage d'un modèle déterministe à un modèle stochastique, algorithme de Gillespie.

Déroulement, organisation du cours

Les séances comprennent généralement une partie de cours, un TD (comportant généralement des parties analytiques sur papier et des exercices sur ordinateur pour l'application directe des notions vues en cours sur des exemples simples), un temps pour la mise en application sur le projet "fil-rouge".

Ce projet est choisi en début de cours et consiste en l'analyse d'un article issu de la littérature scientifique : l'étudiant doit implémenter le ou les modèles présentés et y appliquer l'ensemble des méthodes vues en cours, au fur et à mesure de son avancement. Il doit également trouver et présenter un 2ème article présentant soit un

autre modèle du même système biologique soit une revue de différentes approches de modélisation dans le domaine qu'il a choisi. Les sujets des projets sont de difficultés variables ce qui permet un ajustement du niveau d'ambition en fonction du niveau initial de l'étudiant.

Organisation de l'évaluation

- rapport et soutenance orale du projet (50%)
- examen écrit de 1h30, seul document autorisé : 1 feuille A4 manuscrite recto-verso (50%)

Support de cours, bibliographie

polycopié

Moyens

- Equipe d'enseignants
- Poly de cours
- Supports de TD/TPs
- Sujets de projets
- quelques vidéos-résumés pour certains chapitres.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables de:

- pour un système ou un phénomène donné, proposer un modèle adéquat en termes de variables descriptives, échelles de temps/espace, type (déterministe/stochastique, continu/discret, etc) au regard des objectifs visés
- mettre en oeuvre la boucle méthodologique d'analyse et d'évaluation des modèles construits, en prenant en compte les spécificités des systèmes vivants, parmi lesquelles on peut citer une faible standardisation des modèles, des phénomènes extrêmement complexes, des systèmes peu ou partiellement observables, une variabilité très importante.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

3VS1050 – Neurosciences

Responsables : **Christophe Bernard, Emmanuel Odic**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **42**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **25,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Comprendre le fonctionnement du cerveau (et son dysfonctionnement) est l'ultime frontière pour l'Homme. Le but du cours est de vous donner les bases du domaine via une approche ingénieur: (i) les bases moléculaires de la genèse d'un bit d'information par un neurone, (ii) la propagation et le transfert de cette information à d'autres neurones, et (iii) l'intégration des signaux. Ces bases vous permettront de comprendre les bases de la mémoire (iv), et comment ces fonctions sont affectées dans les pathologies (v). Vous verrez que les Neurosciences font appel à toutes les sciences, notamment celles de l'ingénieur généraliste.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun prérequis

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral

Organisation de l'évaluation

Production écrite demandant de réflexion et mobilisation des connaissances du cours

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C9. Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

3VS2010 – Ingénierie des Procédés - Réacteurs, Ecoulement non idéaux, transferts couplés matière-chaleur

Responsables : **Filipa Lopes, Victor Pozzobon**

Département de rattachement : **MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

De nos jours, les réacteurs chimiques sont particulièrement complexes, car ils mettent en jeu des opérations unitaires toujours plus exigeantes (réduction de taille, diminution des volumes morts, intensification des transferts). La caractérisation de plus en plus fine de ces outils est donc un véritable besoin de l'industrie. Pour répondre à ces questions, les ingénieurs disposent de différents outils à la fois expérimentaux et numériques. Les méthodes les plus emblématiques sont : la détermination de Distribution des Temps de Séjour (DTS), pour le volet expérimental, et la mécanique des fluides numérique (ou CFD), pour le volet digital. Sans prétendre faire des étudiants des experts du domaine, cet enseignement a pour objectif de former des cadres sensibilisés aux problématiques associées aux écoulements non idéaux. Ainsi au travers trois grandes séquences, les étudiants exploreront les modèles de réacteurs non idéaux puis apprendront à faire (en TP) et analyser une DTS. Ensuite, ils manipuleront les outils de mécanique des fluides numériques. Enfin, ils les appliqueront à trois grands champs du génie des réacteurs : la turbulence (intensification des transferts), la convection naturelle (dont la maîtrise est un enjeu, en agroalimentaire particulièrement) et les milieux poreux (augmentation des contacts fluide/catalyseur). Ainsi, une fois en entreprise, nos ingénieurs pourront interagir de façon éclairée et pertinente avec les membres experts de leurs futures équipes.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Science des transferts

Plan détaillé du cours (contenu)

Partie 1 : Approche expérimentale des réacteurs réels (Arnaud Buch)

- Modélisation des écoulements monophasiques (réacteurs) - modèles simples / modèles sophistiqués & Distribution des Temps de Séjour DTS (cours TD intégrés 9h)
- Détermination expérimentale de la DTS et application (1 TP de 3h)

Partie 2 : Ecoulements turbulents en réacteurs (Victor Pozzobon)- Modélisation numérique des écoulements turbulents (rappels 1h)

- Applications de la CFD sur des études de cas simulant des réacteurs (cours TD intégrés, 11h)

Partie 3 : Modélisation numérique des écoulements en convection naturelle et en milieu poreux (Denis Flick)

- Cours convection naturelle / Milieu poreux
- Cas d'étude numériques

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement est divisé en trois temps. Tout d'abord, les modèles de réacteurs chimiques sont présentés de manière graduelle (modèles simples, puis plus complexes). La notion de Distribution de Temps de Séjour, essentielle pour l'ingénieur, est ensuite introduite. Elle est d'abord abordée d'un point de vue théorique (cours et TD) puis pratique avec un TP. Dans un second temps, un autre outil de l'ingénieur est abordé, la simulation numérique (au travers du logiciel Comsol selon une modalité cours/TD intégrés). C'est avec cet outil que sont exploré trois grands domaines du génie des réacteurs : la turbulence, la convection naturelle et les milieux poreux.

Organisation de l'évaluation

Contrôle final écrit évaluant les 3 parties de l'enseignement.

Support de cours, bibliographie

Supports pdf des différents cours.

Bibliographie

Distribution des temps de séjour et efficacité des réacteurs chimiques, Techniques de l'ingénieur, J4014, Jean-Léon Houzelot

Chassaing, P. (2000). Mécanique des fluides.

Chassaing, P. (2000). Turbulence en mécanique des fluides.

Moyens

Matériel de TP DTS, salle informatique

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- 1) Choisir les modèles de réacteurs adaptés à une situation
- 2) Proposer une méthode de mise en œuvre d'une DTS expérimentale
- 3) Manipuler un outil de mécanique des fluides numérique (Comsol)
- 4) Analyser les situations de turbulence, convection naturelle et écoulements en milieux poreux

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1

3VS2020 – Ingénierie des Procédés - Optimisation Energétique des Procédés

Responsables : **Hervé Duval, Filipa Lopes**

Département de rattachement : **MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La conversion de ressources (renouvelables ou non) pour la production de biens et de services (y compris énergétiques) ne peut s'inscrire dans une logique de développement durable sans que les procédés mis en œuvre ne soient réfléchis et optimisés énergétiquement. L'enjeu du module est de comprendre les besoins et opportunités de l'optimisation énergétique des procédés, ainsi que d'explorer et d'utiliser les outils dédiés à cette optimisation énergétique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Après une introduction précisant les enjeux de l'optimisation énergétique au sein de l'industrie en général, deux échelles seront explorées : le (bio)procédé (méthanisation, production de carburant) et le site industriel (bioraffinerie).

Dispensés par des intervenants extérieurs directement impliqués dans l'optimisation énergétique au sein de leurs structures industrielles, les cours se dérouleront sous forme de conférences, suivies d'études de cas.

Déroulement, organisation du cours

Le module est organisé en cours magistraux (10 h), pour introduire les connaissances et outils méthodologiques, et en TD (10 h) afin d'appliquer les acquis dans le cadre d'études de cas. Il est complété par la visite d'une unité de méthanisation agricole (2 h).

Organisation de l'évaluation

Contrôle en continu, par groupe : 2 études de cas.

Support de cours, bibliographie

- Feidt M. *Thermodynamique et optimisation énergétique des systèmes et procédés*, Tec & Doc Lavoisier, 2016, 480 p.
- Caposciutti, G.; Baccioli, A.; Ferrari, L.; Desideri, U. *Biogas from Anaerobic Digestion: Power Generation or Biomethane Production?*, *Energies*, 2020, 13, 743, 15 p.
- Zoughaib A. Méthode du pincement, *Techniques de l'ingénieur*, 2019, 13 p.

- Trably, E. ; Christophe G. ; Latrille E., Larroche C. *Production de biohydrogène - Voie fermentaire sombre*, Techniques de l'ingénieur, 2018, 32 p.
- Escudie R. ; Cresson R. *Méthanisation de la biomasse*, Techniques de l'ingénieur, 2017, 23 p.
- Ptasinski, K.J. *Efficiency of biomass energy: An exergy approach to biofuels, power, and biorefineries*, John Wiley & Sons, 2015, 784 p.

Moyens

L'équipe enseignante est exclusivement composée d'experts issus de l'industrie, travaillant au quotidien sur les questions de l'optimisation énergétique des procédés :

- EDF,
- Air Liquide,
- IFPEN,
- Groupe Roquette.

Les logiciels sous licence seront mis à disposition des élèves par les industriels.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capables de :

- Comprendre les enjeux de la maîtrise de la consommation énergétique des industries,
- D'utiliser des outils d'optimisation énergétique des unités de production industrielles.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

3VS2030 – Ingénierie des Procédés - Transferts couplés Matière et Chaleur (TCMC)

Responsables : **Patrick Perre, Filipa Lopes**

Département de rattachement : **MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **24**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les transferts couplés de chaleur et de masse interviennent dans de nombreuses configurations, tant dans la nature (climat, système sol-plante-atmosphère) que dans les domaines des ingénieurs (thermique du bâtiment, climatisation, procédés industriels...).

Selon l'état physique de l'eau, les transferts de matières interviennent selon différents mécanismes : diffusion de vapeur et d'eau liée, migration capillaire, loi de Darcy... Par ailleurs, lors des trois étapes précédemment mentionnées, des changements d'état se produisent, qui induisent des transferts de chaleur. Pour comprendre les transferts, retour vers l'équilibre, il faut d'abord commencer par comprendre les équilibres, qui seront étudiés en détail, à commencer par les notions d'air humide et de pression capillaire.

