



CENTRALESUPELEC

CATALOGUE DES COURS DE DEUXIEME ANNEE

Année scolaire 2020-2021

Edition du 22 septembre 2020



TABLE DES MATIERES

COURS COMMUNS 2A	10
2CC1000 – Automatique	11
2CC2000 – Modélisation systèmes	16
2CC3000 – Optimisation	18
COURS HORS SEQUENCE 2A	20
2SL1000 – Economie	21
2SL1100 – Sciences du Climat et enjeux du changement climatique).24	
2SL2000 – Droit.....	26
2SL3000 – Philosophie	28
2SL4000 – Sociologie des Organisations	31
2SL5000 – Ateliers Pratiques Ingénieur - API	35
2SL7000 – Ateliers Pratique Professionnelle - APP - 2A	38
2SL8000 – Projet S7	40
2SL8100 – Projet long	43
2SL9000 – Sport.....	46
COURS ELECTIFS 2A	49
2EL0010 – Teaching assistant	50
2EL1110 – Systèmes dynamiques en neuroscience	53
2EL1120 – Systèmes Robotiques Interactifs	58
2EL1130 – Systèmes dynamiques multi-agents. Application au vol en formation de drones.....	62
2EL1210 – Exposition des personnes à l'électromagnétisme et compatibilité électromagnétique	67
2EL1220 – Conception d'antenne pour applications avancées	70
2EL1310 – Energies renouvelables.....	73



2EL1320 – Conversion d'énergie.....	76
2EL1410 – Transferts Thermiques.....	79
2EL1420 – Mécanique des fluides.....	85
2EL1430 – Ingénierie Nucléaire	90
2EL1440 – Milieux réactifs	92
2EL1520 – Génie logiciel orienté objet	97
2EL1540 – Informatique théorique	100
2EL1550 – Calcul haute performance	104
2EL1560 – Modèles et systèmes pour la gestion des données massives	109
2EL1580 – Intelligence Artificielle	112
2EL1590 – Cloud computing et informatique distribuée	115
2EL1710 – Probabilités avancés.....	119
2EL1720 – Distributions et opérateurs	122
2EL1730 – Machine Learning.....	125
2EL1740 – Algèbre et cryptologie	128
2EL1750 – Statistiques avancées	132
2EL1760 – Calcul scientifique.....	135
2EL1810 – Vibration structurelle et acoustique	138
2EL1820 – Matériaux du vivant	141
2EL1830 – Comportement non-linéaire des matériaux	143
2EL1840 – Mécanique avancée pour le génie civil : « Construire sur Mars ».....	146
2EL1850 – Simulation des couplages multiphysiques avec la MEF ...	148
2EL1860 – Construire la ville – urbanisme, architecture et ingénierie	150
2EL1910 – Lois fondamentales de l'Univers : physique des particules et de la gravitation.....	153
2EL1920 – Physique Quantique et Statistique (part II).....	155
2EL2010 – Compréhension, optimisation et simulation des procédés biotechnologiques	158
2EL2020 – Physique de la matière divisée	161
2EL2030 – Génomique et biologie synthétique en biotechnologie sanitaire et industrielle	167
2EL2040 – Ingénierie des procédés au service du développement durable	170
2EL2120 – Science de la conception	175
2EL2130 – Management agile de projets complexes.....	183
2EL2140 – Stratégie, Marketing et Organisation	187
2EL2150 – Finance et Droit de l'entreprise	190
2EL2160 – Economie de l'environnement, énergie et développement durable	193
2EL2170 – Economie de la croissance et de l'innovation	195
2EL2190 – Management de l'innovation et création d'entreprise	199



2EL2200 – Innover par les usages	202
2EL2210 – Operations and supply chain management	212
2EL2220 – Théories des organisations et des marchés	214
2EL2230 – Maintenance et industrie 4.0	217
2EL2240 – Mobility issues.....	221
2EL2410 – Compression et débruitage des signaux	225
2EL2420 – Traitement d'images numériques.....	228
2EL2510 – Architecture et conception des systèmes numériques....	233
2EL2520 – Du transistor au système analogique complexe	236
2EL2530 – Capteurs intégrés MEMS	239
2EL2610 – Théorie des communications.....	242
2EL2620 – Réseaux de communication mobiles et services	246
2EL2630 – Applications de la physique statistique et quantique aux sciences de l'information	249
2EL2710 – Design your way	253
2EL2720 – Tutorat de jeunes en situation de handicap	256
2EL2730 – Electif associatif	260
2EL5010 – Introduction à l'ingénierie des applications mobiles	262
2EL5020 – Introduction au développement d'applications basées sur les services.....	265
2EL5030 – Programmer efficacement en C++	269
2EL5040 – Big Data : collecte, stockage et analyse de données sur clusters et sur Cloud	272
2EL5050 – Méthodes d'estimations et introduction à la théorie moderne du codage.....	277
2EL5060 – Analyse et traitement de données audio (parole et musique).....	280
2EL5070 – Traitement d'image	284
2EL5080 – Systèmes embarqués électroniques et informatiques robustes.....	287
2EL5090 – Conception de systèmes électroniques complexes : du composant au système hétérogène.....	290
2EL5110 – La lumière pour comprendre la matière.....	293
2EL5120 – Systèmes photoniques intelligents	296
2EL5130 – Chaos, Fractales et complexité	299
2EL5140 – Modélisation pour l'ingénierie des systèmes	303
2EL6010 – Conception de systèmes embarqués critiques de controle-commande.....	307
2EL6020 – Architecture des ordinateurs.....	311
2EL6030 – Systèmes d'explotation	315
2EL6040 – Programmation système sous linux et windows.....	318
2EL6050 – Modelica et bond graph : modélisation multi-domaine, analyse et simulation	321
2EL6060 – Serious Game	325



2EL6070 – Réalité virtuelle et augmentée	329
2EL6090 – Intelligence artificielle et Deep Learning	333
2EL6100 – Communication Systems Engineering	337
2EL6110 – Nouveaux paradigmes réseau	341
2EL6120 – Intelligent Wireless Access & Experimentation	345
2EL6130 – Systèmes embarqués et internet des objets	350
2EL6140 – Microréseaux : composants et pilotage.....	353
2EL6150 – Commande prédictive	357
2EL6160 – Economie de l'innovation	361
2EL6170 – Management de la production et des flux.....	364
2EL6180 – Marketing digital	367
2EL6190 – Méthodes bayésiennes pour l'apprentissage automatique	370

COURS SEQUENCE THEMATIQUE 5374

ST5 – 51 – PILOTAGE ET CONTROLE DE VOL DANS LE TRANSPORT AERONAUTIQUE ET SPATIAL	375
2SC5110 – Performances et trajectoires de vol	378
2SC5191 – Stratégie de contrôle d'un nanosatellite	383
2SC5192 – Définition et conception de la mission d'un lanceur	386
2SC5193 – Conception d'un avion électrique	390
ST5 – 52 – COMMANDE DE (BIO)PROCEDES POUR PRODUIRE DURABLE	392
2SC5210 – Ingénierie des procédés : application à l'environnement et aux productions durables	396
2SC5291 – Traitement biologique optimisé des eaux résiduaires urbaines.....	401
2SC5292 – Stratégies d'optimisation d'une usine de biotechnologie : application à la production de levain.....	405
2SC5293 – Supervision avancée de la production de biogaz à partir de déchets	409
ST5 – 53 – VEHICULE AUTONOME ET CONNECTE	413
2SC5310 – Architecture et technologies pour le véhicule intelligent et communicant.....	416
2SC5390 – Livraison urbaine par véhicules autonomes et connectés	419
ST5 – 54 – L'ECO-QUARTIER, UN SYSTEME COMPLEXE. AMENAGEMENT DURABLE & MANAGEMENT DE PROJET COMPLEXE	422
2SC5410 – Aménagement et urbanisme durables	424
2SC5490 – Projet de conception d'un éco-quartier	429
ST5 – 55 – LUMIERE ET MATIERE : DEVELOPPEMENT D'INSTRUMENTS DE HAUTE TECHNOLOGIE.....	432
2SC5510 – Physique de la matière.....	435



2SC5591 – Conception d'un faisceau de rayons X Synchrotron	437
2SC5592 – Lasers à cascade quantique.....	440
ST5 – 56 – SYSTEMES MULTI-ENERGIES	443
2SC5610 – Introduction à la production d'énergie	446
2SC5691 – Régulation et commande de systèmes de production et de conversion d'énergie	449
2SC5692 – Groupe motopropulseur hybride	453
2SC5693 – Propulsion aéronautique hybride.....	455
ST5 – 57 – CONTROLE DE LA POLLUTION ACOUSTIQUE ET ELECTROMAGNETIQUE	458
2SC5710 – Théorie et algorithmique pour le contrôle des ondes	462
2SC5791 – Contrôle de la pollution acoustique extérieure.....	468
2SC5792 – Contrôle de la pollution acoustique intérieure	472
2SC5793 – Contrôle de la pollution électromagnétique	476
ST5 – 58 – SYSTEMES COMPLEXES INDUSTRIELS ET CRITIQUES A LOGICIELS PREPONDERANTS	478
2SC5810 – Conception et vérification de systèmes critiques.....	482
2SC5891 – Conception d'un système de signalisation sûre pour le ferroviaire	485
2SC5893 – Système intelligent pour le contrôle automatisé du trafic aérien.....	488
2SC5894 – Systèmes de production pour « usines intelligentes »	491
ST5 – 59 – ASSISTANCE ET AUTONOMIE DE LA PERSONNE.....	493
2SC5910 – Commande d'une chaîne de motorisation	495
2SC5990 – Fauteuil roulant motorisé pour personne handicapée....	497
ST5 – 60 – NAVIGATION SEMI-AUTONOME DE DRONES.....	499
2SC6010 – Robotique autonome	501
2SC6090 – Navigation semi-autonome de drone en environnement intérieur	504
ST5 – 61 – SMART PHOTONICS SYSTEMS FOR CONTROL AND MEASURE	507
2SC6110 – Photonique pour le contrôle des systèmes physiques	510
2SC6190 – Télédétection laser (LIDAR).....	512
ST5 – 62 – INTELLIGENCE ENERGETIQUE ET SMART BUILDING	515
2SC6210 – Communications à haute performance énergétique	517
2SC6290 – Pilotage hiérarchisé du confort thermique	521
ST5 – 63 – SYSTEMES INTELLIGENTS ET EMBARQUES POUR LA SANTE ..	524
2SC6310 – Architecture Système et Modélisation	526
2SC6390 – Système intelligent pour la régulation personnalisée de glycémie.....	529



ST5 – 64 – MODELISATION ET CONCEPTION D’UN SYSTEME DE SUPERVISION DE CAPTEURS.....	531
2SC6410 – Modèles de données et schémas de conception	533
2SC6490 – Développement d'un système de supervision de capteurs	536
COURS SEQUENCE THEMATIQUE 7	539
ST7 – 71 – MODELISATION MATHEMATIQUE DES MARCHES FINANCIERS ET GESTION DES RISQUES.....	540
2SC7110 – Stochastic Finance and risk modelling.....	542
2SC7190 – Risk Management on financial markets	544
ST7 – 72 – OPTIMISATION DE L’INFRASTRUCTURE DES RESEAUX POUR LES VILLES INTELLIGENTES.....	546
2SC7210 – Optimisation des infrastructures de réseau	549
2SC7290 – Smart cities : les cités connectées	552
ST7 – 73 – ECONOMIE CIRCULAIRE ET SYSTEMES INDUSTRIELS.....	555
2SC7310 – Economie circulaire et méthodes de l’écologie industrielle	558
2SC7391 – Bioraffinerie : optimisation des flux et/ou des procédés associés.....	562
2SC7393 – Chantiers du Grand Paris.....	568
ST7 – 74 – OPTIMISATION DE SYSTEMES DE TRANSPORT PASSAGERS ...	574
2SC7410 – Aide à la Décision : Modèles, algorithmes et implémentation	577
2SC7491 – Optimisation des opérations d'une compagnie aérienne	580
2SC7492 – Optimisation des trajectoires des avions à l'approche d'un aéroport.....	582
2SC7493 – Organisation de systèmes de transport à la demande	583
ST7 – 75 – OPTIMISATION ET GESTION DE FLUX DE SYSTEMES COMPLEXES	585
2SC7510 – Optimisation et gestion de flux	587
2SC7591 – Gestion des flux dans la supply chain des bouteilles de gaz	589
ST7 – 76 – SIMULATION A HAUTE PERFORMANCE POUR LA REDUCTION D’EMPREINTES.....	591
2SC7610 – Méthodes et algorithmes de calcul parallèle, et méthodes d’optimisation.....	596
2SC7691 – Optimisation d’une campagne d’exploration sismique pour la protection des ouvrages	600
2SC7692 – Optimisation de formes et réduction de la traînée en aéronautique	607