La simulation des variations hydriques de la biomasse nécessite donc une modélisation faisant intervenir un couplage entre transfert de matière et de chaleur.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- 1. Rappel sur les notions d'équilibre
- Diagramme de phases de l'eau (corps pur)
- L'air humide
- L'eau capillaire
- Équilibre hygroscopique
- 2. Configurations hors équilibre
- Transferts dans un milieu homogène
- Bilan de conservation
- Transferts dans un milieu poreux
- 3. Transferts couplés
- Température humide
- Description et analyse du séchage convectif

Déroulement, organisation du cours

- Le module est réalisé sous forme de cours magistraux (10,5 h). À partir des fondamentaux enseignés, de nombreuses applications concrètes (du quotidien) sont étudiées pour faire émerger des modèles permettant de simuler la dynamique des transferts couplés.

Organisation de l'évaluation

- Contrôle individuel, sur table : 1,5 h

Support de cours, bibliographie

- R Byron Bird, Warren E Stewart, and Edwin N Lightfoot. *Transport phenomena*. New York, 1960.
- A. Houberechts. *La thermodynamique technique, tables et diagrammes thermodynamiques*. Bruxelles, 4ème édition, 1989.
- F.P. Incropera and D.P. DeWitt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. New York, 1990.
- R. Keey. *Introduction to Industrial Drying Operations*. Pergamon Press, 1978.
- O Krischer and K Kröll. *Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik*. Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1956.
- P. Perré. *Le séchage du bois, dans Le bois, matériau d'ingénierie*, p. 201-287. ARBOLOR, 1994.
- P. Perré, editor. *Fundamentals of Wood Drying*. European COST and ARBOLOR, 2007.
- E. Sanchez-Palencia and A. Zaoui. Homogenization techniques for composite media. In *Homogenization techniques for composite media*, volume 272, 1987.
- D.A. Van Meel. *Adiabatic convection batch drying with recirculation of air*. Chemical Engineering Science, 9(1) :36-44, 1958.
- S. Whitaker. Simultaneous heat, mass, and momentum transfer in porous media: a theory of drying. In *Advances in heat transfer*, volume 13, pages 119-203. Elsevier, 1977.

Moyens

Équipe enseignante : Patrick PERRÉ / Julien COLIN

Outils logiciels : R, Excel

Supports bibliographique, Abaques

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de cet enseignement, les élèves seront capables de :

- Comprendre les équilibres, dans l'air ou dans un milieu poreux,
 - Identifier les différents modes de transfert de matière (diffusion / convection) à l'œuvre dans une configuration donnée et les éventuels couplages entre transferts de matière et thermique,
 - Simplifier un problème en apparence compliqué, où plusieurs phénomènes de transfert coexistent, en ne retenant que les modes de transfert significatifs (qui ont un impact),
 - Traduire les phénomènes en équations en utilisant les bilans fondamentaux, de matière et de chaleur.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1, C2

3VS2040 – Ingénierie des Procédés - contrôle commande

Responsables : **Filipa Lopes, Sihem Tebbani**

Département de rattachement : **MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les biotechnologies et plus particulièrement l'étude de bioprocédés sont au cœur des préoccupations actuelles avec les exigences environnementales et écologiques dans le cadre du développement durable. Les applications de bioprocédés sont très variées : la dépollution, les biocarburants, les cosmétiques, l'alimentation, ...

L'un des objectifs majeurs lors de la conception et conduite d'un bioprocédé est d'assurer son fonctionnement optimal, à savoir la maximisation de son rendement tout en minimisant les coûts.

Ce cours a pour objectif d'acquérir les compétences de base pour comprendre, analyser et concevoir les structures de supervision et de conduite de bioprocédés, et plus spécifiquement les systèmes de culture de microorganismes dans des bioréacteurs.

Les concepts présentés sont généraux et pourront être transposés à la conduite de procédés chimiques.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Il n'y a aucun prérequis spécifique.

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours est constitué de trois parties.

Dans un premier temps, la modélisation d'une culture en bioréacteur est détaillée pour aboutir à des modèles mathématiques aptes à décrire le comportement macroscopique du bioprocédé.

La deuxième partie s'attachera à présenter la stratégie de conception de capteur logiciel afin de reconstruire les variables biologiques non disponibles en ligne. Ces capteurs permettront par ailleurs d'assurer la surveillance (ou monitoring) du système.

Enfin, la troisième partie du cours s'appuiera sur les concepts présentés lors des deux parties précédentes afin de concevoir des lois de commandes performantes permettant de maintenir le système dans un point de fonctionnement optimal.

Les cours seront illustrés par des applications concrètes de culture de microorganismes (bactéries, microalgues et levures) en bioréacteurs. Ces exemples seront un fil conducteur tout le long du cours (modélisation, estimation, optimisation et commande).

Modélisation macroscopique mathématique : La modélisation macroscopique mathématique du bioprocédé est formulée selon un formalisme qui sera utilisé tout au long du cours. Cette modélisation concernera le cas de bioréacteurs (1h30 CM)

- Observation/monitoring (capteurs logiciels). (1h30 CM).
- TD : modélisation et estimation de bioprocédé. (1h30)
- Conditions optimales de fonctionnement : Détermination des conditions optimales de fonctionnement, soit expérimentalement ou numériquement. Les concepts généraux de l'optimisation sont présentés. (1h30 CM)

- Commande de bioprocédés : Les méthodes de commande les plus rencontrées pour les bioprocédés seront présentées, en partant de méthodes classiques (PID par exemple) vers des techniques avancées adaptées pour les systèmes complexes, non linéaires et incertains. (3h CM)
- TD : estimation et commande de bioprocédé. (3h)

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement est composé de cours magistraux suivi de TD.

Les TD seront réalisés avec pour support des logiciels numériques, sur des exemples concrets de bioprocédés avec des applications environnementales.

Organisation de l'évaluation

Evaluation de type projet (en binôme).

Support de cours, bibliographie

- Support utilisé en cours (transparents).
 - Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, éditeurs Ch. Larroche, M. Sanroma'n, G. Du, A. Pandey. Elsevier, 2017.
 - On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors, G. Bastin, D. Dochain, Elsevier, 1990.
 - Automatic Control of Bioprocesses, éditeur D. Dochain. Wiley-ISTE, 2008. Disponible également en Français.
- CO2 Biofixation by Microalgae: Modelling, estimation and Control, S. Tebbani, F. Lopes, R. Filali, D. Dumur, D. Pareau, Wiley-ISTE, 2014. Disponible également en Français.
- Le chémostat, J. Harmand, C. Lobry, A. Rapaport, T. Sari. Wiley-ISTE, 2017.
- Monitoring and Control of Fermenters, G. Montague, IChemE, 1997.
- Process Dynamics and Control, D.E. Seborg, T.F. Edgar, D.A. Mellichamp, John Wiley, 2nd edition, 2004.

Moyens

- Equipe enseignante : Sihem Tebbani, Didier Dumur.
- Taille des TD : 35
- Outils logiciels : Matlab.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Analyser le fonctionnement d'un bioprocédé, de modéliser son comportement de façon macroscopique et de proposer des solutions pour améliorer ses performances et son rendement
- Savoir proposer et concevoir des capteurs logiciels pour la surveillance d'un bioprocédé (monitoring) en tenant compte de critères techniques et économiques (faisabilité, précision des mesures et coûts associés)
- Comprendre et analyser les lois de commande existantes implantées pour la conduite d'un bioprocédé
- Savoir proposer et concevoir des lois de commande pour obtenir un fonctionnement optimal du bioprocédé, pour différentes applications (alimentaire, biochimie, environnement, production de produits pharmaceutiques, culture de cellules animales...)
- Transposer la démarche à la supervision et commande de procédés chimiques.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques (C1)
- Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers (C2)

3VS2050 – Ingénierie des Bioprocédés - pré-traitement de la biomasse

Responsables : **Filipa Lopes, Julien Colin**

Département de rattachement : **MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **10**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **6,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La biomasse lignocellulosique présente un potentiel à exploiter pour la production de matériaux, ainsi que le biocarburant et molécules biosourcées de seconde génération. En effet, il s'agit d'une ressource supplémentaire par rapport à la biomasse de première génération et présente une grande diversité de molécules d'intérêt. Cependant, son exploitation industrielle est contrariée par son caractère récalcitrant vis-à-vis des procédés de fractionnement standards.

La mise en œuvre de prétraitements est donc nécessaire pour l'exploitation industrielle de la biomasse lignocellulosique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Après avoir présenté les propriétés de la biomasse lignocellulosique, plusieurs procédés de prétraitement seront détaillés :

- Séchage,
- Torréfaction,
- Broyage,
- Hydrolyse enzymatique,
- Hydrolyses chimiques (alcaline, acide, solvololyse).

Déroulement, organisation du cours

Le module est organisé en cours magistraux (6 h).

Organisation de l'évaluation

Le module est évalué par un QCM en cours en fin de séance.

Support de cours, bibliographie

- Pang S. ; Bhattacharya S. ; Yan J. *Drying of biomass, biosolids, and coal for efficient energy supply and environmental benefits*, CRC Press, 2019, 200 p.

- Bergman P.C.A. ; Boersma A.R. ; Zwart R.W.R. ; Kiel J.H.A. *Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations*, Biocaol, 2005, 72 p.
- Mujumdar A.S. *Handbook of industrial drying*, 3rd Edition, CRC Press, 2006, 1312 p.
- Chen H. ; Wang, L. *Technologies for biochemical conversion of biomass*, Academic Press, 2016, 284 p.
- Perré P. *Le séchage du bois*, dans *Le bois, matériau d'ingénierie*, ARBOLOR, 1994. pp. 201-287
- Stickel J.J. ; Elander R.T. ; Mcmillan J.D. ; Brunecky R. *Enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass*, dans *Bioprocessing of renewable resources to commodity bioproducts*, John Wiley & Sons, 2014, pp. 77-103

Moyens

Équipe enseignante : Julien COLIN et Pedro AUGUSTO

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capables de :

- Dresser un panorama des procédés de prétraitement de la biomasse lignocellulosique,
- Comprendre les mécanismes mis en œuvre pour chaque prétraitement.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

3VS2060 – Ingénierie des Bioprocédés - Biotransformation

Responsables : **Filipa Lopes**

Département de rattachement : **MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **68**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **48,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les biotransformations visent la production de biomasse ou de biomolécules d'intérêt par voie microbiologique. S'appuyant sur la mise en œuvre de micro-organismes naturels ou génétiquement modifiés, elles représentent un enjeu économique fort au cœur des biotechnologies industrielles, qui s'accompagne d'une prise en compte accrue de la durabilité des procédés. Les applications couvrent des domaines matures avec un potentiel d'emplois conséquent, tels que les industries agro-alimentaires (aliments fermentés, produits alimentaires intermédiaires...), l'industrie chimique (biosolvants, tensio-actifs, enzymes), les industries pharmaceutique et cosmétique (antibiotiques, protéines recombinantes, biopolymères...), mais aussi des domaines à fort potentiel bien que plus émergents (chimie renouvelable, bioénergies, biomatériaux...).

Au cœur de la mention « Environnement et Production Durable », cet enseignement a pour objectif de former des cadres capables de (1) prendre en compte les contraintes biologiques liées à l'utilisation des microorganismes afin de maîtriser la production de biomasse, de bioénergies ou de biomolécules d'intérêt pour les industries chimiques, pharmaceutiques ou agro-alimentaires ; (2) mettre en œuvre de façon raisonnée des procédés biotechnologiques et dimensionner des bioréacteurs prenant en compte des objectifs de qualité et de performance économique ; (3) travailler à l'interface de plusieurs champs disciplinaires (microbiologie, génie des procédés, automatique) afin d'élaborer des bioproduits dans différents les domaines d'application. Le cours s'appuiera sur de nombreux cas concrets, des simulations sur des logiciels dédiés, des illustrations de filières importantes de biotransformation et sera concrétisé lors de la semaine d'immersion en bioraffinerie.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Science des Transferts (électif 1A), Ingénierie des procédés au service du développement durable (électif 2A, souhaitable).

Plan détaillé du cours (contenu)

- Cinétiques des transformations microbiennes
- Conduite des bioprocédés
- Dimensionnement des bioréacteurs
- Scale-up des bioprocédés
- Simulations de bioprocédés
- Filières de biotransformation : 1) Fermentations en milieu solide, 2) Biocarburants, 3) Acide organiques biosourcés, 4) Polymères biosourcés, 5) Microalgues.

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement est composé de cours magistraux permettant d'exposer les concepts, systématiquement couplés à des TD afin de permettre leur mise en œuvre sur des exemples d'application industriels. Deux séquences de simulation sur des logiciels pédagogiques dédiés sont également proposées pour favoriser l'intégration de ces concepts. Enfin, des conférences permettant d'illustrer différentes filières de biotransformation sont proposées, pour certaines par des professionnels de l'industrie.

Organisation de l'évaluation

Contrôle final écrit.

Support de cours, bibliographie

Ouvrages :

- El Mansi E.M.T., Nielsen J., Mousdale D., Allman T., Carlson R. (2019). Fermentation microbiology and Biotechnology (4th Ed.). CRC Press (Boca Raton, FL).
- Mc Neil B., Harvey L.M. (1990). Fermentation: A practical approach. IRL Press (Oxford, England).
- Rehm H.J. & Reed G. (1995-2001). Biotechnology, a multi-volume comprehensive treatise. Vol 1: Biological fundamentals; Vol 3: Bioprocessing; Vol 4: Measuring, modelling and control; Vol 6: Products of primary metabolism; Vol 7: Products of secondary metabolism. VCH (Weinheim, Allemagne).

Supports des différents cours.

Moyens

Equipe enseignante : Catherine Béal (Pr, AgroParisTech), Sophie Landaud (Pr, AgroParisTech), Claire Saulou-Bérion (MCF, AgroParisTech), Julien Colin (MCF, Centrale Supélec), Behnam Taidi (Pr, CentraleSupélec), Filipa Lopes (Pr Centrale Supélec), intervenants de l'industrie.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Combiner les différentes étapes nécessaires à la mise en œuvre d'une biotransformation,
- Estimer la croissance microbienne et la production de biomolécules,
- Proposer un mode de conduite de bioprocédé (batch, continu, fed-batch) pour une application donnée,
- Ecrire des bilans matière pour dimensionner des procédés biotechnologiques,
- Dimensionner un bioréacteur à grande échelle en prenant en compte les contraintes, biologiques et technologiques des transformations microbiennes.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1, C2

3VS2070 – Ingénierie des Bioprocédés - Procédés de séparation/purification

Responsables : **Filipa Lopes, Julien Lemaire**

Département de rattachement : **MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le « Downstream Processing » appliqué aux biotechnologies industrielles est définie comme « l'ensemble des opérations unitaires visant à extraire et purifier des biomolécules issues du fractionnement ou de la bioconversion de matières renouvelables ».

C'est une étape essentielle dans les bioraffineries végétales qui visent à substituer les ressources fossiles et à développer de nouvelles productions plus sobres et écologiques. En effet, c'est généralement la plus coûteuse et la plus impactante sur l'environnement en raison du nombre d'opération nécessaire pour obtenir le(s) produit(s) fini(s).

L'objectif général de cet enseignement est de former des cadres capables de définir des stratégies de séparation innovantes, compétitives et plus respectueuse de l'environnement en choisissant et combinant astucieusement des technologies modernes ou plus conventionnelles.

Après la présentation d'un panorama assez large des techniques usuelles, un guide de choix raisonné sera proposé ainsi que des cours pour apprendre à optimiser et pré-dimensionner certains procédés incontournables en bioraffinerie comme la filtration membranaire, l'électrodialyse, l'échange d'ions, l'adsorption, l'absorption gaz-liquide, l'extraction liquide-liquide, la distillation ou la chromatographie préparative.

Les concepts abordés dans ce cours sont essentiels et complémentaires aux autres enseignements de la mention « Environnement et Production Durable ». L'intérêt de ce cours sera en particulier illustré lors de la semaine d'immersion en bioraffinerie.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Science des Transferts (électif 1A), Génie des procédés (électif 2A)

Plan détaillé du cours (contenu)

Plan détaillé du cours : "Panorama des techniques séparatives en biotechnologie" (3h), "Comparaison et guide de choix raisonné, éco-conception des procédés" (3h), "Etude de cas, soutenance des projets en groupe et discussion" (3h), "Focus sur les procédés conventionnels" (3h), "Focus sur les procédés membranaires" (3h), "Focus sur les procédés chromatographiques" (3h)

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement est composé de cours magistraux où sont exposés les principes généraux, illustrés avec des exemples et des applications industrielles. Des TD sont associés à certains cours afin d'apprendre à savoir réaliser les applications numériques fondamentales.

En parallèle, les élèves réunis en équipe (de 4 à 5 élèves en fonction de l'effectif total), travailleront sur un projet d'étude bibliographique autour d'une étude de cas afin d'appliquer les enseignements de ce cours et prendre du recul. Il s'agira de proposer une ou plusieurs stratégies de séparation dans le cadre de la production d'une

molécule biosourcée (issue de coproduits végétaux ou obtenues par biotechnologie). Le travail sera présenté en classe entière (15 min de présentation suivi de 5 à 10 min de discussion) lors du dernier créneau de cours.

Organisation de l'évaluation

Session 1 : Examen écrit de type QCM (60%), Présentation orale du projet (40% - note collective et individuelle)
Session 2 : Examen écrit de type QCM (75%), Présentation orale du projet (25% - note reportée de la session 1)

Support de cours, bibliographie

Support pdf des différents cours

Techniques de l'ingénieur :

- 1- C. CHIRAT, Bioraffineries lignocellulosiques : Extraction et valorisation des hémicelluloses, RE279, juillet 2019.
- 2- F. BROUST et al., Biocarburants de seconde génération et bioraffinerie, RE110, février 2013.
- 3- L.-M. SUN et al., Adsorption : Procédés et applications, J2731, décembre 2015.
- 4- B. VEYNACHTER et P. POTTIER, Centrifugation et décantation, F2730, mars 2007.
- 5- F. PUEL et al., Cristallisation : Aspects théoriques, J2710, juin 2005.
- 6- F. DE DARDEL, Échange d'ions : Applications, J2785, juin 2016.
- 7- F. CHEMAT et al., Les six principes de l'éco-extraction du végétal, J4922, novembre 2018.
- 8- H. ROUX DE BALMANN et E. CASADEMONT, Électrodialyse, J2840, septembre 2006.
- 9- M. DECLOUX et B. RÉMOND, Évaporation, Techniques de l'Ingénieur, F3003, juin 2009.
- 10- G. GÉSAN-GUIZIOU, Filtration membranaire : Applications en agroalimentaire, J2795, décembre 2007.
- 11- P. AIMAR et G. DAUFIN, Séparations par membrane dans l'industrie alimentaire, F3250, décembre 2004.

Moyens

Equipe enseignante : Julien Lemaire (Dép. Procédés), Cours magistraux avec TD + Apprentissage par projet (étude de cas à traiter par groupe de 4 ou 5 élèves)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Identifier les principales techniques séparatives utilisées en biotechnologie, Identifier leurs avantages et leurs inconvénients, Appréhender les problématiques de couplage des procédés de séparation, Savoir choisir et combiner les techniques les plus adaptées, Savoir prendre en compte les contraintes techniques, économiques et environnementales, Savoir faire des bilans de matière pour pré-dimensionner certains procédés

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1
- C2
- C3
- C7
- C8

3VS2110 – Ingénierie de l'environnement - traitement de l'eau

Responsables : **Filipa Lopes, Cristian-Felipe Puentes Mancipe**

Département de rattachement : **MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **83**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **50,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'eau est une ressource naturelle indispensable au développement de la vie. Son importance dans l'économie et sa distribution inégale sur Terre font de sa gestion et préservation un enjeu géopolitique majeur. Les activités humaines et industrielles ont perturbé les régimes des eaux et leurs fonctions naturelles. Elles sont également à l'origine de la pollution des ressources en eau, qui peut être de nature biologique ou chimique. Différentes stratégies ont été développées pour contrôler cette pollution et réduire ainsi son impact sur l'environnement.

Cet enseignement vise à fournir les connaissances essentielles sur la ressource en eau et sur les procédés de potabilisation et de traitement des eaux résiduaires, deux stratégies de dépollution assez matures qui interviennent dans le cycle domestique de l'eau avant sa restitution à la nature. Il vise également à maîtriser l'ensemble des opérations qui permettent de traiter de façon prévisionnelle le comportement des milieux liquides complexes, en relation avec leur implication dans le cas des procédés humides (wet-processes) présents dans un grand nombre de secteurs industriels.