2SC7693 – Optimisation de détection d’ondes infrasonores pour la vérification du traité d’interdiction complète d’essais nucléaires	613
2SC7694 – Optimisation énergétique et accélération d’un graphe de calculs financiers sur cloud	620
2SC7695 – Optimisation à faible coût des performances d’un code de propagation d’ondes acoustiques.....	627
ST7 – 77 – EFFICACITE DES SYSTEMES D’ENERGIE EMBARQUES	634
2SC7710 – Méthodes numériques et résolution des problèmes d’optimisation des systèmes d’énergies embarqués	637
2SC7791 – Efficacité énergétique	639
2SC7792 – Optimisation des actionneurs électriques.....	640
2SC7793 – Gestion optimale du réseau	642
2SC7794 – Optimisation d’une chaîne de propulsion	643
ST7 – 78 – SMART GRIDS ET DEFI ENERGETIQUE : GESTION DE L’ENERGIE EN SITE ISOLE	645
2SC7810 – Energies renouvelables et micro grids.....	648
2SC7890 – Micro grid insulaire décarbonné	651
ST7 – 79 – LE NUMERIQUE AU SERVICE DU FACTEUR HUMAIN.....	653
2SC7910 – Analyse d’image et son 2D-3D.....	655
2SC7990 – Ce que vous dites sans le vouloir : décryptage et analyse automatique des comportements non verbaux	659
ST7 – 80 – SEPARATION DE SOURCES POUR UNE EXPLOITATION OPTIMALE DE SIGNAUX.....	663
2SC8010 – Représentations parcimonieuses des signaux.....	666
2SC8092 – Suivi d’un locuteur par un robot	669
2SC8093 – Séparation de sources sonores à partir d’enregistrements de plusieurs microphones.....	673
ST7 – 81 – CONCEPTION EN FABRICATION ADDITIVE.....	676
2SC8110 – Couplages multiphysiques pour la fabrication additive...	680
2SC8191 – Optimisation de pièces aéronautiques en fabrication additive métallique	683
2SC8192 – Optimisation de pièces pour le biomédical en fabrication additive polymère.....	685
2SC8193 – Optimisation de structures génie civil en fabrication additive béton.....	687
ST7 – 82 – SYSTEMES PHYSIQUES NEURO-INSPIRES POUR LE TRAITEMENT D’INFORMATION.....	689
2SC8210 – Optimisation pour l’apprentissage des systèmes physiques	691
2SC8290 – Classification de signaux vidéos et d’images à haute performance et faible coût énergétique par des systèmes photoniques	695



COURS EN SEMAINES INTERCALAIRES 2A699

2IN1510 – Comprendre la blockchain.....	700
2IN1520 – Analyse de risques - INFOSEC	703
2IN1570 – Développement d'applications web et mobile	705
2IN2180 – Gestion des achats.....	709
2IN2310 – Individus, Travail, Organisations	711
2IN2320 – Enjeux de Société	713
2IN2330 – Science, Technologie, Société.....	714
2IN2340 – Innovation, Arts et créativité	715
2IN4000 – Jeux d'entreprise	716
2IN5010 – Bridge Building challenge	718
2IN5020 – Innovation des semi-conducteurs.....	721
2IN5030 – Travail expérimental de physique.....	724
2IN5040 – Enseignement expérimental en transmission d'information	726
2IN5106 – Introduction au marketing.....	728
2IN5110 – Ethique et Responsabilité	730
2IN5120 – Finances publiques	733

COURS DE LANGUES ET CULTURES735

LC0100 – Anglais.....	736
LC0200 – Français Langue Etrangère	738
LC0300 – Allemand	740
LC0400 – Espagnol	742
LC0500 – Italien	744
LC0600 – Portugais	746
LC0700 – Chinois.....	748
LC0800 – Japonais.....	750
LC0900 – Russe	752
LC1000 – Arabe.....	754
LC1200 – Hébreu	756



COURS COMMUNS 2A



2CC1000 – Automatique

Responsables : Didier DUMUR

Département de rattachement : AUTOMATIQUE

Langues d'enseignement : ANGLAIS, FRANCAIS

Type de cours : Cours commun

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 36

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les élèves devront pouvoir comprendre la structure et les interactions au sein de systèmes existants ou en phase de conception, traiter l'information et prendre des décisions.

Pour y parvenir, ils devront mettre en évidence les grandeurs influant sur l'état de ce système (entrées) et les grandeurs permettant d'accéder à cet état ou sur lesquelles portent des exigences (sorties). A partir de l'analyse des entrées qu'il peut commander (commande) ou qu'il subit (perturbations), l'élève devra déterminer la structure et la loi de commande la mieux adaptée à sa problématique. Pour cela, il devra analyser les caractéristiques de son système, les comparer à celles requises au niveau des spécifications, pour sélectionner, concevoir et valider en simulation puis expérimentalement la stratégie de commande adaptée.

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

ST5

Prérequis

Cours en promotion complète "Modélisation" en ST2, Cours en promotion complète hors séquence "Convergence, intégration, probabilités" et "équations aux dérivées partielles", Cours en promotion complète « Traitement du signal » en ST4

Plan détaillé du cours (contenu)

Découpage du cours en chapitres :

- Introduction à l'Automatique (notion de bouclage, schéma-bloc ...)
- Fonction de transfert en BO, BF, passage BO -> BF



- Analyse des systèmes asservis continus (stabilité, rapidité, précision)
- Analyse des systèmes discrets (représentation, stabilité, rapidité, précision)
- Synthèse de correcteurs continus (anticipation, proportionnel, avance de phase, PI et PID) – Structure cascade
- Méthodes de transposition de correcteurs continus/discrets
- Rappel sur la représentation d'état continue/discrète, passage continu/discret
- Commandabilité, observabilité, forme canonique
- Commande par retour d'état
- Synthèse d'observateurs

Contenu des travaux dirigés :

- Modélisation, étude de stabilité, étude de la précision, début de correction proportionnelle. Régulation du niveau d'eau d'un générateur de vapeur
- Synthèse de correcteurs analogiques (Avance de phase, PI et/ou PID) et transposition en discret. Application à la régulation de la pression artérielle.
- Commande par retour d'état et synthèse d'observateurs. Application au contrôle d'attitude d'un avion.

Déroulement, organisation du cours

18h de cours, 9h de travaux dirigés et 6h de travaux de laboratoire

Organisation de l'évaluation

compte-rendu de travaux pratiques & contrôle final sous forme d'examen écrit (3h) avec calculatrice, photocopiés et notes de cours de l'élève autorisés. Note TP : 25%, note contrôle final : 75%, présence contrôlée en TD et TP, pouvant donner lieu à pénalité.

Support de cours, bibliographie

P photocopiés :

- Photocopié « Automatique »
- Glossaire d'Automatique Français-Anglais et Anglais-Français
- Recueil des transparents utilisés en cours

Bibliographie :

- J.J. D'Azzo & C.H. Houpis - "Linear Control System. Analysis and Design" - 3e éd., Mc Graw-Hill, 1988.



- P. Borne, G. Dauphin-Tanguy, J.-P. Richard, F. Rotella et I. Zambettakis - "Analyse et régulation des processus industriels. Tome 1. Régulation continue, Tome 2. Régulation numérique" - Éditions Technip, 1993.
- J.B. Deluche - "Automatique. De la théorie aux applications industrielles. Tome 2 : Systèmes continus" - Edipol, 2000.
- J.M. Flaus - "La régulation industrielle" - Hermès, 1994.
- G.F. Franklin, J.D. Powell, A. Emami-Naeini - "Feedback Control of Dynamic Systems" - 7° ed., Ed. Pearson Publishing Company, 2014.
- B. Friedland - "Control system design" – Mc Graw-Hill, 1986.
- Ph. de Larminat - "Automatique. Commande des systèmes linéaires" - Hermès, 1996.
- L. Maret - " Régulation automatique" - Presses Polytechniques Romandes, 1987.
- K. Ogata - "Modern Control Engineering" - 5e éd., Ed. Pearson Education International, 2009.
- A. Rachid - "Systèmes de régulation" - Masson 1996.
- M. Zelazny, F. Giri et T. Bennani - "Systèmes asservis : commande et régulation" - Eyrolles, 1993.

Moyens

- Equipe enseignante :

- Chargé de cours sur le campus Paris-Saclay : Antoine Chaillet, Didier Dumur, Emmanuel Godoy, Maria Makarova, Cristina Maniu, Houria Siguerdidjane, Sihem Tebbani, Cristina Vlad
- Chargé de TD sur le campus Paris-Saclay : Antoine Chaillet, Didier Dumur, Emmanuel Godoy, Maria Makarov, Cristina Maniu, Houria Siguerdidjane, Sihem Tebbani, Cristina Vlad, Sorin Olaru, Pedro Rodriguez, Guillaume Sandou, Giorgio Valmorbida, Stéphane Font, Rémi Azouit, Jacques Antoine, Bruno Lorcet, Jing Dai, Emmanuel Odic, Maxime Pouilly-Cathelain
- Chargé de cours sur le campus de Rennes : Romain Bourdais
- Chargé de TD sur le campus de Rennes : Stanislav Aranovskiy, Hervé Guéguen, Marie-Anne Lefebvre, Nabil Sadou, Romain Boudais
- Chargé de cours sur le campus de Metz : Jean-Luc Colette

- Taille des TD sur le campus Paris-Saclay : 25 élèves

- Travaux pratiques (TP) sur le campus Paris-Saclay : 50 élèves par demi-journée, études réalisées au Département Automatique (4 salles avec 5 maquettes expérimentales chacune) et en partie au Département Energie

- Outils logiciels : Matlab (utilisé pendant les TP)



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

1. Modéliser le comportement d'un système linéaire par une représentation temporelle ou fréquentielle :

- Faire le choix d'un modèle de comportement adapté (fonction de transfert, représentation d'état ...)
- Identifier les paramètres de ce modèle à partir d'informations expérimentales et/ou de connaissances a priori
- Valider la qualité du modèle

2. Analyser le comportement temporel et fréquentiel d'un système et les effets du bouclage

3. Choisir et synthétiser des lois de commande, en analogique comme en numérique, sous forme de fonction de transfert ou d'état (dans ce dernier cas complété si besoin par la synthèse d'un observateur), afin de satisfaire un cahier des charges temporel et/ou fréquentiel :

1. Analyser les caractéristiques du système initial et les comparer au cahier des charges
2. Choisir et synthétiser le correcteur adapté
3. Valider en simulation et expérimentalement la loi de commande et critiquer les résultats obtenus

4. Utiliser un logiciel de simulation pour mettre en œuvre les développements théoriques et valider les lois de commande (par l'intermédiaire des Travaux Pratiques)

5. Maîtriser la communication scientifique et technique (par l'intermédiaire du compte rendu de Travaux Pratiques)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences validées :

- "modéliser le comportement d'un système linéaire par une représentation temporelle ou fréquentielle " s'inscrit dans C1.2 "Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème", jalon 2
- "analyser le comportement temporel et fréquentiel d'un système et les effets du bouclage" s'inscrit dans 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", jalon 1



- "choisir et synthétiser des lois de commande, en analogique comme en numérique, sous forme de fonction de transfert ou d'état (dans ce dernier cas complété si besoin par la synthèse d'un observateur), afin de satisfaire un cahier des charges temporel et/ou fréquentiel" s'inscrit dans C1.4 "Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe", jalon 2
- "maîtriser la communication scientifique et technique (par l'intermédiaire du compte rendu d'Études de Laboratoire)" s'inscrit dans 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

Evaluation des acquis d'apprentissage

Les trois premiers acquis d'apprentissage seront évalués dans deux situations :

1. 2 séances de travaux pratiques permettront d'évaluer l'ensemble de ces trois acquis d'apprentissage en étant confronté à un procédé réel à modéliser, analyser et piloter. Ce mode pédagogique permet en particulier de confronter les élèves à l'expérimentation et à la validation de la démarche de modélisation et de synthèse.
2. Un examen final confrontera également les élèves à une problématique réelle d'un procédé qu'il conviendra de modéliser, analyser et piloter. L'accent y sera mis moins sur les aspects expérimentaux que sur la capacité à satisfaire une problématique industrielle.

Le quatrième acquis d'apprentissage sera plus spécifiquement évalué lors des séances de travaux pratiques, ainsi que lors du travail personnel (nécessitant la mise en œuvre du procédé via un logiciel de simulation) effectué entre les deux séances de travaux pratiques.

De même, le cinquième acquis d'apprentissage sera plus spécifiquement évalué par l'intermédiaire du compte-rendu remis à l'issue des séances de travaux pratiques.



2CC2000 – Modélisation systèmes

Responsables : Marija JANKOVIC

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

Langues d'enseignement : FRANCAIS, ANGLAIS

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 10

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 6

Quota :

ECTS Erasmus : 0

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de sensibiliser les élèves à la modélisation système, au processus de la modélisation et aux différentes techniques. En effet, le futur développement de tels systèmes exige de la part des ingénieurs des capacités à identifier les facteurs définissant le système, à prendre en compte sa complexité et à le représenter formellement afin de prédire ses performances. Il est également nécessaire de maîtriser l'utilisation des résultats de prédiction et des analyses de sensibilité dans la phase d'implémentation. A travers des études de cas, les élèves auront une sensibilisation à la modélisation système (la nécessité des approches multidisciplinaires, les enjeux et les challenges de la modélisation de systèmes, etc.)

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

ST5

Prérequis

Cours "Modélisation" en ST2

Plan détaillé du cours (contenu)

Les 2 sessions d'introduction à la modélisation système vont se dérouler de la manière suivante :

1. Conférence introductive faite par les intervenants extérieurs illustrant sur un Cas d'étude les besoins et les challenges de la modélisation d'un système
2. Introductions aux points clés de la modélisation des systèmes (à travers une illustration industrielle ou un cas d'étude)



Déroulement, organisation du cours

Etudes de cas

Organisation de l'évaluation

Validation

Support de cours, bibliographie

La littérature demandée pour compléter le cours et le travail personnelle des élèves est la suivante :

- “A practical guide to SysML: the system modeling language”, Friedenthal & Steiner
- « Model-Based Systems Engineering with OPM and SysML », Dori, Dov, (2016).
- « Structural complexity management », Lindemann, Maurer and Braun, (2009).
- « The limits to growth », Donella Meadows, Dennis Meadows, Jorgen Rangers, William Behrens III

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, les élèves seront sensibilisés aux :

- Besoins de déployer des approches « systèmes » pour résoudre les problèmes en ingénierie
- Besoins et avantages des approches multidisciplinaires pour résoudre les problèmes complexes
- Points clés de la modélisations systèmes tels que la notion du périmètre du système, quelques notions des types des modélisations existantes, la notion de la gestion des interfaces, etc.

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

C1.5 Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.

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



2CC3000 – Optimisation

Responsables : Jean-Christophe PESQUET
Département de rattachement : MATHÉMATIQUES
Langues d'enseignement : FRANCAIS, ANGLAIS
Type de cours : Cours commun
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE PARIS - SACLAY
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 36
Quota :
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours explorera divers aspects fondamentaux de l'optimisation, aussi bien continue que discrète.

Les notions suivantes seront abordées et mises en oeuvre pratiquement: formulation des problèmes d'optimisation, conditions d'existence de minimiseurs globaux et locaux, convexité, dualité, multiplicateurs de Lagrange, méthodes du premier ordre, programmation linéaire, programmation linéaire entière, approche « branch and bound » (séparation-évaluation), introduction à l'optimisation stochastique.

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

ST7

Prérequis

Notions de base en analyse, calcul différentiel et probabilités (cours convergence, intégration et probabilité), bonne maîtrise d'un environnement de programmation.

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Bases de l'optimisation
 - 1.1 Introduction
 - 1.2 Existence de minimiseurs
 - 1.3 Convexité
 - 1.4 Dualité
2. Programmation linéaire



3. Programmation linéaire entière

4. Compléments d'optimisation continue

4.1 Méthode des multiplicateurs de Lagrange

4.2 Quelques algorithmes itératifs

5. Optimisation stochastique

Déroulement, organisation du cours

L'enseignement combine cours magistraux et TD/TP.

Il se répartit en 22,5 heures de cours, 10.5 heures de TD et 1.5 heure d'examen final.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation des acquis se fera à la fois par contrôle continu et par l'examen écrit final. En cas d'absence justifiée aux contrôles intermédiaires, les notes de ces derniers sont remplacées par celle du contrôle final.

Support de cours, bibliographie

D. P. Bertsekas, Nonlinear Programming, 3rd Edition. Athena Scientific, 2016. ISBN:978-1-886529-05-2

H.H. Bauschke and P. L. Combettes, Convex Analysis and Monotone Operator Theory in Hilbert Spaces, 2nd Edition. Springer, 2017. ISBN: 978-3-319-48311-5

Moyens

Outils logiciels nécessaires : MATLAB, Python,....

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables de :

- traiter une large gamme de problèmes concrets d'optimisation se posant dans un contexte scientifique ou industriel.
- formuler de façon adéquate un tel problème et de proposer une solution numérique à l'aide des méthodes existantes
- valider et l'interpréter la solution du point de vue du problème initial.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétence de niveau intermédiaire en optimisation



COURS HORS SEQUENCE 2A



2SL1000 – Economie

Responsables : Pascal DA COSTA

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

Langues d'enseignement : ANGLAIS, FRANCAIS

Type de cours : Cours hors séquence

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE METZ

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 24

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Sans doute avez-vous déjà lu la presse économique et entendu parler de variables et de concepts économiques (moteurs de la croissance, relation inflation - chômage, types de concurrences, Banque centrale européenne et autres institutions économiques, etc.) : il est maintenant temps de définir clairement tout cela et de saisir enfin les débats économiques dans toute leur complexité. Ce faisant, vous rencontrerez tous, au moins une fois dans votre scolarité, l'avis des économistes sur les grands problèmes et les débats qui traversent notre société.

L'objectif premier de ce cours d'introduction à l'analyse économique est donc de fournir les concepts de base nécessaires à la compréhension et l'analyse du monde économique. Chaque sujet ou enjeu économique (*cf.* le plan du cours) sera d'abord présenté à l'aide de faits empiriques, de statistiques réelles, historiques et récentes, et sera ensuite expliqué à l'aide de théories économiques, pouvant parfois s'opposer (vous verrez que ces controverses théoriques sont assez courantes en économie).

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

ST5

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)



1- Histoire de la pensée économique : Modélisation mathématique des faits économiques. Validation par l'économétrie.

2- Microéconomie : Structures et réglementations des marchés. Externalités positives et négatives : l'innovation et la pollution. et la pollution. Discrimination par les prix. Discrimination par les prix. Théorie des jeux.

3- Économie monétaire : De l'économie de l'endettement à l'économie des marchés financiers. Le rôle de la monnaie. Le rôle de la Banque centrale et des banques commerciales dans le financement de l'économie.

4- Fluctuations et politiques économiques : Politique monétaire, politique fiscale. Le chômage (les déséquilibres).

5- Économie internationale et mondialisation : Commerce international : réglementation du commerce mondial, théories du commerce international. Finance internationale : taux de change, balance des paiements, systèmes monétaires et financiers internationaux (le modèle IS-sans LM en économie ouverte).

6- Économie de la croissance, innovations, inégalités. Economie du développement durable.

Déroulement, organisation du cours

12 heures de conférences (CM)

10 heures de TD

2 heures d'examens

ou Classes intégrées (cours + TD) (places limitées)

Cours en français ou en anglais (au choix).

Organisation de l'évaluation

• 1 Quizz en ligne : 10% de la note finale • 1 Question de réflexion en ligne : 10% de la note finale • 1 Contrôle final (CF) : avec doc., 2h00 : 80% de la note finale : 1 exercice + 1 question de réflexion • Note = Max (0,1.Quizz + 0,1.Question + 0,8.CF , CF) En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Support de cours, bibliographie

Bibliographie / supports :

- Polycopié de cours

- Begg, Fischer, Dornbusch (2002) Macroéconomie, Dunod.



- Begg, Fischer, Dornbusch (2002) Microéconomie, Dunod.
- Blanchard, Cohen (2002) Macroéconomie, Pearson Education.
- Burda, Wyplosz (1998) Macroéconomie : une perspective européenne, Boeck Université.
- da Costa (2013) Etats-Unis, Europe, Chine : des Etats au coeur des crises économiques et financières mondiales, l'Harmattan.
- Mucchielli, Mayer (2005) Economie internationale, Dalloz.
- Picard (1992) Eléments de microéconomie, Montchrestien.
- Stiglitz (2000) Principes d'économie moderne, De Boeck Université.

Moyens

Equipe enseignante dirigée par **Pascal da Costa**.

Cours en français ou en anglais (220 élèves au maximum).

Taille des TD : 35 élèves

Taille des classes intégrées (cours + TD) : 50 élèves. 3 classes intégrées ouvertes.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- connaître les théories économiques récentes, leurs objectifs et leurs limites ;
- connaître les processus pour générer des connaissances en analyse économique, dans les domaines de la concurrence, du financement de l'économie, de la monnaie, des politiques économiques et du commerce international, etc. ;
- développer et mettre en œuvre des modèles mathématiques simples en micro et macroéconomie.
- rédiger un commentaire de textes

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 Examiner un problème dans toute son ampleur et sa profondeur, dans et au-delà de ses paramètres immédiats, afin de le comprendre comme un tout. Cet ensemble relie les dimensions scientifique, économique et sociale du problème.

C2.1 Maîtriser un domaine ou une discipline fondée sur les sciences fondamentales ou les sciences de l'ingénieur.

C4.1 Penser en termes de clients, identifier et analyser les besoins des clients, les contraintes des autres parties-prenantes ainsi que les défis sociétaux.

C9.4 Faire preuve de rigueur et de pensée critique en abordant les problèmes sous tous leurs angles, scientifique, humain et économique.



2SL1100 – Sciences du Climat et enjeux du changement climatique)

Responsables : Pascal DA COSTA

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

Langues d'enseignement : FRANCAIS, ANGLAIS

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 10

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 6

Quota :

ECTS Erasmus : 0

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif du cours "Sciences du Climat et enjeux du changement climatique" est de fournir les bases scientifiques nécessaires pour appréhender les questions et les enjeux du changement climatique actuel. Il s'agit de situer celui-ci dans le contexte plus général des changements climatiques passés, de présenter les principaux mécanismes impliqués, d'introduire les outils et stratégies de modélisations utilisés pour tenter de simuler les futurs possibles.

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

ST5

Prérequis

Pas de prérequis.

Plan détaillé du cours (contenu)

- l'observation de la variabilité naturelle du climat et leur phénoménologie : les forçages, les rétroactions, effets de seuil, de bascule, et d'hystérésis.
- les grands principes physiques et chimiques : l'effet de serre (rayonnement), les transports d'énergie et d'eau (mécanique des fluides, transferts thermiques, thermodynamique), le cycle du carbone.
- les simulations numériques du climat.



- les facteurs d'impacts anthropiques : émissions gaz à effet de serre, aérosols, utilisation des terres, et scénarios pour le futur.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux : 6 heures

Organisation de l'évaluation

QCM en ligne (non obligatoire)

Support de cours, bibliographie

- Diaporama du cours
- Sur le changement climatique : les rapports du GIEC (notamment les « résumés pour décideurs ») : <https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/publications/>
- Sur le climat et les recherches associés : voir les liens de l'IPSL : <https://www.ipsl.fr/Pour-tous>

Moyens

Equipe pédagogique (LSCE, GIEC) : Valerie Masson-Delmotte, Masa Kageyama, Didier Paillard.

Responsable du cours : Didier Paillard.

Cours en français et anglais (une seule occurrence du cours en anglais).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Ancrer les questions relatives au changement climatique actuellement en cours dans les principes physiques familiers de l'ingénieur (thermodynamique, mécanique des fluides...).
- Appréhender les ordres de grandeur pour l'énergie, le cycle du carbone naturel et pour leurs perturbations anthropiques.
- Mettre en œuvre les notions de rétroaction, de seuil, d'hystérésis, de système complexe, dans le cadre du fonctionnement de la planète Terre.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 Examiner un problème dans toute son ampleur et sa profondeur, dans et au-delà de ses paramètres immédiats, afin de le comprendre comme un tout. Cet ensemble relie les dimensions scientifique, économique et sociale du problème.