Ces notions permettront aux futurs ingénieurs de mieux saisir la complexité et les enjeux d'une gestion maîtrisée et efficace de l'approvisionnement d'eau dans les sociétés du XXIème siècle.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Conseillés : Ingénierie des procédés : application à l'environnement et aux biofabrications (ST5-cours spécifique 2SC5210 ou SG8-électif 2A-2EL2040)

Plan détaillé du cours (contenu)

- *Conférence introductive* : Géopolitique de l'eau
- *Conférence introductive* : Cycle de l'eau, évaluation de la ressource naturelle
- Modélisation de la ressource naturelle
- Physicochimie de l'eau : complexation, solubilisation et insolubilisation sélective en solution aqueuse
- Potabilisation de l'eau

- Volet sanitaire de l'approvisionnement en eau potable
- Écologie microbienne des procédés de traitement des effluents
- Traitement des eaux résiduaires urbaines

- Traitement des eaux résiduaires industrielles
- Management de projets de traitement d'eau

- Visite de station de captage et potabilisation ou de traitement d'effluents

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement est composé pour l'essentiel de cours magistraux avec quelques séances de TD permettant d'approfondir sur des aspects concrets (solubilisation/insolubilisation et complexation en phase aqueuse, écoulements d'eau dans la nature et procédés de traitement des eaux résiduaires urbaines).

Afin de visualiser le niveau de complexité et de maturité des procédés d'épuration d'eau, les élèves auront l'occasion de visiter un site de captage et de potabilisation et/ou de traitement des effluents domestiques en région parisienne.

Organisation de l'évaluation

TD noté (30%) ; analyse et restitution d'une étude de cas (70%)

Support de cours, bibliographie

Présentation de cours des intervenants.

Ouvrages :

- BREZONIK P. L. and ARNOLD W. A., Water Chemistry: An Introduction to the Chemistry of Natural and Engineered Aquatic Systems, Oxford University Press, 2011

Techniques de l'ingénieur :

- BOEGLIN J.C., Traitement biologique des eaux résiduaires, J3942 V1, Décembre 1998.
- BOEGLIN J.C., Traitements et dispositions finales de boues résiduaires, J3944 V1, Septembre 2000.
- GAÏD A., Traitement des eaux résiduaires, C5220 V1, Février 2008.
- SPERANDIO M., HERAN M., GUILLOT S., Modélisation biologique des procédés biologiques de traitement des eaux, W6500 V1, Août 2007

Moyens

- Equipe enseignante : les intervenants sont des spécialistes du domaine du traitement d'eau et sont issus de l'industrie ou de l'académie.
- Outils logiciels : Matlab pour TD modélisation de la ressource, Logiciel West pour TD traitement des eaux résiduaires.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Prévoir le comportement d'un milieu donné pour un objectif fixé ou de concevoir de nouveaux procédés en lien avec la dépollution d'effluents aqueux ou le recyclage de déchets.
- Modéliser l'écoulement d'une ressource d'eau dans la nature.
- Identifier et décrire les étapes du traitement de potabilisation d'eau.
- Comprendre et simuler certains procédés de traitement d'eaux résiduaires urbaines en station d'épuration.
- Acquérir des notions de base sur les technologies de traitement des eaux industrielles.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.1, jalon 3 --> évaluation à travers une étude de cas (rapport écrit et soutenance orale)
- C2.3, jalon 3 --> évaluation à travers une étude de cas (rapport écrit et soutenance orale)
- C7.1, jalon 3 --> évaluation à travers une étude de cas (soutenance orale)

3VS2120 – Ingénierie de l'environnement - Air et traitement des effluents gazeux.

Responsables : **Cristian-Felipe Puentes Mancipe, Filipa Lopes**

Département de rattachement : **MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **23**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **14,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les émissions gazeuses générées par les activités humaines sont à l'origine de divers polluants pouvant affecter la santé humaine et de l'environnement. Le contrôle et la réduction des ces émissions font l'objet de traités internationaux à l'échelle planétaire.

L'objectif de cet enseignement est de sensibiliser les élèves aux problématiques environnementales liées aux gaz. Deux grands sujets sont abordés : d'une part la pollution et la qualité de l'air, et d'autre part les procédés de traitement d'effluents gazeux industriels.

Ces connaissances seront indispensables aux futurs ingénieurs impliqués par exemple dans le contrôle de la pollution de l'air ou dans le traitement d'émissions gazeuses dans des secteurs comme l'environnement et les biotechnologies. Ils pourront exercer un rôle actif en vue de l'optimisation des procédés matures et du développement des technologies émergentes.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Conseillés : Ingénierie des procédés : application à l'environnement et aux productions durables (ST5-cour spécifique 2SC5210 ou SG8-électif 2A-2EL2040)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Pollution et enjeux de la qualité d'air : outils de surveillance.
- Analyse des procédés de traitement d'effluents gazeux.
- Focus on physical and chemical absorption (applications and numerical simulation).

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement est composé de cours magistraux et de séances de TP numérique pour illustrer quelques procédés de traitement de gaz.

Organisation de l'évaluation

Etude de cas de simulation numérique avec un logiciel commercial (100%)

Support de cours, bibliographie

Présentations de cours.

Techniques de l'ingénieur :

- LE CLOIREC P., Procédés de dépollution des émissions gazeuses industrielles, J3921 V2, Février 2016
- LE CLOIREC P., Introduction aux traitements de l'air, G1700 V3, Février 2016

Moyens

- Equipe enseignante : les intervenants sont des spécialistes de la surveillance de la qualité de l'air et du traitement d'effluents gazeux.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Comprendre la notion de qualité d'air et les enjeux environnementaux associés.
- Identifier et décrire les traitements d'effluents gazeux industriels par voie physique, chimique et biologique.
- Simuler des procédés de traitement de gaz (e.g. absorption physique et chimique) pour différentes applications (e.g. captage de CO₂, séchage de gaz naturel) via un logiciel commercial .

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.1, jalon 2 --> évaluation à travers une étude de cas de simulation numérique
- C2.3, jalon 2 --> évaluation à travers une étude de cas de simulation numérique

3VS2130 – Ingénierie de l'environnement - traitement des déchets

Responsables : **Filipa Lopes, Cristian-Felipe Puentes Mancipe**

Département de rattachement : **MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Nous produisons en permanence une multitude de déchets, résidus destinés à l'abandon, souvent encombrants et dans certains cas dangereux. Une bonne gestion de ces résidus s'avère indispensable pour protéger la santé humaine et maîtriser les impacts environnementaux. Conséquence problématique de l'urbanisation et l'industrialisation, les déchets représentent aussi une opportunité de transition vers une économie circulaire lorsque ceux-ci sont utilisés comme ressources par valorisation, recyclage ou réemploi. L'objectif de cet enseignement est de dresser un panorama général sur les déchets, la réglementation associée à sa gestion et les procédés de traitement. Un focus sera fait sur deux filières classiques avec des tonnages importants (incinération, enfouissement) puis sur une filière avec des tonnages en évolution en lien avec la biotechnologie industrielle (compostage, méthanisation). Ces éléments permettront aux futurs ingénieurs d'identifier les possibilités de développement et d'innovation dans ce domaine, aussi bien dans le secteur public que pour les opérateurs privés.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Conseillés : Ingénierie des procédés : application à l'environnement et aux productions durables (ST5-cour spécifique 2SC5210 ou SG8-électif 2A-2EL2040)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction sur les déchets : définition, nature, volume, législation européenne.
- Modes de gestion des déchets (filière de collecte et procédés de traitements) : hiérarchie, lien avec l'économie circulaire et avec dimension sociale (réemploi, prévention).
- Analyse de 2 filières de traitement classique (tonnage important) : incinération et enfouissement.
- Analyse de 2 filières de traitement biologique (technologies émergentes avec tonnage traité en évolution) : compostage et méthanisation.
- Visite d'un centre de traitement de déchets.

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement est composé pour l'essentiel de cours magistraux. Il est complété par une visite technique en région parisienne qui permettra de mieux appréhender les tonnages de traitement ainsi que l'organisation et complexité des procédés et des installations.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit type QCM (25%) ; analyse et restitution d'une étude de cas (75%)

Support de cours, bibliographie

Présentation de cours des intervenants.

Techniques de l'ingénieur :

- NAVARRO A., Approche systémique des déchets, Techniques de l'Ingénieur, G2000 V2, Mars 2016
- BAYARD R., GOURDON R., Traitement biologique des déchets, Techniques de l'Ingénieur, G2060 v2, Janvier 2010

Moyens

- Equipe enseignante : Les intervenants sont des experts académiques ou industriels de la gestion et du traitement des déchets

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- Décrire la notion de déchets et les grands principes de la réglementation européenne pour leur classement et gestion.
- Identifier les modes de traitement de déchets et leur hiérarchie.
- Comprendre les principes du traitement des déchets par enfouissement et incinération.
- Acquérir des notions de base sur les traitements biologiques de compostage et méthanisation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.1, jalon 3 --> évaluation à travers une étude de cas (rapport écrit et soutenance orale)
- C2.3, jalon 3 --> évaluation à travers une étude de cas (rapport écrit et soutenance orale)
- C7.1, jalon 3 --> évaluation à travers une étude de cas (soutenance orale)

3VS2140 – Economie circulaire des Procédés industriels - Eco-conception/Analyse de cycle de vie

Responsables : Yann LEROY, Filipa Lopes

Département de rattachement : MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 30

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 18,00

Présentation, objectifs généraux du cours

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est une méthode incontournable de comptabilité des impacts environnementaux générés par un système (produit, procédé, services). Elle se définit par la caractérisation et la quantification des flux de matières et d'énergie entrants et sortants du système, et des impacts environnementaux potentiels sur l'ensemble de son cycle de vie. Cette approche standardisée se caractérise par une évaluation :

- quantifiée des flux et des impacts environnementaux,
- multicritère intégrant différents impacts et/ou dommages environnementaux (contribution au réchauffement climatique, consommation de ressources biotiques et abiotiques, eutrophisation, contribution à la dégradation de la couche d'ozone...)

- sur l'ensemble du cycle de vie considérant l'extraction des matières premières, la production, la distribution, la phase d'usage et les cycles de vie additionnels des consommables et la gestion de fin de vie du système.

L'ACV est aujourd'hui largement déployée et nourrit divers processus tel que l'éco-conception, la communication environnementale (labellisation notamment), les décisions d'investissement ou de choix technologiques, l'orientation et la définition des nouvelles réglementations et normes.

Le cours ACV/Eco-conception vise à introduire les concepts d'analyse de cycle de vie et ses applications. Le cours s'appuiera sur la réalisation d'une analyse de cycle de vie d'un système.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et travaux dirigés par petits groupes

Organisation de l'évaluation

Les cours sera évalué sur la base d'une présentation et d'un rapport de synthèse de l'Analyse de Cycle de Vie réalisée.

Moyens

Le cours alterne cours magistraux et travaux dirigés. Ces derniers porteront sur la réalisation d'une Analyse de Cycle de Vie d'un système en petits groupes d'élèves et ce à l'aide d'un logiciel ACV et des bases de données associées.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Savoir décrire et modéliser le cycle de vie d'un système
- Savoir dimensionner et mettre en œuvre une analyse de cycle de vie selon la norme ISO 14040
- Modéliser et simuler la performance environnementale d'un système à l'aide d'un logiciel d'ACV et des bases de données d'inventaire associées.
- Comprendre les résultats de simulations et formuler des recommandations.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C1.1 Analyser : étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc.

C1.2 Modéliser : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes

C1.3 Résoudre : résoudre un problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C2 Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C2.1 Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

C7 Savoir convaincre

C7.1 Sur le fond : Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

C9 Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales

C9.2 Analyser et anticiper les conséquences possibles des organisations et modèles économiques des structures auxquelles on contribue

3VS2160 – Semaine d'immersion en bioraffinerie

Responsables : **Filipa Lopes, Julien Lemaire**

Département de rattachement : **MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Cette semaine d'immersion en bioraffinerie vise à sensibiliser les élèves aux réalités du terrain en intégrant dans la réflexion les contraintes et enjeux sociétaux, environnementaux, économiques et techniques en liaison avec la problématique du changement d'échelle.

C'est l'occasion d'appliquer une grande partie des connaissances acquises lors du 1er semestre, en particulier de la Mention « Environnement, Production Durable », et plus particulièrement en biotechnologies industrielles.

Les élèves auront l'opportunité de visiter un centre de recherche académique (CEBB), une entreprise de R&D (ARD) et des installations industrielles, dans la bioraffinerie renommée de Bazancourt-Pomacle qui est un modèle d'écologie industrielle et d'économie circulaire. Ce site, composé d'une sucrerie, d'une glucoserie-amidonnerie et d'une des plus grandes distilleries d'Europe, a su développer des synergies exceptionnelles au niveau industriel et territorial. C'est une vitrine pour la promotion de la bioéconomie au niveau mondial.

Cette semaine comprend 3 jours d'activités expérimentales afin d'illustrer les compétences à mettre en œuvre pour développer des nouveaux procédés de transformation de la biomasse : expérimentation et modélisation multi-échelle, analyse et optimisation multicritère, prise en compte de la complexité et de l'incertitude.

L'objectif général de cet enseignement est de former des cadres capables de résoudre des problématiques complexes dans le domaine des biotechnologies industrielles, de la production durable, de l'environnement, et plus généralement de la bioéconomie. En particulier, cette semaine vise à ce que les élèves prennent plus de recul et appréhendent la complexité et l'ensemble des contraintes à considérer dans la gestion d'un projet industriel.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Cours de la mention "Environnement, Production Durable" de SG10 et plus généralement de la dominante SVE en SM9.

Plan détaillé du cours (contenu)

Lundi

9h30-11h : Accueil, présentation du programme, du mode d'évaluation et rappel des consignes de sécurité

11h-12h30 : Présentation de la bioraffinerie et visite du CEBB « Centre Européen de Biotechnologie et de Bioéconomie »

13h30-16h30 : Visite de la Sucrerie Cristal Union

Mardi

9h-16h30 : Travaux pratiques n°1 : TP n°1 avec le groupe pilote

Mercredi

9h-16h30 : Travaux pratiques n°2

Judi

9h-16h30 : Travaux pratiques n°3

Vendredi

9h-12h : Exposés oraux des groupes pilotes

13h30-15h : Visite d'ARD « Agro-Ressources Recherche et Développement » et de leur plateforme de démonstration « Biodémo »
15h-16h30 : Visite de la Distillerie Cristanol

Déroulement, organisation du cours

Activités expérimentales

En fonction du nombre d'élèves, 3 à 5 groupes de 3 à 4 élèves seront formés.

Voici un exemple de sujets proposés, pouvant évoluer d'une année à l'autre :

- « Etude de la production d'éthanol par *Saccharomyces cerevisiae* en bioréacteur de 5 L »
- « Etude d'un procédé innovant de purification des pentoses d'hydrolysat acide d'hémicelluloses par combinaison d'ultrafiltration et d'électrodialyse conventionnelle »
- « Etude du procédé conventionnel de purification/déminéralisation d'hydrolysat acide d'hémicellulose par précipitation chimique puis échange d'ions »
- « Etude d'un procédé de valorisation d'un jus de choucroute par chromatographie à lit mobile simulé »
- « Etude de la valorisation de déchets industriels organiques biosourcés par hydrolyse enzymatique, après un pré-traitement par cuisson acide »
- « Etude d'un procédé de purification de biogaz par absorption gaz-liquide intensifié en contacteurs membranaires »

Chacun des groupes devra choisir un sujet « pilote » qu'ils étudieront de manière approfondie. Il s'agira de compiler les données obtenues par les 2 autres groupes ayant fait ce TP et d'exploiter l'ensemble des résultats. Le 1er jour, chaque groupe commencera par le TP « pilote » choisi. Les 2 jours suivants, ils feront deux autres TP selon la rotation prédéfinie.

Organisation de l'évaluation

La qualité du travail expérimental (soin apporté, autonomie, dynamisme) sera évaluée par les encadrants : note individuelle pour les 3 TP (la moyenne des 3 notes compte pour 25% de la note finale).

Un petit exposé oral des groupes « pilote » aura lieu le vendredi matin, composé de 10 à 15 min de présentation suivies de 5 à 10 min de questions (note en partie individuel et collective qui compte pour 25% de la note finale) .

Enfin un compte-rendu de 15 à 20 pages sur le TP « pilote » sera à rendre une semaine plus tard. Les consignes précises seront données par l'encadrant (note qui compte pour 50% de la note finale).

Moyens

Equipe enseignante

- Julien Lemaire : Maître de Conférences
 - Pedro Augusto: Professeur
 - Rafik Balti: Professeur
 - Fanny Duval : Assistante-ingénieure en techniques séparatives
 - Emilie Michiels : Assistante-ingénieure en biotechnologies
 - Fiona Mateus: Technicienne en biotechnologies
- Moyens techniques du CEBB pour réaliser les activités expérimentales.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- 1) Être sensibilisé aux enjeux de la bioéconomie
- 2) Identifier les stratégies de valorisation de la biomasse, d'optimisation énergétique, d'écologie industrielle et d'économie circulaire
- 3) Savoir résoudre un problème complexe avec diverses contraintes techniques, économiques et environnementales, et plusieurs paramètres à optimiser
- 4) Appréhender les problématiques liées au changement d'échelle
- 5) Savoir coupler approches expérimentales et numériques pour l'aide à la décision (optimisation, dimensionnement, prévisions, ...)
- 6) Identifier les principaux procédés utilisés en bioraffinerie du végétal et en biotechnologies industrielles

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1
- C2
- C3
- C7
- C8
- C9

3VS2500 – Projet VSE ESP

Responsables : **Filipa Lopes**

Département de rattachement : **MENTION ENVIRONNEMENT ET PRODUCTION DURABLES (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

En binôme, les élèves mèneront un projet de mention (volume horaire de 120 h), ayant pour but de réaliser un livrable (logiciel, prototype, étude scientifique) pour un client académique ou industriel dans les domaines des procédés/bioprocédés et de l'environnement. Ces projets peuvent aussi être proposés par les élèves qui portent un projet entrepreneurial.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10, SG11

Prérequis

Prérequis scientifiques suivant le sujet

Déroulement, organisation du cours

Le travail sera conduit en priorité à l'Ecole, mais un accueil partiel chez le partenaire est possible. Les élèves seront encadrés par un tuteur du partenaire et suivis par un tuteur académique de l'Ecole. Les modalités d'accompagnement sont variables (rdv en face à face, rendez-vous téléphonique, échange de mails). Les livrables de ces projets peuvent être par exemple, entre autres, un calcul de dimensionnement d'un procédé, un modèle, un logiciel, une analyse de données, une étude technico-économique.

Organisation de l'évaluation

Soutenance à mi-parcours (début février) et soutenance finale (mi-avril) avec remise d'un rapport et du livrable au client.

Moyens

Moyens informatiques et expérimentaux disponibles à CentraleSupélec

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le projet de mention constitue une expérience de conduite de projet scientifique ou technico-économique dans les domaines des procédés/bioprocédés et de l'environnement. Les compétences scientifiques et techniques mobilisées dans un objectif d'innovation sont complétées par un savoir-être vis-à-vis du partenaire ainsi que par des méthodes de gestion/conduite de projet en équipe.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1, C2, C3, C4, C7, C8, C9

3VS3010 – Technologie en imagerie médicale

Responsables : **Emmanuel Odic**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'imagerie médicale est l'un des piliers de la médecine de soin et de la recherche médicale. L'imagerie par résonance magnétique sera présentée (technique avancée). A l'issue de ce module, les élèves seront capables (i) de comprendre les principes physiques utilisés dans une technique d'imagerie avancée, (ii) de maîtriser les algorithmes de reconstruction tomographique (iii) d'appréhender les enjeux de neuro-imagerie (iv) de comprendre les possibilités offertes par l'imagerie fonctionnelle. Les intervenants sont issus de General Electric Healthcare et du CEA Neurospin.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun prérequis

Organisation de l'évaluation

Examen écrit

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C9. Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

3VS3020 – Traitement d'images

Responsables : Emmanuel Odic, Elisabeth LAHALLE

Département de rattachement : MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 35

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21,00

Présentation, objectifs généraux du cours

Le terme générique d'analyse d'image désigne l'ensemble des opérations suivantes : à partir d'une image numérique, il convient d'extraire les informations pertinentes en regard de l'application concernée, les traiter et les interpréter. La modélisation préalable de l'information, les prétraitements permettant de garantir une bonne qualité d'image, la détection et l'estimation d'attributs de régions ou de points d'intérêt sont les différentes phases de traitement d'images que l'on souhaite détailler en s'appuyant sur des concepts et des méthodes qui ont fait leur preuve. Le but de ce cours est d'exposer les méthodes d'analyse d'images choisies pour leur pertinence ou pour la qualité des résultats obtenus.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- Traitement du signal : convolution, Transformée de Fourier et ses propriétés
- Probabilité et statistiques
- EDP
- Optimisation

Plan détaillé du cours (contenu)

Fondamentaux :

- Introduction

Définitions, problématique

- Caractérisation des images

Histogramme, attributs de région, matrice de cooccurrence,

Représentation fréquentielle,

Filtrage, banc de filtres multiscalaire : pyramides gaussienne, DOG, LOG

- Echantillonnage-interpolation

- Prétraitements

Réhaussement de contraste : pseudo-couleurs, modifications et égalisation d'histogramme, filtrage linéaire,

Réduction de bruit : filtrage linéaire, filtrage d'ordre, filtrage homomorphique, filtrage par équation de diffusion,

Recalage : principe

- Détection de contours (segmentation : approche contours)

Approches locales : Sobel, DOG, LOG, filtre optimal : Canny,

Approche globale : contours actifs (principe)

- Détection d'attributs particuliers

Recherche de forme : transformée de Hough,

Recherche de points singuliers,

Descripteur de Fourier de contour

Morphologie mathématique :

- Concepts de bases - Opérateurs élémentaires

Principes et fondements de la morphologie mathématique. Structures et concepts de base.