C2.1 Maîtriser un domaine ou une discipline fondée sur les sciences fondamentales ou les sciences de l'ingénieur.

C9.4 Faire preuve de rigueur et de pensée critique en abordant les problèmes sous tous leurs angles, scientifique, humain et économique.



2SL2000 – Droit

Responsables : Valérie FERAY

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

Langues d'enseignement : ANGLAIS, FRANCAIS

Type de cours : Cours hors séquence

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE PARIS -
SACLAY, CAMPUS DE RENNES

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 12

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5

Présentation, objectifs généraux du cours

- Introduction générale au droit comme instrument de régulation sociale
- Droit des contrats, responsabilité civile contractuelle et délictuelle
- Notions fondamentales de droit de la propriété intellectuelle (brevets, marques, modèles, copyright pour la protection des logiciels)

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

ST5

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Thèmes des cours magistraux :

- Introduction au droit
- Droit des brevets, marques, dessins et modèles
- Protection des logiciels
- Droit des contrats, responsabilité civile

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux (3*1h30), Conférence (1*1h30), Travaux Dirigés



(3*1h30), Examen Final (1*1h30)

Organisation de l'évaluation

Examen final (100% de la note finale): QCM sans documentation

Support de cours, bibliographie

Traité de droit de la Propriété Industrielle, Tomes 1 et 2. Jérôme Passa

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Valérie FERAY (cours magistraux et TD - Associée fondatrice IPSILON), Grégoire DESROUSSEAUX (conférencier et chargé de TD - avocat), Ghislain DEMONDA (conférencier et chargé de TD - Ingénieur brevets - IPSILON)
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : N/A
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : non

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Avoir une base juridique concernant les principaux aspects du droit auxquels les ingénieurs et chefs d'entreprise peuvent être confrontés, afin de leur donner les bons réflexes à avoir dans les situations sensibles.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C 1.1 - 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

C 3.1 - Être proactif, prendre des initiatives, s'impliquer

C 4.1 - 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.

C 9.4 - Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques



2SL3000 – Philosophie

Responsables : Cynthia COLMELLERE

Département de rattachement : SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

Langues d'enseignement : ANGLAIS, FRANCAIS

Type de cours : Cours hors séquence

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE PARIS -
SACLAY, CAMPUS DE RENNES

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 18

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

- Ce cours est une introduction à la philosophie. Il s'articule autour de différentes branches de la philosophie, notamment la philosophie morale et politique et la philosophie des sciences.

Cet enseignement poursuit quatre objectifs.

1. Introduire la discipline à travers son histoire, les grandes questions qu'elle aborde et les types de réponses qu'elle propose,

2. Comprendre et questionner la démarche scientifique à partir de connaissances en philosophie des sciences et épistémologie,

3. Initier et approfondir une réflexion sur le progrès scientifique et technique en lien avec le progrès social.

4. A partir de fondamentaux en philosophie morale et politique, proposer des ressources pour une réflexion sur l'éthique professionnelle (éthique des ingénieurs) et personnelle.

Les cours sont donnés sous forme de cours magistraux par deux spécialistes : Mathias Girel (ENS Ulm) et Etienne Klein (CEA)

Les exemples et les situations traitées sont pris dans différents domaines en lien avec les enjeux de société traités dans le cursus dès la première année. Ces exemples pourront être en lien avec l'actualité scientifique, technologique, politique et sociale. Cette variété de situations et de contextes a pour but de faciliter la compréhension et l'utilisation des concepts étudiés.

Chaque partie comprend une base théorique et des développements à partir d'exemples issus de l'histoire des sciences et des techniques et de l'histoire politique et sociale.



Principales notions abordées

4. Connaissance, ignorance
5. Vérité, preuve scientifique
6. Progrès technologique/progrès social
7. Pouvoir, démocratie, responsabilité
8. Ethique

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

ST7

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Chaque séance de cours dure 1h30, les séances sont regroupées en séquences de 3h

Introduction (3h) :

Qu'est-ce que la philosophie (perspective historique) ?

Quelles questions aborde la philosophie ? Comment construire une réflexion philosophique ?

Les questions abordées dans ce cours.

Partie 1 : introduction à la philosophie 3h

Cette partie du cours est une introduction à la philosophie Les questions suivantes seront abordées :

3. A quoi bon la philosophie ?
4. Philosophie et étonnement
5. La philosophie comme mode de vie
6. Que font les philosophes ?

Partie 2 : Philosophie des sciences 9h (3h+3h+3h)

Cette partie du cours interroge philosophiquement les savoirs scientifiques les plus contemporains.

- Information,
- Connaissance,
- Vérité
- Ignorance



A partir des savoirs issus de la physique (travaux d'Einstein) et leurs implications. Les questions suivantes sont abordées :

- Le temps
- L'efficacité des mathématiques en physique
- Progrès scientifique et technique/progrès social

Déroulement, organisation du cours

Ce cours se déroule sous forme de conférences.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est un travail individuel (dissertation), durée : 3H

Support de cours, bibliographie

Chaque intervenant transmettra une bibliographie relative à sa partie de cours.



2SL4000 – Sociologie des Organisations

Responsables : Cynthia COLMELLERE

Département de rattachement : SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

Langues d'enseignement : FRANCAIS, ANGLAIS

Type de cours : Cours hors séquence

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE METZ

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 12

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est une introduction à la sociologie des organisations. Cette partie de la sociologie étudie les comportements individuels et collectifs au sein de groupes humains constitués : les organisations.

Ce cours propose des connaissances théoriques et des savoirs méthodologiques en sociologie des organisations et en psychosociologie. L'objectif est d'apprendre aux élèves à les utiliser dans des contextes réels de résolution de problèmes et de changement.

Dans ce cours sont abordés les phénomènes principaux dans les organisations : décisions, stratégies, pouvoirs, négociations, conflits... Il permet également de comprendre les dysfonctionnements et les phénomènes de déviance dans les organisations. Une typologie des formes et des modes de fonctionnement des organisations permet aux élèves d'aborder un répertoire de situations-problèmes courantes.

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

SG6

Prérequis

Jeux d'entreprises, Gestion d'entreprise, Economie

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Séance 1 : introduction, cours 3h

- Présentation du cours et de ses objectifs.



- Introduction à la sociologie (concepts, méthodes, fondements, scientificité).
- Les notions d'organisation, d'institution, de groupe organisé.
- Les travaux fondateurs de la sociologie des organisations : F. W Taylor (doctrine, organisation scientifique du travail (OST) ; H. Ford (Fordisme), Toyotisme
- Les doctrines d'organisation du travail, la rationalisation du travail, de la révolution industrielle aux développements les plus récents du capitalisme (dématérialisation du travail, plate-formes),
- La notion de travail, l'individu au travail (dimensions subjectives et socialisations au travail)

Chaque notion est abordée d'un point de vue théorique et à partir d'exemples (situations, enquêtes) sous des formats variés (dont des extraits de films).

2. Séance 2 : Formel/informel, cours 1h30 et TD 1h30

Cours 1h30

- Normes et règles dans les organisations, respect, adaptations, contournements (travaux de JD Reynaud)
- Théories de la motivation (Maslow et Herzberg) et leurs limites
- La bureaucratisation des organisations : Travaux d'Henri Fayol, Max Weber, David Graeber, G. Chamayou

Chaque notion est abordée d'un point de vue théorique et à partir d'exemples (situations, enquêtes) sous des formats variés (dont des extraits de films).

TD (1h30) : études de cas

3. Séance 3 : Pouvoir et autorité, cours 1h30 et TD 1h30

Cours 1h30

- Notions de pouvoir, d'autorité, de légitimité, de domination. Travaux (M. Weber, M. Crozier, S. Milgram)
- Introduction et pratique de l'analyse stratégique et systémique des organisations
- Critiques de l'analyse stratégique des organisations et propositions : nouvelles approches de l'analyse des dynamiques humaines et sociales dans les organisations.

TD (1h30) Etude de cas

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement se compose de cours et de TD. Il associe apports théoriques, exercices, études de cas, mises en situation... Les exemples et les cas pratiques sont pris dans différents domaines : entreprises et industries, institutions (monde politique, de l'éducation), associations. Cette variété de situations et de contextes a pour but de faciliter la mise en oeuvre des concepts et méthodes proposés.

6 heures de cours et 3 heures de TD



Le cours est donné en français mais des textes de références (issus d'un manuel) sont donnés en anglais.

Un Td est proposé en anglais intégralement sur le campus de Gif, sur les campus de Rennes et Metz, l'un des deux Td est donné en français mais les interactions avec l'enseignant peuvent être en anglais.

Organisation de l'évaluation

Les modalités d'évaluation proposées sont les suivantes : Une évaluation individuelle : examen sur table de 3h, sans documents, questions de cours et étude de cas, 100 % note finale

Support de cours, bibliographie

Amblard, H., Bernoux, P., Herreros, G., Livian, Y.-F., Les nouvelles approches de la sociologie des organisations, Paris, Seuil, 2007 (3ème édition augmentée).

Ballé C., La sociologie des organisations, 4

Bidet, A., Borzeix, A. Pillon, T., Rot, G. et F. Vatin (coordinateurs) (2006). Sociologie du travail et activité, Toulouse : Octarès Editions, 2006.

Chamayou G. La société ingouvernable. Une généalogie du libéralisme autoritaire, Paris, La Fabrique, 2018

Crozier M., Le phénomène bureaucratique, Paris, Seuil, 1963

Crozier M., Friedberg E., L'acteur et le système, Paris, Seuil, 1977.

Graeber, D. Bureaucratie. L'utopie des règles, Paris, Les Liens qui libèrent, 2015,

Hely, M., Moulevrier, P., L'économie sociale et solidaire, de l'utopie aux pratiques, Paris, La Dispute, 2013.

Linhart, R. L'établi, Paris, Editions de minuit, 1978.

Seris, J.-P., Qu'est-ce que la division du travail, Paris, Vrin, 1994.

Stroobants, M., Sociologie du travail, Paris, Amand Colin, 2010 (3ème édition).

Terkel S., Working, Histoires orales du travail aux Etats-Unis, Paris, Editions Amsterdam, 2005 (1st Edition 1972, 1974)

Weber M., L'Éthique protestante et l'esprit du capitalisme, Paris, Plon, 1964.

Weber M., Économie et Société, Paris, Plon, 1971

Weber M., La domination, Paris, La Découverte, coll. « Politique & sociétés », 2013, édition critique française établie par Yves Sintomer, traduction française par Isabelle Kalinowski

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Cynthia Colmellere
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 40
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : sans objet



- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : sans objet

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Acquérir des méthodes et pratiques de raisonnement pour expliquer les comportements en référence à des intérêts, des stratégies, des valeurs, des expériences
- Acquérir une façon d'analyser les problèmes dans les organisations qui met à distance les explications limitées à la personnalité ou aux caractéristiques psychologiques individuelles.
- Comprendre les échecs et les réussites dans des démarches de changement dans les organisations.
- Appréhender la complexité systémique dans les organisations (entreprises, institutions, administrations) en prenant en compte les dimensions humaines et sociales et le contexte.
- Comprendre la force des logiques d'acteurs au niveau individuel et au niveau collectif

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Savoir analyser les situations courantes dans les organisations qui met à distance les explications limitées à la personnalité ou aux caractéristiques psychologiques individuelles.
- Savoir analyser les échecs et les réussites dans des démarches de changement dans les organisations.



2SL5000 – Ateliers Pratiques Ingénieur - API

Responsables : Philippe MOUSTARD, Christophe LAUX

Département de rattachement : LEADERSHIP ET MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours hors séquence

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE PARIS - SACLAY

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21

Quota :

ECTS Erasmus : 1

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours s'inscrit dans la suite du cours 1SL5000. Il vise à ancrer les compétences abordées dans les ateliers de première année et à en aborder de nouvelles, de façon à couvrir les bases des compétences attendues d'un ingénieur CentraleSupélec : travail en équipe, gestion de projet, communication, approche de problèmes complexes, créativité, leadership, éthique, aisance dans un environnement multiculturel.

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

ST5, SG6, ST7 et SG8

Prérequis

Il est fortement recommandé d'avoir suivi le cours 1SL5000.

Les ateliers se déroulent en français. Les notes de prise de recul ou de synthèse pourront être rédigées en anglais.