Graphes, voisinage, opérateurs sur graphe, opérateur dual, graphe structurant, dilatation et érosion algébriques
Dilatation et érosion morphologiques. Cadre des treillis, morphologie en niveau de gris et en couleur.

- Opérations composées

Notion d'adjonction, composition, ouvertures et fermetures algébriques
Ouvertures et fermetures morphologiques
Composition d'ouvertures et de fermetures

- Filtrage morphologique – analyse granulométrique

Opérateurs connexes, Notion de résidus. Gradient, top-hat, ouvertures par chemins.
Arbre des coupes, arbre binaire de partitions, arbre des formes, filtrage sur les structures hiérarchiques.
Analyse granulométrique

- Topologie discrète

Notion de point simple, amincissements, squelettisation 2D et 3D.
Complexes simpliciaux, noyaux critiques.

- Segmentation par morphologie mathématique

Optimisation discrète et segmentation. Coupures de graphes,
Marches aléatoires, Ligne de partage des eaux.

Déroulement, organisation du cours

Le cours s'organise en deux parties pour présenter :

- Les concepts fondamentaux d'analyse : 3 CM, 3TD
- L'analyse par morphologie mathématique : 8 CM

Les étudiants seront amenés à illustrer les concepts et à mettre en oeuvre les algorithmes à l'aide d'outils de simulation de type Matlab ou python.

Organisation de l'évaluation

- rapport de projet

Support de cours, bibliographie

H. Maître, Le traitement des images, édition Hermes, 2003,
J.-P. Cocquerez et S.Philipp, Analyse d'images: filtrage et segmentation, éd. Masson, 1995,
S. Bres, J.-M. Jolion, F. Lebourgeois, Traitement et analyse des images numériques, éd. Hermes 2003,
L. Najamand H. Talbot (Editors), Mathematical morphology, Wiley-ISTE, 2010

Moyens

salle équipée de PC et logiciel Matlab pour les TD

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Etre capable d'analyser une image numérique
- Etre capable de mettre en œuvre des traitements numériques élémentaires d'images

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant :

- Maîtrisera les traitements élémentaires d'images numériques :
calcul et transformation d'histogramme, filtrage linéaire ou non-linéaire, lissage et détection de contours.
- Sera capable d'analyser le contenu d'une image numérique.
- Aura assimilé des notions plus avancées :
débruitage par EDP, segmentation basée sur les modèles géométriques de l'image (contours),
filtrage non-linéaire et sa formalisation, applications de la théorie des graphes, reconnaissance des formes

3VS3030 – Deep learning et NLP pour le diagnostic

Responsables : **Emmanuel Odic, Arthur Tenenhaus**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **55**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **33,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours couvre les techniques pratiques d'optimisation des réseaux neuronaux profonds. Les étudiants pourront étudier et mettre en œuvre des modèles d'apprentissage avancés sur des données (médicales) complexes, grâce aux techniques et outils suivants :

Bibliothèques Numpy, TensorFlow (Keras)
Techniques d'optimisation, apprentissage par transfert et régularisation
Compréhension des architectures modèles classiques et aperçu de l'état de l'art

En particulier, les étudiants mettront en œuvre des méthodes pour les applications suivantes :

Analyse d'images à travers des réseaux convolutifs profonds ;
analyse du langage par l'apprentissage non supervisé de représentations de mots et de réseaux récurrents et transformateurs ;
d'autres applications telles que les moteurs de recommandation, les modèles générateurs ...

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Ce cours est destiné aux étudiants qui ont déjà étudié le Machine Learning et l'optimisation numérique. Il se compose de nombreuses séances pratiques (ordinateur portable requis).
Les prérequis techniques sont le langage Python (en particulier dans jupyter, les concepts et numpy scikit-learn).

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction au DeeP Learning
- Réseaux neuronaux et rétropropagation
- Intégrations et systèmes de recommandation
- Réseaux neuronaux convolutifs pour la classification des images
- Apprentissage approfondi pour la détection d'objets et la segmentation d'images
- Réseaux neuronaux récurrents et NLP
- Séquence à séquence, attention et mémoire
- Apprentissage approfondi non supervisé et modèles générateurs

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et sessions pratiques

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu au début de certaines séances de pratique, et évaluation finale (session de codage).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les étudiants auront une connaissance théorique et pratique des principales méthodes de Deep Learning. Les étudiants sauront, pour un problème donné, comment identifier la meilleure classe de modèles et comment les mettre en œuvre dans la pratique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1. Analyser, concevoir et construire des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de professions
- C9. Agir en tant que professionnel responsable. Penser et agir de manière éthique.

3VS3040 – Systèmes dynamiques et neurosciences computationnelles

Responsables : **Antoine Chaillet**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **42**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **25,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours constitue une introduction aux outils permettant d'analyser les processus dynamiques impliqués dans le fonctionnement du cerveau. Malgré leur immense complexité, les fonctions cérébrales se basent en effet sur des processus dynamiques élémentaires dont certains peuvent être appréhendés par des outils mathématiques. La maîtrise de ces processus est indispensable pour avancer dans notre compréhension du fonctionnement du cerveau, pour optimiser les instruments de mesure de l'activité cérébrale (imagerie médicale, signaux électrophysiologiques, ...), pour développer des interfaces cerveau-machine, pour mettre au point des architectures de calcul neuro-inspirées, et pour comprendre les mécanismes impliqués dans certaines maladies neurologiques et ainsi progresser dans leur traitement.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

- ST2 : Modélisation
- ST4 : Traitement du signal
- ST5 : Commande des systèmes complexes

Plan détaillé du cours (contenu)

Chapitre 1 : Modèles mathématiques de neurones et des synapses (Sabir Jacquir, CM 3h)

Ce chapitre présente les modèles de neurones les plus utilisés. Il introduit les modèles à conductances au travers du célèbre modèle de Hodgkin-Huxley, et souligne son analogie électronique. Il aborde ensuite des modèles simplifiés tels que les modèles Integrate & Fire ou FitzHug-Nagumo. La simulation numérique de ces modèles est également abordée. Ce chapitre s'intéresse également à la modélisation synaptique et l'exploration de la plasticité synaptique. Il aborde notamment la théorie Hebbienne des mécanismes de plasticité et la STDP qui prend en compte la temporalité à laquelle les potentiels d'actions sont reçus par le neurone, et propose des modèles mathématiques associés. Il fait également le lien avec les mécanismes d'apprentissage utilisés en Intelligence Artificielle.

Chapitre 2 : Analyse de modèles neuronaux (Antoine Chaillet, CM 4h30)

Ce chapitre présente des outils mathématiques utilisés dans l'analyse des modèles bidimensionnels. Il présente pour cela différents types de bifurcations pouvant être impliquées dans le changement qualitatif du comportement neuronal et établit un lien entre ces bifurcations et les propriétés computationnelles du neurone : existence ou non d'un seuil d'activation (bistabilité), potentiels d'actions répétés ou isolés, comportement de type résonateur ou intégrateur, etc.

Chapitre 3 : Modèle biophysique de neurone (Alain Destexhe, CM 1h)

Ce chapitre présente un modèle réaliste de neurone en prenant notamment en compte la dynamique de ses dendrites.

Chapitre 4 : Modèles « mean field » de populations neuronales (Alain Destexhe, CM 2h)

Ce quatrième chapitre s'intéresse à la dynamique d'un ensemble de neurones ou d'une structure cérébrale au travers de modèles de type « mean field ». Il montre notamment comment obtenir de tels modèles à partir de décharges neuronales de la population à modéliser.

TP1 : Analyse et simulation d'un modèle « mean field » (Sabir Jacquir, TP 3h)

Ce TP constitue une introduction au programme de simulation Bryan (développé sur Python) pour la simulation de modèles de type « mean field ».

Chapitre 5 : Modèle « neural field » de populations neuronales (Antoine Chaillet, CM 3h)

Ce chapitre s'intéresse à la dynamique d'un ensemble de neurones ou d'une structure cérébrale au travers de modèles inspirés par les travaux de Wilson et Cowan, qui résument l'activité de la population à l'évolution temporelle de son taux de décharges neuronales. Il montre comment prédire le comportement de tels modèles par une analyse de stabilité ou de bifurcations. Il propose également des outils permettant d'identifier de tels modèles à partir de mesures électrophysiologiques expérimentales.

TP2 : Modélisation de la rivalité binoculaire (Antoine Chaillet, TP 3h)

Ce TP utilise un modèle de populations neuronales pour expliquer le phénomène de rivalité binoculaire qui se produit lorsqu'une image différente est présentée à chaque œil. Il prévoit son implémentation sous Matlab-Simulink ainsi que la validation des prévisions théoriques.

Chapitre 6 : Introduction au calcul neuromorphique (Andrew Davison, CM 3h30)

Ce dernier chapitre s'intéresse à la description de calculateurs destinés aux simulateurs de réseaux neuronaux et aux architectures de calcul s'inspirant du fonctionnement du cerveau.

Déroulement, organisation du cours

Le cours est composé de cours magistraux (17h) et de TP de simulation (6h). Bien que des créneaux de TD ne soient pas planifiés, de nombreux exemples et exercices seront présentés durant les cours magistraux, pour lesquels une participation active des élèves est requise.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est faite sur la base d'un examen écrit sans documents (2h) en fin de cours et sur le rapport des deux TP. La pondération envisagée est : 60% sur l'examen écrit, et 20% sur chaque rapport de TP. Toute absence non justifiée en TP conduira à un zéro à la note de TP.