Plan détaillé du cours (contenu)

Compétences-clés de l'ingénieur :

- travail en équipe : s'organiser, décider, animer en équipe ; différents rôles des membres de l'équipe ; influence de la personnalité sur la performance de l'équipe



- communication orale : augmenter son impact en communication orale, prendre la parole en public, structurer une synthèse, construire une présentation
- approche de la résolution de problèmes complexes : savoir bien les poser, gérer l'incertitude, robustesse des hypothèses, ordres de grandeur
- créativité : méthodes de créativité de groupe
- leadership et connaissance de soi
- multiculturel : s'ouvrir aux autres, savoir s'adapter à un environnement différent
- éthique : agir avec éthique, comprendre les conséquences de ses choix

API 8 : Ethique

API 9 : Leadership

API 10 : Multiculturel

API 11 : Coaching projet à la carte

API 12 : Coaching projet à la carte

API 13 : Coaching projet à la carte

Déroulement, organisation du cours

- Etudes de cas en équipe
- Mises en situation
- Forte participation des élèves demandée
- Mise en oeuvre des apports sur un projet réel
- Travail inter ateliers et notes de prise de recul

Organisation de l'évaluation

La présence aux ateliers est obligatoire car toute absence pénalise l'apprentissage de l'élève et handicape le groupe.

La participation de chaque élève durant les ateliers est évaluée car c'est une condition nécessaire à l'apprentissage des compétences.

Les travaux, individuels ou en équipe, demandés pendant les ateliers ou entre les ateliers sont évalués. Le respect des délais intervient dans l'évaluation.

Les travaux en équipe donnent lieu à une évaluation collective pour l'équipe (sauf cas flagrant de retrait de l'équipe).

Les notes de prise de recul sont évaluées sur la base de leur remise dans le délai prévu et de leur qualité de réflexion personnelle, sans jugement sur les avis exprimés dès lors qu'ils sont argumentés.

Les éventuels mini-quizzs en début d'atelier, portant sur les apports des ateliers précédents, seront évalués.

La note de chaque semestre sera basée sur :

- Productions lors des cas pratiques en équipe
- Travaux inter-ateliers (TIA) : travail effectué, qualité du travail, NPR présente et exprimant du recul



- Qualité de participation en atelier
 - Résultat de l'éventuel mini-quizz
- Une absence injustifiée (ABI) conduit à une pénalité de 2 points par demi-journée d'absence

Moyens

Ateliers de 30 à 40 élèves, animés par deux enseignants

Travail sur cas pratiques d'ingénieur

Mises en situation

Echanges en groupes et avec des intervenants extérieurs

Conférences

Analyses de films et vidéos

Un lien étroit avec le projet de deuxième année permet d'appuyer les apports théoriques sur les expériences concrètes des élèves en projet

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève aura assimilé les bases de:

- travail en équipe
- communication scientifique orale, pour convaincre
- résolution de problèmes complexes
- techniques de créativité
- leadership
- évolution en milieu multiculturel
- action éthique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin du cours, l'élève aura poursuivi sa progression dans les compétences suivantes :

- résolution de problèmes complexes (C1)
- être proactif, prendre des initiatives, proposer des solutions nouvelles (C3)
- penser client et savoir identifier la valeur apportée (C4)
- familiarisation avec l'interculturel (C5)
- savoir convaincre (C7)
- mener un projet et travailler en équipe (C8)
- agir de façon éthique (C9)



2SL7000 – Ateliers Pratique Professionnelle - APP - 2A

Responsables : Philippe MOUSTARD, Christophe LAUX

Département de rattachement : LEADERSHIP ET MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours hors séquence

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE RENNES

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 7

Quota :

ECTS Erasmus : 1 (S7) – 0,5 (S8)

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à poursuivre l'accompagnement des étudiants dans la découverte du métier d'ingénieur et dans la construction de leur projet professionnel

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

ST5, SG6, ST7, et SG8

Prérequis

Avoir effectué le stage d'exécution

Les ateliers se déroulent en français. Les notes de prise de recul ou de synthèse pourront être rédigés en anglais.

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours comprend :

- une demi-journée consacrée à un retour d'expérience partagé suite au stage d'exécution
- un atelier pour construire son projet professionnel
- deux entretiens individuels avec un des enseignants-accompagnateurs
- des tables-rondes métier

Déroulement, organisation du cours

- travail en groupe



- partage d'expériences
- entretiens individuels
- notes de synthèses ou de prise de recul individuelles
- échange avec des représentants d'entreprises

Organisation de l'évaluation

La présence active aux ateliers et aux entretiens individuels est obligatoire.

Au global, le cours est évalué en "pass or fail".

Pour valider les APP de chaque semestre, les conditions suivantes devront être toutes respectées : - Etre présent aux ateliers en collectif (Retour expérience stage exécution, projet professionnel) - Avoir préparé et effectué l'entretien individuel de chaque semestre- Avoir remis la note de prise de recul sur le stage exécution dans le délai requis - Avoir suivi 2 tables rondes métiers (TRM)

Une note de prise de recul finale sur le projet professionnel pourra être demandée. La qualité de la réflexion personnelle et le respect des délais seront pris en compte dans l'évaluation.

Support de cours, bibliographie

à compléter

Moyens

Ateliers de 30 à 40 élèves, guidés par deux enseignants-accompagnateurs



2SL8000 – Projet S7

Responsables : Laurent BOURGOIS

Département de rattachement : ENERGÉTIQUE

Langues d'enseignement : ANGLAIS, FRANCAIS

Type de cours : Cours hors séquence

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE PARIS

- SACLAY, CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 36

Quota :

ECTS Erasmus : 0

Présentation, objectifs généraux du cours

Un projet est une modalité de travail collective utilisée pour appréhender des problèmes complexes ouverts. Son efficacité dépend des compétences individuelles de chacun et des pratiques de fonctionnement de l'équipe ; l'objectif étant d'aboutir à un produit final pour un commanditaire, en un temps donné. Les projets proposés dans la formation ingénieur permettent l'apprentissage de cette modalité par des mises en situation de plus en plus complexes. Les projets doivent conduire à une réalisation ambitieuse, que l'on ne pourrait pas atteindre en refaisant ce que l'on sait déjà faire.

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

ST5 et SG6

Prérequis

Gestion de projets, Ateliers API

Plan détaillé du cours (contenu)

Les projets suivent les phases habituelles d'un projet :

- * Définir et cadrer le projet
- * Structurer les actions, définir les rôles et les responsabilités
- * Mesurer les avancements et reboucler les actions
- * Monter en compétences techniques et organisationnelle
- * Communiquer ses réalisations
- * Capitaliser sur l'expérience acquise



Déroulement, organisation du cours

L'avancement du projet s'accompagne d'interactions nombreuses et variées avec l'environnement du projet. Il repose sur des actions individuelles et collectives. On retrouvera (1) des temps collectifs à l'échelle du Pôle pour la transmission de bonnes pratiques et de connaissances, (2) un travail personnel à définir au sein du groupe, (3) un travail collectif d'alignement et de pilotage du groupe projet. Les encadrants suivront le projet régulièrement pour s'assurer qu'aucun blocage n'apparaît et pour valider les démarches entreprises.

Organisation de l'évaluation

Bien qu'il n'y ait pas d'évaluation pour ce projet S7 facultatif, les encadrants seront attentifs à la participation continue en cours d'année, à la qualité du rapport écrit et aux présentations orales réalisées au cours du projet. Ces contributions seront regardées sous quatre angles différents :

- * la prise d'initiatives voire de risques
- * la pertinence des solutions proposées
- * la capacité à convaincre sur le fond du sujet et à instaurer un climat de confiance
- * le fonctionnement de l'équipe en mode projet

Moyens

Les projets sont menés en groupe. Chaque projet est rattaché à un Pôle où sont rassemblés les projets de même nature. Les pôles mettent à disposition des ressources d'encadrement et des moyens logiciels et matériels. Les étudiants peuvent demander à rejoindre un pôle ou un projet spécifique, ils peuvent également proposer de mener un projet personnel avec une équipe constituée qui sera hébergée dans un pôle. Les responsables de pôle choisissent les étudiants les plus motivés. Il n'y a ni campagne d'affectation, ni reconnaissance en termes de crédits pour ce projet S7 facultatif.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- * de résumer son action personnelle au sein d'un projet
- * de produire un livrable à grande valeur ajoutée en lien avec des parties prenantes variées
- * d'organiser une équipe pour produire une solution originale, de valeur, à un problème complexe
- * de prévoir les conséquences humaines, sociales et environnementales de ses actions, et de déterminer le champ de ses responsabilités



* de préparer une communication claire et rigoureuse à propos des réalisations et du fonctionnement du projet

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Des jalons seront franchis dans les compétences suivantes :

- * C3 – Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique
- * C4.2 – Avoir identifier la valeur apportée par une solution pour un client, le marché. Savoir discerner les opportunités et les saisir
- * 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
- * C8.3 – Faire appel à l'expertise des autres et repousser ses propres limites. Identifier et exploiter les richesses et les talents



2SL8100 – Projet long

Responsables : Laurent BOURGOIS

Département de rattachement : ENERGÉTIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS, ANGLAIS

Type de cours : Cours hors séquence

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE
RENNES, CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 200

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 96

Quota :

ECTS Erasmus : 9

Présentation, objectifs généraux du cours

Un projet est une modalité de travail collective utilisée pour appréhender des problèmes complexes ouverts. Son efficacité dépend des compétences individuelles de chacun et des pratiques de fonctionnement de l'équipe ; l'objectif étant d'aboutir à un produit final pour un commanditaire, en un temps donné. Les projets proposés dans la formation ingénieur permettent l'apprentissage de cette modalité par des mises en situation de plus en plus complexes. Les projets doivent conduire à une réalisation ambitieuse, que l'on ne pourrait pas atteindre en refaisant ce que l'on sait déjà faire.

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

ST7 et SG8

Prérequis

Gestion de projets, Ateliers API

Plan détaillé du cours (contenu)

Les projets suivent les phases habituelles d'un projet :

- * Définir et cadrer le projet
- * Structurer les actions, définir les rôles et les responsabilités
- * Mesurer les avancements et reboucler les actions
- * Monter en compétences techniques et organisationnelles
- * Communiquer ses réalisations
- * Capitaliser sur l'expérience acquise



Déroulement, organisation du cours

L'avancement du projet s'accompagne d'interactions nombreuses et variées avec l'environnement du projet. Il repose sur des actions individuelles et collectives. On retrouvera (1) des temps collectifs à l'échelle du Pôle pour la transmission de bonnes pratiques et de connaissances, (2) un travail personnel à définir au sein du groupe, (3) un travail collectif d'alignement et de pilotage du groupe projet. Les encadrants suivront le projet régulièrement pour s'assurer qu'aucun blocage n'apparait et pour valider les démarches entreprises.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation porte sur la participation continue en cours d'année, la qualité du rapport écrit et les présentations orales réalisées au cours du projet. Ces contributions seront regardées sous quatre angles différents :

- * la prise d'initiatives voire de risques
- * la pertinence des solutions proposées
- * la capacité à convaincre sur le fond du sujet et à instaurer un climat de confiance
- * le fonctionnement de l'équipe en mode projet

Moyens

Les projets sont menés en groupes. Chaque projet est rattaché à un Pôle où sont rassemblés les projets de même nature. Les Pôles mettent à disposition des ressources d'encadrement et des moyens logiciels et matériels. Les étudiants peuvent demander à rejoindre un Pôle ou un projet spécifique, ils peuvent également proposer de mener un projet personnel avec une équipe constituée qui sera hébergé dans un Pôle. Tous les étudiants participent à une campagne d'affectation en ligne. Les responsables de Pôle choisissent les étudiants les plus motivés.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- * de résumer son action personnelle au sein d'un projet
- * de produire un livrable à grande valeur ajoutée en lien avec des parties prenantes variées
- * d'organiser une équipe pour produire une solution originale, de valeur, à un problème complexe
- * de prévoir les conséquences humaines, sociales et environnementales de ses actions, et de déterminer le champs de ses responsabilités
- * de préparer une communication claire et rigoureuse à propos des réalisations et du fonctionnement du projet



Description des compétences acquises à l'issue du cours

Des jalons seront franchis dans les compétences suivantes :

- * C3 – Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique
- * C4.2 – Avoir identifier la valeur apportée par une solution pour un client, le marché. Savoir discerner les opportunités et les saisir
- * 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
- * C8.3 – Faire appel à l'expertise des autres et repousser ses propres limites. Identifier et exploiter les richesses et les talents.



2SL9000 – Sport

Responsables : Stéphane BLONDEL

Département de rattachement : SPORTS

Langues d'enseignement :

Type de cours : Cours hors séquence

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE METZ

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 0

Présentation, objectifs généraux du cours

Contribuer, par la pratique des activités physiques sportives et d'expression (APSA), à la formation du futur **cadre citoyen**.

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

S7 et S8

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

spécifique à chaque APSA

Déroulement, organisation du cours

Situation à résolution de problèmes,

Organisation de l'évaluation

Contrôle en cours de formation Auto-évaluation

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

1. Gérer le couple risque/sécurité
2. Intégrer une démarche « éco citoyenne »



3. Utiliser une méthodologie de projet collectif.
4. Prendre des responsabilités au sein d'un groupe, d'une équipe, d'une association.
5. Être capable de communiquer, être à l'écoute.
6. Faire preuve d'innovation et de créativité
7. Entrer dans une logique de développement personnel
8. Se former tout au long de sa vie

Description des compétences acquises à l'issue du cours

1-Distinguer les situations à risque perçu (subjectif) des situations à risque réel (objectif) pour soi et autrui (C3-4, C9-1, C9-2, C9-3, C9-4)

Maîtriser des attitudes permettant d'assurer la sécurité individuelle et collective (C3-4, C9-1, C9-2, C9-3, C9-4)

Gérer ses émotions en situation d'opposition, de compétition, de représentation ou d'incertitude (C3-4, C7-3, C9-1, C9-2, C9-3, C9-4)

2-Agir dans le respect de soi et des autres – prendre en compte les différences (handicap, cultures...) (C3-4, C3-7, C5-2, C7-2, C7-3, C9-1, C9-2, C9-3, C9-4)

Agir dans le respect de l'environnement, des lieux de pratique et du matériel (C3-4, C7-3, C9-1, C9-2, C9-3, C9-4)

Faire preuve d'empathie, d'altruisme (C3-4, C7-3, C9-1, C9-2, C9-3, C9-4)

3-Définir des objectifs communs atteignables (C8-1, C8-2, C8-3, C8-4)

Définir et répartir les rôles au sein du groupe (C3-2, C7-2, C7-3, C8-1, C8-2, C8-3, C8-4)

Prendre et accepter des décisions (C3-2, C8-1, C8-2, C8-3, C8-4)

Réguler et assurer le suivi d'un projet collectif (C3-2, C8-1, C8-2, C8-3, C8-4)

4-Accepter les rôles et assumer les responsabilités liées aux missions (y compris financières) (C8-1, C8-2, C8-3, C8-4)

Utiliser des leviers de motivation d'une équipe, d'un individu (C8-1, C8-2, C8-3, C8-4)

Former ses pairs (C8-1, C8-2, C8-3, C8-4)

5-Adapter sa communication au groupe, à l'individu, aux non spécialistes... (C8-1, C8-2, C8-3, C8-4)

Utiliser la communication verbale et non verbale (C8-1, C8-2, C8-3, C8-4)

Gérer les conflits (C8-1, C8-2, C8-3, C8-4)



Faire un usage approprié des TIC (technologie de l'information et de la communication) (C8-1, C8-2, C8-3, C8-4)

6-Imaginer des solutions originales (C3-1, C3-4, C3-7, C8-2)

Oser sortir de sa zone de confort (C3-1, C3-4, C3-7, C8-2)

S'engager dans un processus de création (C3-1, C3-4, C3-7, C8-2, C8-3)

7-Adapter son échauffement et son entraînement à son profil (C2-2, C2-3, C9-1)

Connaître ses points forts et ses points faibles (C2-2, C2-3, C9-1)

8-Se remettre en question pour évoluer dans ses pratiques (C2-2, C2-3, C9-1)

Planifier sa pratique en vue d'un objectif (C2-2, C2-3, C9-1)



COURS ELECTIFS 2A



2EL0010 – Teaching assistant

Responsables : Jocelyn FIORINA, Charles PAILLARD
Département de rattachement : MATHÉMATIQUES, PHYSIQUE
Langues d'enseignement : FRANCAIS, ANGLAIS
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Teaching Assistant Physique: ce cours consiste à donner des cours de renforcement et de soutien aux élèves de 1^{ère} année dans le cadre de leur cours de Physique Quantique. Il représente donc une formidable opportunité de s'initier à la pédagogie en vue d'une potentielle carrière d'enseignant ou bien pour postuler à d'éventuelles positions de Teaching Assistant dans de fameuses universités nord-américaines. L'objectif est donc que vous appreniez à (i) transmettre vos connaissances et compréhension à un public encore non-expert, et (ii) accompagner un élève dans sa progression vers un objectif de validation de connaissance et compréhension du cours de Mécanique Quantique.

Teaching assistant Mathématiques: ce cours consiste à donner des cours de renforcement et de soutien aux élèves de 1^{ère} année pré-sélectionnés dans le cadre de leurs cours de Mathématiques CIP-EDP. En suivant ce cours, vous vivrez une expérience personnelle enrichissante en aidant vos camarades de première année et vous toucherez du doigt les différences culturelles dans l'enseignement des mathématiques. De plus, vous intégrerez pour un temps l'équipe pédagogique du département de mathématiques et pourrez avoir des échanges privilégiés avec les enseignants-chercheurs. Enfin, vous pourrez valoriser l'acquisition de compétences de pédagogie et de savoir convaincre comme marqueurs différenciants de votre formation. En particulier, si vous souhaitez faire un double diplôme dans une université américaine ou britannique, vous pourrez valoriser cette expérience en vue d'obtenir un ou des teaching assistantships et être partiellement ou totalement dispensé(e) de frais de scolarité.



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

SG6 et SG8

Plan détaillé du cours (contenu)

Teaching Assistant de Physique : un cours introductif donnera les éléments nécessaires à la construction des objectifs pédagogique, à la construction de qcms et aux notions de scénarisation et d'alignement pédagogique. Cependant, la majorité de ce cours est du type do-it yourself. Vous serez réparti en binôme en charge d'un groupe d'une quinzaine d'étudiants de première année présentant de potentielles difficultés car provenant de parcours non-classiques. Il y aura dix séances de 1h, chaque séance se focalisant sur un chapitre du cours de Mécanique Quantique. Pour chaque séance, un binôme sera en charge de la définition des objectifs d'apprentissage pédagogique et de la réalisation d'un qcm testant ces objectifs pédagogiques. La séance de 1h sera, pour chaque binôme, consacrée à la correction des qcm avec leur groupe attiré. Il leur sera demandé de se focaliser sur les points de difficultés rencontrés pour aider à la progression des élèves de 1ère année

Teaching Assistant en Mathématiques : un kick-off meeting réunira les Teaching Assistant et les professeurs encadrant afin de présenter les activités de l'année, leurs objectifs et leur organisation. Des binômes ou trinômes de Teaching Assistant encadreront tout au long de l'année une dizaine d'étudiant de première année et auront un professeur référent pour les guider dans cette activité. Chaque séance de Modalité Renforcée sera précédée d'un briefing avec le professeur référent, les TA proposeront leur plan pour la séance dans une fiche synthétique, et un debriefing aura lieu après la séance.

Les séances de Modalite Renforcée ont pour but de préparer les élèves de 1A (présentations de concepts fondamentaux, exercices) afin qu'ils puissent suivre le cours magistral de CIP-EDP dans de bonnes conditions. La séance de Modalité Renforcée précède de quelques jours la séance de cours magistral.

Déroulement, organisation du cours

Teaching assistant de Physique : Cours introductif et mise en situation (binôme assurant 10 classes de 1h avec un effectif de 15 élèves de première année, conception de qcm).

Teaching Assistant en Mathématiques : Des binômes ou trinômes de Teaching Assistant encadreront tout au long de l'année une dizaine d'étudiants de première année et auront un professeur référent pour les guider dans cette activité. Chaque séance de Modalité Renforcée sera précédée d'un briefing



avec le professeur référent, les TA proposeront leur plan pour la séance dans une fiche synthétique, et un debriefing aura lieu après la séance.

Attention : il n'est pas possible d'être Teaching Assistant en Physique ET en Maths, mais seulement dans l'un ou dans l'autre.

Organisation de l'évaluation

Teaching assistant de Physique : vous serez évalué en binôme sur la qualité du qcm construit et sur l'animation d'une séance de cours.

Teaching assistant en Mathématiques : vous serez évalué sur les qualités pédagogiques et scientifiques de vos cours, et sur la rigueur et la discipline dans le suivi du dispositif (préparation des briefings, debriefs) et le suivi des élèves 1A.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Teaching Assistant Physique : à la fin de ce cours, les élèves sauront (1) mettre en place une grille d'objectifs pédagogiques, (2) créer une évaluation de type qcm adaptée aux objectifs d'apprentissage pédagogiques, et (3) scénariser et animer une séance en face d'une classe d'une quinzaine d'élèves

Teaching Assistant en Mathématiques : Compétences de pédagogie, d'encadrement et de savoir convaincre.



2EL1110 – Systèmes dynamiques en neuroscience

Responsables : Antoine CHAILLET

Département de rattachement : AUTOMATIQUE

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet électif 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)

SG6

Prérequis

- SG1 : Systèmes d'information et programmation
- SG1 : Convergence, Intégration, Probabilités, Equations aux dérivées partielles
- ST2 : Modélisation
- ST4 : Traitement du signal
- ST5 : Automatique



Plan détaillé du cours (contenu)

Chapitre 1 : Bases physiologiques et fonctions cérébrales (CM : 6h)

Ce premier chapitre présente les bases physiologiques de l'activité neuronale. Il décrit les principes élémentaires impliqués dans la génération d'un potentiel d'action et la communication entre neurones (soma, axone, dendrite, synapse, canaux ioniques, potentiel de repos), ainsi que la plasticité cérébrale et les mécanismes de régulation homéostatique. Il décrit les principes physiques et biologiques qui sous-tendent ces comportements. Il aborde enfin les principales fonctions cérébrales (mémoire, systèmes moteurs, olfactifs et visuels) et leur altération en conditions pathologiques, notamment au travers de l'étude des oscillations cérébrales.

Chapitre 2 : Mesure et actionnement de l'activité cérébrale (CM : 3h)

Ce deuxième chapitre traite des différentes techniques de mesure de l'activité cérébrale, notamment les techniques électrophysiologiques (patch-clamp, enregistrement multi-unités, LFP, EEG, MEG) et l'imagerie (IRM, 2-photons). Il explique la nature des signaux mesurés et en compare les résolutions spatiales et temporelles. Il décrit également les différentes techniques utilisées pour influencer l'activité cérébrale, notamment au travers de la stimulation électrique et de l'optogénétique.

Chapitre 3 : Interfaces cerveau-machine (CM : 4.5h)

Ce sixième chapitre aborde le développement d'interfaces cerveau-machine, aussi appelées neuroprothèses. Ces dispositifs sont conçus pour restaurer l'autonomie de patients amputés ou tétraplégiques. Leur mise en place chez l'animal et l'humain nous renseigne en parallèle sur le fonctionnement et l'apprentissage dans les boucles sensorimotrices naturelles. Le chapitre détaille les différentes composantes de ces interfaces : enregistrement de l'activité neuronale invasive (ECoG, électrophysiologie corticale) ou non (EEG), traitement des signaux et algorithmes de commande motrice, retour sensoriel de la neuroprothèse vers le cerveau. Il évoque également la mise en jeu de mécanismes de plasticité cérébrale, notamment au niveau cortical, sur lesquels le développement d'interfaces peut s'appuyer pour optimiser l'apprentissage.

Chapitre 4 : Modèles mathématiques de neurones (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, ainsi qu'une modélisation simple de la synapse et des mécanismes de plasticité neuronale. La simulation numérique de ces modèles est également abordée.

Chapitre 5 : Analyse des modèles neuronaux (CM : 6h, TP : 3h)



Ce chapitre présente des outils mathématiques utilisés dans l'analyse du comportement neuronal. Il présente pour cela la notion de diagramme de phase et de bifurcations. Ces notions sont d'abord présentées pour des modèles unidimensionnels, puis sur des modèles bidimensionnels. Le chapitre établit un lien entre ces bifurcations et le comportement qualitatif du neurone. Un TP sur Matlab-Simulink vise à implanter un modèle de neurones à conductance et à prédire son comportement par les outils théoriques présentés.