Support de cours, bibliographie

- Dynamical Systems in Neuroscience: The Geometry of Excitability and Bursting, Eugene M. Izhikevich, The MIT Press, 2007
- Nonlinear dynamics and Chaos, by Steven Strogatz, Westview Press, 2001
- Mathematical Foundations of Neuroscience, by G. Bard Ermentrout & D. Terman, Springer, 2010
- Theoretical neuroscience, by P. Dayan & L.F. Abbott, The MIT Press, 2005

Moyens

L'équipe enseignante est constituée de chercheurs et enseignants-chercheurs en neurosciences computationnelles et d'un enseignant-chercheur du département Automatique. Les TP seront effectués sur des postes équipés de Python et Matlab-Simulink.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves auront acquis les bases de neurosciences nécessaires à une interaction avec des professionnels du domaine (neurochirurgiens, experts en neurosciences computationnelles, expérimentateurs). Ils maîtriseront de plus des outils mathématiques permettant de modéliser l'activité d'un neurone ou d'une population neuronale, et de prédire leur comportement dynamique à la fois analytiquement et numériquement. Ils auront en outre été sensibilisés aux opportunités que constituent les neurosciences en termes de recherche, de développement médical ou industriel, et d'entrepreneuriat.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de:

- Maîtriser les bases de neurosciences nécessaires à une interaction avec des professionnels du domaine (neurochirurgiens, experts en neurosciences computationnelles, expérimentateurs)

- Modéliser l'activité d'un neurone ou d'une population neuronale
- Prédire leur comportement dynamique à la fois analytiquement et numériquement.

Ce cours est donc l'occasion pour les étudiants d'approfondir leurs compétences suivantes:

- C1.2: "Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème": Jalon 3

- C1.3: "Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation": Jalon 2A

- C1.5: "Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire"

- C2.2: "Transposer à d'autres champs disciplinaires, généraliser des connaissances"

- C2.3: "Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres".

3VS3050 – Bioinformatique

Responsables : **Pascale Le Gall, Emmanuel Odic**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif est d'acquérir les fondements de la bioinformatique, l'analyse algorithmique des données génétiques (alignement de séquences, reconstruction phylogénétique, etc.), de connaître les principaux algorithmes.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

- Programmation en Python
- Connaissances de base en algorithmique (conception, analyse, complexité)

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction à la Bio-Informatique (séquences génomiques, algorithmique)
2. Recherche exacte de motifs
3. Alignement de séquences biologiques : alignement global, alignement local, alignements multiples
4. Prédiction de structures secondaires d'ARN
5. Analyse de textes avec les arbres de suffixes
6. Ouverture sur la phylogénie

Déroulement, organisation du cours

Alternances de séances de cours et de tds

Organisation de l'évaluation

Examen écrit (1h30) avec documents autorisés

Support de cours, bibliographie

Copies des diapositives, des sujets et corrigés de tds

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers
- C9. Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

3VS3060 – Techniques physiques de traitement

Responsables : **Emmanuel Odic**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **25**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **15,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Cette unité d'enseignement porte sur deux types de traitement physique de pathologies cancéreuses. Le premier traite de la radiothérapie en général et plus spécifiquement de la protonthérapie, aujourd'hui exploitée pour le traitement de patients, en particulier au Centre de Protonthérapie de l'Institut Curie situé sur le campus Orsay Paris-Saclay.

Le second, plus amont, porte sur les technologies mettant en œuvre des plasmas froids. Ce type de technologie est aujourd'hui en cours de tests dans des laboratoires de recherche en partenariat avec des établissements hospitaliers. Il s'agit donc d'un axe prospectif.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

La protonthérapie (8 HPE)

La radiothérapie est une des modalités majeures utilisées dans le traitement du cancer. Les appareils de traitement de radiothérapie conventionnelle, souvent appelés des « Linacs », sont basés sur des accélérateurs d'électrons. Ce parc industriel représente des milliers de dispositifs installés dans la plupart des hôpitaux de la planète. La protonthérapie, dont le principe est d'utiliser des protons, n'a été expérimentée qu'à partir des années 60-70, avec comme avantage une balistique bien supérieure à la radiothérapie conventionnelle mais avec un coût et une complexité qui la rendaient initialement inenvisageable. Son émergence et sa mise au point ont pris plusieurs années. Elle est aujourd'hui utilisée auprès de patientèles encore très spécifiques.

Plasmas froids (7 HPE)

Les plasmas froids sont des gaz partiellement ionisés dans lesquels la température des « lourds » (neutres et ions) demeure proche de l'ambiante alors que les électrons atteignent des énergies (températures) élevées (10-16 eV soit ~ 105 K). Ce type de plasma peut être produit par décharge électrique dans un gaz ou bombardement par un faisceau d'électrons. Par impact direct des électrons énergétiques sur les atomes ou molécules du gaz, sont produites des espèces hautement réactives (ions, espèces excitées, atomes et radicaux dans le cas de dissociation de molécules) dont certaines émettent un rayonnement (UV-visible) par désexcitation radiative spontanée. Ces espèces et leurs produits de recombinaison sont susceptibles d'interagir avec des surfaces solides ou liquides. Ainsi, les plasmas froids ont été largement utilisés pour le traitement de surface dans les domaines de la microélectronique, des polymères ou encore pour le traitement d'eau potable.

Les technologies plasma froid ont fait l'objet de nombreuses recherches au cours des dernières décennies pour des applications biomédicales, notamment la décontamination / stérilisation de surface des matériaux thermosensibles. Plus récemment, un nouveau champ de recherche qualifié de « plasma medicine » a émergé, avec en particulier le traitement de tumeurs cancéreuses.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral et visite

Organisation de l'évaluation

QCM

Rédaction d'un rapport d'analyse critique d'articles scientifiques
Présentation de l'analyse en mode classe inversée

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Protonthérapie

Le cours aura vocation à mieux connaître cette discipline à travers chacune de ses dimensions. La dimension scientifique et technologique notamment l'accélérateur de particules, la dimension historique avec les mécanismes de développements et de maturation de ce « dispositif médical » grand format, enfin l'intégration progressive de cette modalité de soins dans le schéma hospitalier, organisationnel et économique. La proximité et la visite du Centre de Protonthérapie de l'Institut Curie situé sur le campus Orsay Paris-Saclay permettront d'appréhender concrètement plusieurs réalités de ce traitement d'excellence.

Plasmas froids

Le cours a pour but de présenter les bases physiques de cette technologie qui constitue une des pistes innovantes visant à renforcer les moyens actuels de lutte contre les infections nosocomiales et le cancer. Il s'agit également d'une illustration, dans le domaine des dispositifs médicaux, du processus de recherche translationnelle, par essence interdisciplinaire, consistant à appliquer les avancées obtenues au laboratoire afin de réduire le nombre des besoins médicaux non encore satisfaits.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C9. Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

3VS3070 – Biodesign and bio engineering

Responsables : **Emmanuel Odic**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **22**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **14,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Un objectif est tout d'abord de faire prendre conscience aux élèves de la multiplicité des possibles dans le domaine de l'innovation et notamment en Bio-Design. Des exemples réels seront présentés/partagés par les porteurs des projets innovants dans le domaine du Bio-Design / Bio-Engineering appliqués aux organes et de leur régénération / remplacement. La démarche d'innovation sera exposée au travers d'exemples décrivant les contraintes et la logique de développement de ces projets « innovants » / « recherche » et les processus d'innovation et de concrétisation des idées dans des « starts up » du domaine MedTech / BioTech. Les finalités de la boucle de l'innovation dans le domaine médical seront illustrées via des échanges avec les différents acteurs de cette boucle. Enfin, une première approche du processus de financement de l'innovation en France sera présentée.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun prérequis

Déroulement, organisation du cours

Conférences et immersion

Organisation de l'évaluation

Modalités IFSBM

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C9. Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

3VS3110 – Actionneurs pour le remplacement et/ou l'assistance pour des fonction de santé

Responsables : **Maya Hage Hassan**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **55**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **33,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans l'objectif d'assister une fonction motrice d'un patient ou d'une personne âgée, au moyen d'un exosquelette par exemple, un ensemble de chaînes de motorisation coordonnées peut être conçu, dimensionné et implémenté. Durant ce cours plusieurs aspects seront abordés, le démarrage sera par une conférence introductive mutualisée avec le Master 2 ISMH de Paris Saclay sur le contrôle de la motricité, les dispositifs d'assistance et leurs ergonomies.

Nous abordons dans un premier temps des aspects généraux sur les actionneurs électriques dans le cadre d'applications médicales, un exemple de dimensionnement sera abordé dans le cadre d'un travail de TP sous COMSOL.

Par la suite, une introduction sur le concept général d'un exosquelette sera présentée par le partenaire de cet enseignement Wandercraft, une première modélisation simplifiée d'un ensemble actionné et à la fin avoir une vision de l'ensemble et de la commande d'un tel système. Une visite des locaux de Wandercraft est également prévue.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Conférence introductive : Contrôle de la motricité, les dispositifs d'assistance et leurs ergonomies (3h)

Cours actionneurs électriques (6h)

Introduction à la modélisation sous COMSOL (1h30)

Dimensionnement d'un actionneur sous COMSOL (7h30)

Introduction à la modélisation des exosquelettes (8h)

Présentation des aspects systèmes

Présentation des aspects composants

Présentation des aspects énergétique et automatique

Visite sur Site (3h)

Séance de TP : modélisation mécanique et du mouvement sous Matlab/Simulink (3h)

Déroulement, organisation du cours

Cours, Visite, TP

Organisation de l'évaluation

QCM

Note de TP

Moyens

Cours, visite, TP

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2 Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C3 Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

3VS3120 – Prothèses articulaires en chirurgie orthopédique et traumatologie

Responsables : **Emmanuel Odic**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les principaux objectifs du cours sont : Comprendre les objectifs des prothèses de remplacement articulaires, Intégrer les enjeux anatomiques aux principales articulations
Avoir conscience des limites et des complications de ces prothèses

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

Anatomie appliquée aux prothèses du membre inférieur
Les prothèses du membre inférieur
Anatomie appliquée aux prothèses du membre supérieur
Les prothèses du membre supérieur
Anatomie appliquée aux prothèses de la colonne vertébrale
Prothèses discales vertébrales
Les prothèses de reconstruction dans la chirurgie tumorale
Évaluation scientifique de l'efficacité et des complications des prothèses
Perspectives: nouvelles technologies et prothèses

Visite du site du département R&D à CERAVÉR site Roissy
La conception d'une prothèse du côté de l'industriel :
Présentation de la conception d'une prothèse par Ceraver

Visite du site de production de Ceraver à PLAILLY

Workshops

- Implantation d'une prothèse de hanche
- Implantation d'une prothèse de genou

Déroulement, organisation du cours

Conférences et visite

Organisation de l'évaluation

Modalités IFSBM

Moyens

Conférences et visites

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C9. Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

3VS3130 – Construction de tissus et d'organes par bio ingénierie

Responsables : **Emmanuel Odic**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **30**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **18,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Un des champs d'application de la bio-ingénierie concerne les tissus et organes d'organismes vivants. La bio-ingénierie vise alors la conception de systèmes bio-artificiels d'une part et la création de tissus et d'organes fonctionnels d'autre part. Elle ouvre la voie à la médecine régénérative permettant la réparation ou le remplacement d'organes endommagés en s'affranchissant des contraintes du don d'organes et du rejet des greffes. La bio-ingénierie est interdisciplinaire ; elle intègre les sciences de l'ingénierie et de la biologie à la médecine et à l'exercice clinique : ingénierie des cellules souches, développement de matrices et de scaffolds, micropatterning et bioprinting, élaboration de bioréacteurs permettant la maturation des tissus et organes reconstruits.