Chapitre 6 : Populations neuronales (CM : 3h, TP : 3h)

Ce cinquième chapitre s'intéresse à la dynamique d'un ensemble de neurones ou d'une structure cérébrale. Il présente des modèles simplifiés de l'activité d'une population neuronale tels que le modèle de Wilson-Cowan ou les champs neuronaux. Il montre comment prédire le comportement de tels modèles par une analyse de stabilité ou de bifurcations. Lors d'un TP sur Matlab-Simulink, les élèves étudieront le phénomène de rivalité binoculaire au travers d'un modèle simple de populations neuronales.

Conférence : Exemple de création de start-up (1.5h)

Une conférence du co-fondateur et responsable scientifique de la société Rythm conclut ce cours en présentant des innovations industrielles récentes (mesures non-invasives de l'activité cérébrale, reconnaissance de motifs dans les signaux électrophysiologiques) ainsi que les opportunités que représentent les neurosciences pour l'industrie et l'entrepreneuriat.

Déroulement, organisation du cours

CM, TD, TP, travail hors présentiel.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est faite sur la base d'un examen écrit sans documents (2h) en fin de cours et sur les rapports des deux TP. La pondération envisagée est : 60% sur l'examen écrite et 20% sur chaque TP. Toute absence non justifiée en TP conduira à un zéro à la note de TP. Les compétences seront évaluées au travers des rapports de TP et de l'examen écrit. Les compétences C1.2 et C1.3 seront approfondies lors des séances 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

Une équipe enseignante pluri-disciplinaire incluant des chercheurs en neurosciences computationnelles, un neurochirurgien, un enseignant-chercheur en Automatique et un créateur d'entreprise.

Les TP seront effectués sur des postes disposant de 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".



2EL1120 – Systèmes Robotiques Interactifs

Responsables : Maria MAKAROV
Département de rattachement : AUTOMATIQUE
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le paysage de la robotique industrielle et de service évolue aujourd'hui rapidement avec le développement de **robots collaboratifs conçus pour interagir physiquement avec l'homme**, et à partager un même espace de travail voire une même tâche. Les robots collaboratifs ouvrent de nombreuses perspectives tant dans le contexte de **l'usine du futur** que dans le domaine de **l'assistance à la personne**. L'interaction homme-robot se situe aujourd'hui au cœur des préoccupations de la robotique et nécessite une approche **pluridisciplinaire** pour concevoir des systèmes sûrs et performants à la pointe de la technologie.

Les thématiques abordées dans ce cours permettent de comprendre les enjeux de la robotique interactive et les aspects techniques associés à ces **systèmes complexes en interaction avec l'homme ou leur environnement**. Ce cours a pour objectif de présenter le contexte, les outils méthodologiques fondamentaux ainsi que les thématiques actuelles liés aux manipulateurs robotiques et leur interaction avec l'homme.

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

SG8

Prérequis

- Automatique (ST5)
- Connaissances de base de mécanique des corps rigides à acquérir si besoin en autoformation



Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction, bref historique, contexte industriel et recherche
- Bases de la modélisation en robotique (géométrie, cinématique)
- Modélisation dynamique, identification et commande
- Téléopération à retour d'effort
- Robotique collaborative
- Introduction à ROS (Robot Operating Software)

Déroulement, organisation du cours

Les cours magistraux illustrés par des exemples seront alternés avec des séances de TD/TP sur ordinateur (en binôme/trinôme) pour mettre en pratique les notions présentées sur un cas d'étude représentatif. Les séances de TD/TP en présentiel pourront nécessiter un travail personnel préparatoire hors classe.

- **TD#1 et TD#2** : illustration des concepts de modélisation robotique sous Matlab/Simulink ou python
- **TD#3 et TD#4** : introduction à ROS (Robot Operating Software) et application aux manipulateurs robotiques

Répartition horaire :

- 9. Cours : 21h
- 10. TD/TP : 12h
- 11. Évaluation finale (quizz) : 2h

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu : Compte-rendu écrit de TD/TP et code fonctionnel commenté [50% de la note finale]; Évaluation finale : Quizz écrit avec documents (2h) [50% de la note finale]. Présence contrôlée en TD/TP, pouvant donner lieu à pénalité sur la note de compte-rendu. Une absence non justifiée en séance de TD/TP entraîne la note zéro à la séance concernée.

Support de cours, bibliographie

- **Supports de cours** : Recueil des transparents utilisés en cours
- 7. **Bibliographie** : W. Khalil, E. Dombre, "Modeling, Identification and Control of Robots", Butterworth-Heinemann, 2004.



Moyens

- **Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) :**
Maria Makarov, Mathieu Grossard (CEA LIST Laboratoire de Robotique Interactive), Franck Geffard (CEA LIST Laboratoire de Robotique Interactive), Xavier Lamy (CEA LIST Laboratoire de Robotique Interactive), Alex Caldas (ESME Sudria)
- **Taille des TD :** groupes de 18 élèves maximum
- **Outils logiciels** et nombre de licence nécessaire :
 - a. Matlab/Simulink, licence campus (illimitée)
 - b. python (gratuit)
 - c. ROS (gratuit ; fourniture d'une machine virtuelle sous Ubuntu avec ROS installé)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Décrire le contexte actuel (à travers les principaux enjeux techniques, applicatifs et économiques associés) de la robotique interactive vue comme un domaine pluridisciplinaire autour de l'interaction homme-robot et robot-environnement. Décrire les éléments matériels et logiciels principaux constituant un tel système robotique.
- Établir les modèles géométrique, cinématique et dynamique d'un robot manipulateur.
- Choisir une structure de commande appropriée selon le type d'application robotique envisagée et en régler les paramètres de manière à répondre au compromis performance/robustesse.
- Modéliser un robot manipulateur en contact avec un humain ou avec un environnement passif ; déterminer les conditions de stabilité du système global asservi en conditions de téléopération ou de collaboration.
- Utiliser des outils logiciels (Matlab/Simulink ou python, ROS) pour construire et simuler des modèles de robots manipulateurs vus comme des systèmes dynamiques.
- Maîtriser la communication scientifique et technique (par l'intermédiaire du compte rendu de TD)



Description des compétences acquises à l'issue du cours

- « Etablir les modèles géométrique, cinématique et dynamique d'un robot manipulateur » et « Modéliser un robot manipulateur en contact avec un humain ou avec un environnement passif » s'inscrivent dans **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**
- « Choisir une structure de commande appropriée selon le type d'application robotique envisagée et en régler les paramètres de manière à répondre au compromis performance/robustesse » et « déterminer les conditions de stabilité du système global asservi en conditions de téléopération ou de collaboration » s'inscrivent dans **C1.1 "Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines" – jalon 1** ; et dans **C1.4 "Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe" – jalon 2**
- « Utiliser des outils logiciels pour construire et simuler des modèles de robots manipulateurs vus comme des systèmes dynamiques » s'inscrit dans **C6.1 "Identifier et utiliser au quotidien les logiciels nécessaires pour son travail (y compris les outils de travail collaboratif)" - jalon 1** ; et **C1.3 "Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation" – jalon 3B**
- « Maîtriser la communication scientifique et technique (par l'intermédiaire du compte rendu de TD) » s'inscrit dans **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**



2EL1130 – Systèmes dynamiques multi-agents. Application au vol en formation de drones

Responsables : Cristina MANIU

Département de rattachement : AUTOMATIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Nombreuses sont les applications qui font intervenir une formation de plusieurs systèmes autonomes, capables de coopérer dans un environnement précis et de se reconfigurer pour la réussite de la mission. Notamment, le vol en formation (drones, satellites, etc.), la fluidité de la circulation automobile ou le comportement des piétons dans une foule permettent de mettre en avant la notion de système dynamique multi-agents.

Dans le cadre de missions de sauvetage (extinction de feux à large échelle, recherche de victimes suite à des avalanches ou de boîtes noires dans un vaste environnement, etc.), la coordination et la commande d'une flotte de véhicules deviennent un élément clé de la réussite. Ces missions multi-agents posent des questions de répartition des tâches entre les agents, de planification de trajectoire, et induisent des problématiques de commande en temps réel sous contraintes etc. Les thématiques abordées dans ce cours permettront aux étudiants de comprendre les concepts et les défis liés aux systèmes dynamiques multi-agents à partir d'une application sur une formation de drones.

Des expérimentations sur des drones Parrot (Mambo, Bebop), ainsi que sur la plateforme Robotarium sont prévues dans le cadre de ce cours.

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

SG8



Prérequis

Automatique (ST5), Optimisation (ST7)

Plan détaillé du cours (contenu)

Le contenu de ce cours est totalement nouveau par rapport aux cursus précédents de l'Ecole. Ce cours s'appuie sur une **collaboration avec Parrot Drones, ONERA et le laboratoire Heudiasyc**.

Le plan proposé est le suivant :

- Introduction : bref historique, contexte industriel et académique ;
- Modélisation dynamique des systèmes multi-agents (MAS) ;
- Outils spécifiques MAS : notions de flotte / essaim et de formation, graphe de communication, consensus ;
- Modélisation et prise en main de drones Parrot ;
- Structures de commande de systèmes multi-agents ;
- Prise en compte des contraintes dans la loi de commande coopérative ;
- Raffinement des lois de commande et analyse des résultats ;
- Ouverture vers les systèmes multi-agents dans les missions spatiales.

Une étude de cas tutoré est prévue en fil conducteur tout au long de ce module, permettant de tester à la fois en simulation et sur une flotte de drones réels les concepts étudiés.

Déroulement, organisation du cours

Ce module est composé de séances type **cours interactif** alternées avec des **TD** et une **étude de cas** qui servira de fil conducteur pendant toute la durée du module électif pour concrétiser l'implantation sur des drones. L'étude de cas suivra la progression du cours, comme un complément permettant l'acquis des compétences d'ordre pratique. Des méthodes de pédagogie active du type *Apprentissage par Problèmes (APP)* en petits groupes tutorés sont envisagées pendant les études de cas sur l'application à une formation de drones.

Les élèves découvriront les systèmes dynamiques multi-agents par une succession d'exemples, d'exercices de réflexion, de discussions et d'orientation théorique et pratique. Une estimation du volume horaire (35h en présentiel) est la suivante : 18h type cours interactif, 6h pour les TD, 9h pour l'étude de cas et 2h pour l'évaluation des posters interactifs.

Organisation de l'évaluation

Les modalités d'évaluation ont été conçues afin de respecter l'alignement



objectifs – activités – évaluations. Un rapport (aligné avec les objectifs précédents 1 à 5), contenant une étude bibliographique et une analyse des résultats obtenus pendant l'étude de cas, sera réalisé et noté. Les résultats obtenus seront présentés à l'aide d'un poster interactif (aligné avec les objectifs 3, 4 et 5) devant un jury et avec un regard croisé des autres groupes (évaluation par les pairs). Le feedback (aligné avec les objectifs 2 à 5) des enseignants en temps réel est également un outil d'appréciation des compétences et connaissances des étudiants. La note finale est calculée à partir de l'évaluation du rapport (50%), l'évaluation du poster interactif, tant sur sa réalisation que sur sa présentation orale (40%) et l'évaluation des activités (par exemple QCM interactifs, exercices de réflexion) pendant les dispositifs pédagogiques proposés (10%).

Support de cours, bibliographie

Bibliographie

- MOOC « Drones et Robotique Aérienne » (DroMOOC), www.onera.fr/dromooc, Université Paris-Saclay, 2018.
- K.K. Oh, M.C. Park, H.S. Ahn, "A survey of multi-agent formation control", *Automatica*, vol. 53, pp. 424-440, 2015.
- J.A. Guerrero, P. Castillo, S. Salazar, R. Lozano, "Mini Rotorcraft Flight Formation Control Using Bounded Inputs", *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 65, pp. 175-186, 2012.
- J. Guerrero, R. Lozano, "Flight Formation Control", John Wiley & Sons, 2012.
- I. Prodan, "Commande des systèmes dynamiques Multi-Agents en présence de contraintes", thèse de doctorat, Supélec, 2012.
- M.T. Nguyen, "Commande prédictive sous contraintes de sécurité pour des systèmes dynamiques Multi-Agents", thèse de doctorat, Université Paris-Saclay, 2016.
- G. Rousseau, C. Stoica Maniu, S. Tebbani, M. Babel, N. Martin, "Quadcopter-performed cinematographic flight plans using minimum jerk trajectories and predictive camera control", *European Control Conference*, Limassol, Cyprus, 12-15 June 2018.
- 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.
- N. Michel, S. Bertrand, G. Valmorbidia, S. Olaru, D. Dumur. "Design and parameter tuning of a robust model predictive controller for UAVs", *IFAC World Congress*, Toulouse, France, 2017.
- Wilson, S., Glotfelter, P., Wang, L., Mayya, S., Notomista, G., Mote, M., & Egerstedt, M. 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.