Ces technologies innovantes sont très rapidement évolutives. Leur développement nécessite de réunir des chercheurs et des ingénieurs de disciplines biologiques et fondamentales (physique et chimie). Le cours est construit sur la base d'un module proposé par l'Ecole doctorale Innovations thérapeutiques faisant intervenir des experts de différents organismes tels que l'Inserm, l'APHP, l'Institut Pasteur, l'INRA, et l'association CellSpace.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun prérequis

Déroulement, organisation du cours

Conférences

Organisation de l'évaluation

Notes de prise de recul

QCM

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C9. Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

3VS3140 – Organisation et management de l'hôpital

Responsables : **Emmanuel Odic**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **34**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **20,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif est de permettre à des personnes qui ont vocation à travailler ou à construire des projets avec les établissements hospitaliers de disposer d'une vision structurée de l'hôpital : les enjeux internes et externes, le cadre et le paysage hospitalier, comprendre les processus, les rôles et responsabilités et les modes de fonctionnement de l'hôpital, par une approche théorique et de mise en situation, percevoir tout ce qui est réalisé et tout ce qu'il est possible de faire dans un hôpital.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun prérequis

Déroulement, organisation du cours

Conférences

Organisation de l'évaluation

Modalités IFSBM

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C9. Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

3VS3150 – Objets connecté en santé

Responsables : **Anthony Kolar**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **20**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Avec l'apparition de l'Internet des Objets, de nouveaux usages et de nouvelles approches pour aborder la vie de tous les jours est né. Ce phénomène touche tous les secteurs de notre société mais certains, de par leur nature, sont plus critiques que d'autres. C'est le cas du domaine médical, qu'il s'agisse d'une aide à la personne ou du praticien, d'un moyen d'améliorer les conditions de vie ou bien d'assurer sa survie, les IoT pour le médical deviennent de plus en plus présents.

Mais comme toutes nouvelles technologies, cette innovation est encadrée voire limitée par la législation afin de garantir les droits et devoirs propres au monde médical.

Cette formation vise à donner une vue d'ensemble de cette sous-catégorie de l'IoT en abordant les sujets suivants:

- IoT HealthCare Networks
- Services et Applications
- Tendances Industrielles
- La sécurité dans l'IoTs pour la santé
- Les technologies actuelles et futures
- L'IoT et la politique
- Challenges et verrous

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun Prérequis n'est nécessaire

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours est organisé en plusieurs conférences assurées par des professionnels de domaines et couvrant un large spectre: technologique, sociétal et économique.

Programme:

- Introduction
 - Panorama - IoT for Healthcare
- Conférences
 - Le panorama des acteurs, leurs enjeux et volet juridique
 - APPLE dans la santé
 - Santé numérique
 - Oncologie
 - Enjeux sociétaux
 - Pathologie numérique
 - E-Chirurgie
 - IA & Imagerie médicale
 - Naissance et vie d'une Start-Up en E-Santé

Déroulement, organisation du cours

Conférences et table ronde

Organisation de l'évaluation

Rapport de recherche, d'analyse et de synthèse des aspect vue durant l'enseignement

Moyens

Ce cours est dispensé par des Enseignants Chercheur, des Médecins et Créateurs/Dirigeants de Start-up

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Ce cours a pour objectif de se focaliser sur trois aspects particuliers:

- Comprendre les répercussions de l'apparition des IoTs dans le monde médical
- Découvrir les enjeux sociétaux, économiques et technologiques des IoTs
- Acquérir les connaissances technologiques et législatives suffisantes qui sont propres aux IoTs pour le médicale afin d'appréhender les contraintes inhérents à la conception et l'utilisation de tels dispositifs.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humain.

C1.5 Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

C2.2 Transposer à d'autres champs disciplinaires, généraliser des connaissances.

C2.3 Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres.

C2.5 Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior).

C6.6 Comprendre l'économie numérique.

C6.7 Comprendre la transmission de l'information.

C9.2 Percevoir le champ de responsabilité des structures auxquelles on contribue, en intégrant les dimensions environnementales, sociales et éthiques.

3VS3160 – Journée découverte du plateau d'imagerie médicale et de radiothérapie

Responsables : **Emmanuel Odic, Nathalie Lassau**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **22**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **14,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ces journées d'immersion ont pour objectif de proposer une vision globale, théorique et pratique, des plateaux médico-techniques d'imagerie et de radiothérapie. Il s'agit également de présenter les modalités d'imagerie et de radiothérapie les plus innovantes (PACS, réseau d'images, etc.), d'exposer les enjeux clés en matière d'imagerie et de radiothérapie (système d'information et traçabilité du traitement, et d'introduire des éléments de management de la qualité en radiothérapie et radioprotection).

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG10

Prérequis

Aucun prérequis

Déroulement, organisation du cours

Visites

Organisation de l'évaluation

Modalités IFSBM

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C9. Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

3VS3170 – Technologies médicales et organisation des soins en médecine péri-opératoire

Responsables : **Emmanuel Odic**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **35**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

La médecine péri-opératoire couvre tous les aspects des soins aux opérés, incluant la préparation à l'intervention, le passage en salle en salle d'opération, l'anesthésie et la chirurgie elles-mêmes, ainsi que la surveillance postopératoire. Celle-ci peut être simple le plus souvent, permettant une prise en charge ambulatoire, ou parfois plus complexe nécessitant une surveillance intensive, humaine et instrumentale.

Cette médecine est caractérisée par deux modalités de prise en charge opposées en apparence mais fondamentalement complémentaires dans la réalité : d'un côté l'hypermédicalisation caractérisée par le caractère aigu voire urgent des maladies traitées qui mettent souvent en jeu le pronostic vital dans un intervalle de temps qui peut se compter en heures ou minutes, par le rôle crucial des technologies de pointe (robotique, imagerie miniaturisée, réalité virtuelle, machines de suppléance des fonctions vitales...) dans les prises en charge quotidiennes, qu'elles soient chirurgicales, anesthésiques ou de réanimation. D'un autre côté, ces prises en charge ne sont jamais l'oeuvre d'un artisan unique mais impliquent toujours une équipe, constituée de nombreux métiers qui doivent non seulement cohabiter mais surtout se potentialiser pour améliorer l'efficacité des soins et leur efficacité. Ces stratégies en équipe sont en effet coûteuses et méritent une réflexion concernant l'organisation et les comportements humains, une analyse des compétences, un entraînement tel que celui fourni par les séances de simulation à l'image de celles que réalisent les pilotes d'avion.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun prérequis

Déroulement, organisation du cours

Conférences

Organisation de l'évaluation

Modalités IFSBM

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C9. Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

3VS3180 – Santé environnementale

Responsables : **Emmanuel Odic**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **22**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **14,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le module a pour objectif d'appréhender l'impact environnemental des systèmes de santé, de fournir les principales clés et les leviers pour transformer le système de santé et s'adapter au monde d'aujourd'hui. Il s'agit également de comprendre les enjeux environnementaux sur la santé des populations et la santé planétaire. En particulier, l'impact du changement climatique sur la santé des populations sera illustré.

Plusieurs conférences seront données, portant notamment sur le bilan carbone de l'AP-HP, les pistes pour la décarbonation du système de santé, l'introduction à l'écoconception du soin.

Plus spécifiquement, les cas suivants seront détaillés :

- le recyclage des produits de contraste à base d'iode
- le développement durable au bloc opératoire
- la gestion responsable des dispositifs médicaux en anesthésie / réanimation

Médecin, directeur projets développement durable et chargés de transition AP-HP, enseignants-chercheurs et industriels (Laboratoire Guerbet, Siemens) interviennent au cours du module.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SG11

Prérequis

Aucun prérequis

Déroulement, organisation du cours

Conférences

Organisation de l'évaluation

Modalités IFSBM

Moyens

Conférences

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C9. Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

3VS3500 – Projet VSE HSB

Responsables : **Emmanuel Odic**

Département de rattachement : **MENTION HEALTHCARE ET SERVICES EN BIOMÉDICAL (PARIS-SACLAY)**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **240**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **144,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

En binôme ou trinôme, les élèves mèneront un projet de mention (volume horaire de 140 h), ayant pour but de réaliser un livrable (logiciel, prototype, étude scientifique) pour un client académique ou industriel dans le secteur de la santé, sur les domaines de l'information, des dispositifs médicaux, de l'organisation des soins ou des systèmes de santé, etc. Ces projets peuvent aussi être proposés par les élèves qui portent un projet entrepreneurial.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence)

SD9, SG10, SG11

Prérequis

Prérequis scientifiques suivant le sujet

Déroulement, organisation du cours

Le travail sera conduit en priorité à l'Ecole, mais un accueil partiel chez le partenaire est possible.

Les élèves seront encadrés par un tuteur du partenaire et suivis par un tuteur académique de l'Ecole.

Les modalités d'accompagnement sont variables (rdv en face à face, rendez-vous téléphonique, échange de mails).

Les livrables de ces projets peuvent être par exemple, entre autres, un calcul de dimensionnement d'un procédé, un modèle, un logiciel, une analyse de données, une étude technico-économique, ...

Organisation de l'évaluation

Soutenance à mi-parcours (début février) et soutenance finale (mi-avril) avec remise d'un rapport et de livrables au client.

Moyens

Moyens informatiques et expérimentaux disponibles CentraleSupélec

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le projet de mention constitue une expérience de conduite de projet scientifique ou technico-économique dans le domaine de la santé. Les compétences scientifiques et techniques mobilisées dans un objectif d'innovation sont complétées par un savoir-être vis-à-vis du partenaire ainsi que par des méthodes de gestion/conduite de projet en équipe.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers

C3. Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C4. Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

C6. Être à l'aise et innovant dans le monde numérique

C7. Savoir convaincre

C8. Mener un projet, une équipe

C9. Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.