- C. Stoica Maniu, C. Vlad, T. Chevet, S. Bertrand, A. Venturino, G. Rousseau, S. Olaru, "Control systems engineering made easy: motivating students through experimentation on UAVs", 21th IFAC World Congress, Demonstrator Late Breaking Results, Berlin, Germany, 12-17 July, 2020.

Exemples de réalisations pratiques

- <https://www.youtube.com/watch?v=hyGJBV1xnJI>
- <https://www.youtube.com/watch?v=YQIMGV5vtd4>
- <https://www.youtube.com/watch?v=fdrmahUPwal>
- <http://www.asctec.de/en/uav-uas-drones-rpas-roav/asctec-hummingbird/>

Moyens

Equipe pédagogique : Cristina Maniu, Cristina Vlad, Sorin Olaru

Equipe enseignante (liste provisoire) : Gauthier Rousseau (Parrot Drones), Sylvain Bertrand (ONERA), Pedro Castillo (UTC Heudiasyc), Cristina Maniu, Cristina Vlad, Sorin Olaru, Antonello Venturino.

Un **financement via le projet MEECOD (« Moderniser l'Enseignement par l'Expérimentation sur la Coordination de Drones »)**, avec le soutien de l'UPSaclay, projet « Initiatives Pédagogiques – Oser ! » 2018, N°FOR-2018-070, a été obtenu pour l'achat du matériel nécessaire pour ce cours (drones Parrot de type Mambo, Bebop etc.) et la création d'un espace dédié aux tests de vols de drones. La réalisation de cette volière est en cours.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce module, les élèves seront capables de :

- Décrire et reconnaître le comportement d'un système multi-agents en effectuant une étude bibliographique de travaux précédemment effectués sur le sujet ;
- Modéliser un système multi-agents en proposant une représentation d'état du système qui donnera lieu à la mise en place d'un simulateur ;
- Analyser et traduire un cahier des charges, ainsi que proposer une structure de loi de commande pour un système multi-agents, en suivant une démarche d'analyse à base d'un modèle de synthèse/simulation ;



- Synthétiser une loi de commande pour le système multi-agents et la valider en simulation, en complétant le simulateur ;
- Appliquer une loi de commande à un système multi-agents réel (une formation de drones) en suivant une démarche de prise en main des drones, d'ajustement des algorithmes de commande développés et de validation expérimentale.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Le premier item des Acquis d'apprentissage visés contribue à la compétence C2.3 "Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres".
- Le deuxième item correspond à la fois aux 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".
- Les items 3 et 4 apportent les compétences C3.6 "Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées" et C2.4 "Créer de la connaissance, dans une démarche scientifique".
- Les items 4 et 5 répondent aux compétences C1.4 "Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe" et C3.5 "Proposer des solutions/outils nouveaux soit en rupture soit en progrès continu".
- L'étude de cas fournit des opportunités de développer la compétence C8.1 "Travailler en équipe/en collaboration", ainsi que des compétences C3.1 "Être proactif, prendre des initiatives, s'impliquer" et C9.3 "Agir avec éthique, intégrité et dans le respect d'autrui".
- Le poster interactif avec la modalité d'évaluation choisie (i.e. évaluation par les pairs) permettra d'acquérir la compétence 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".



2EL1210 – Exposition des personnes à l'électromagnétisme et compatibilité électromagnétique

Responsables : Dominique LECOINTE

Département de rattachement : ELECTROMAGNETISME

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

La théorie de Maxwell est depuis plus d'un siècle source d'innovations et de progrès technologiques et il est remarquable de constater l'étendue des secteurs industriels impactés par les applications de cette théorie :

- le secteur des télécommunications au cœur de la société de l'information,
- le secteur aéronautique, automobile et des transports,
- le secteur de l'énergie électrique,
- le secteur de la défense et de la sécurité,
- le secteur de la santé et de l'environnement,
- le secteur du bâtiment et des travaux publics,
- le secteur de l'internet et des objets connectés.

Malheureusement, ces succès et progrès technologiques ne se font pas sans contrepartie. La pollution électromagnétique engendrée par tous ces systèmes électriques et électroniques est devenue un des enjeux sociétaux du 21^{ème} siècle. Les victimes potentielles de cette pollution sont les systèmes électroniques (compatibilité électromagnétique) et les personnes (exposition). La maîtrise de cette pollution est l'objectif de la compatibilité électromagnétique et de l'exposition des personnes aux ondes électromagnétiques. L'ingénieur doit faire face à un enjeu scientifique mais



aussi économique et sociétal pour répondre à ce défi.

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

SG6

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Présentation des enjeux
- TP CEM
- CEM : sources de perturbations
- EXPO : sources de champs
- TD CEM : sources et ordre grandeurs
- CEM : couplage et protection
- TD CEM : CEM des systèmes : topologie électromagnétique
- EXPO : effets biologiques
- EXPO : limites, indice
- TD EXPO : émetteurs fixes
- TD CEM : quantification des phénomènes de couplage
- CEM : moyens d'essais, normes
- EXPO : moyens d'essai
- TD EXPO : téléphonie mobile
- CEM EXPO : simulation
- TD EXPO : fréquences intermédiaires

Déroulement, organisation du cours

- 14 Cours

- 6 TD (Les 2 QCM auront lieu durant 2 TD)

- 1 TP

Organisation de l'évaluation

1QCM sans document de 15 mn (coefficient 1) 1QCM sans document de 15

mn (coefficient 1) 1examen final sans document de 2h00 (coefficient 2)

Une absence non justifiée à un QCM entraîne la note 0 Une absence

justifiée à un QCM entraîne la neutralisation du QCM

Support de cours, bibliographie

planches présentées durant les cours

textes des TD

Compatibilité électromagnétique de P. Degauque et J. Hamelin, édition

Dunod



Exposition humaine aux champs électromagnétique de P. Staebler, ISTE editions

Moyens

- Équipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Dominique Lecoïnte, Dominique Picard
- Taille des TD : 4 groupes de 20 élèves (au maximum)
- Salles de TP : salle PTMS (bâtiment Bréguet)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- poser le problème CEM lors de la conception d'un système complexe.
- identifier, en fonction des bandes de fréquences, les phénomènes physiques mis en jeu.
- utiliser et mettre en œuvre les modèles adaptés (maîtrise des ordres de grandeur, prise en compte des contraintes économiques).
- faire preuve de rigueur et d'esprit critique pour analyser et résoudre les problèmes d'exposition des personnes.
- argumenter en se basant sur les réglementations nationale et internationale.

Ces différents acquis d'apprentissage permettent de valider les jalons 1 et 2 de la compétence C1.1, les jalons 1 et 2 de la compétence C1.2, les jalons 1.A et 1.B de la compétence C1.3 et le jalon 2 de la compétence C1.5.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ces différents acquis d'apprentissage permettent de valider les jalons 1 et 2 de la compétence 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, les jalons 1 et 2 de la compétence C1.2 : Utiliser et développer les modèles adaptés choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème, les jalons 1.A et 1.B de la compétence C1.3 : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation et le jalon 2 de la compétence C1.5 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire..



2EL1220 – Conception d'antenne pour applications avancées

Responsables : Andrea COZZA
Département de rattachement : ELECTROMAGNETISME
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'utilisation des antennes est indissociable des communications radiofréquences qui sont à l'origine d'innovations et de progrès technologiques dans de nombreux secteurs répondant aux enjeux sociétaux du XXIème siècle comme les transports intelligents, les véhicules autonomes, les systèmes de géolocalisation et les communications par satellite, mais aussi de techniques telles la télédétection, le contrôle non destructif et le biomédical.

Dans ce cours les principales propriétés des antennes, leurs limitations et les considérations liées à leurs choix et à leurs conceptions seront définies en prenant en compte les contraintes imposées par le contexte applicatif. L'organisation du cours permettra de comprendre comment ces notions sont utilisées dans des cas concrets où le dimensionnement d'un système doit se réaliser en accord avec des contraintes d'ordre plus général. En particulier, ceci sera illustré sur de l'imagerie satellite, avec les conséquences de ces dimensionnements sur des applications aussi variées que l'estimation de la biomasse, le suivi d'inondation ou l'étude des cratères de la Lune.

L'esprit du cours sera de travailler dans le cadre d'applications ingénieurs complexes, où l'approche « problem solving » sera rappelée le long du cours pour inciter les élèves à comprendre comment le design d'applications basées sur les antennes nécessite une approche globale. Cette compétence fondamentale sera développée par une approche empirique, où les élèves seront confrontés à un large éventail d'applications. La mise à disposition d'outils numériques permettra de recréer des configurations complexes rencontrées dans des cas réels. Cette



méthode de résolution mobilise des connaissances pluridisciplinaires, et permettra de développer des compétences d'intégration indispensables à tout ingénieur moderne (intégrateur).

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

SG8

Prérequis

Aucun prérequis est nécessaire pour ce cours.

Plan détaillé du cours (contenu)

CM1 - Introduction aux antennes (1h30)

CM2 - Principales typologies 1/2 (1h30)

PC1 - Bilans de liaison et couverture satellite (1h30)

CM3 - Principales typologies 2/2 (1h30)

PC2 - Dimensionnement d'une antenne parabolique (1h30)

CM4 - Réseaux d'antennes (1h30)

PC3 - Couverture d'une macrocellule (1h30)

PC4 - 5G beamforming (1h30)

CM5 - Introduction aux principales techniques de simulation numérique (1h30)

BE1- Conception et simulation d'une antenna radar automobile (3h00)

PC5 - Rayonnement impulsionnel ultra large bande (1h30)

CM6 - Introduction à la télédétection radar(1h30)

PC6 - Traitement Synthetic Aperture Radar (SAR) (1h30)

BE2 - Experiences en chambre anechoïque et réverbérante (3h00)

CM7 - Fréquence, résolution dans les applications aéroportées et satellitaires (1h30)

BE3 - Observation des forêts et choix de la fréquence centrale d'une antenne (3h00)

PC7 - Fréquence et estimation de la biomasse (1h30)

CM8 - Polarisation et information (1h30)

BE4 - Observation d'une ville (3h00)

PC8 - La Lune (1h30)

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement s'articule autour de Cours Magistraux (éléments théoriques et introductifs), Petites Classes (dimensionnement d'antennes pour applications spécifiques), Bureaux d'Études sur machine pour les simulations numériques. Enfin, des travaux pratiques et démonstrations (TP) seront organisés pour sensibiliser les élèves aux aspects expérimentaux par la manipulation de maquettes sur lesquelles ils pourront vérifier la viabilité des solutions identifiées en PC.

Organisation de l'évaluation

Compte tenu de l'objectif affiché de traiter des scénarios réalistes, une preuve écrite classique ne serait ni adaptée ni efficace. Les compétences seront plutôt évaluées grâce à : deux QCM à mis parcours et à la fin du



cours pour tester les connaissances acquises (évaluation individuelle), pesant pour 50 % de la note finale des questions écrites portant sur les compétences d'analyse et résolution de problèmes sur outil numérique (évaluation par groupe), pesant pour 50 % de la note finale La présence aux TD/PC est obligatoire. Chaque absence non justifiée comportera un malus de 0.25 points sur la note finale. En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Moyens

- Équipe enseignante : Andrea Cozza, Régis Guinvarc'h, Laetitia Thirion-Lefèvre
- Taille des TD : groupes de 35 élèves
- Outils logiciels : Microwave Studio (CST), Matlab.
- Salles de TP : Chambre réverbérante à brassage de modes, chambre anéchoïque.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- connaître et comprendre les principes de fonctionnement des principales familles d'antennes et leurs caractéristiques
- identifier les contraintes inhérentes aux applications avancées, allant de l'automobile au contrôle non-destructif
- connaître et développer des solutions à des problèmes identifiés en utilisant des outils de modélisation



2EL1310 – Energies renouvelables

Responsables : Amir ARZANDE
Département de rattachement : ENERGIE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de présenter les potentialités des systèmes utilisant les sources d'énergie renouvelable.

Une première partie est consacrée aux principaux dispositifs de production d'énergie à partir de sources renouvelables.

Une seconde partie concerne l'intégration et la gestion de l'énergie au sein des systèmes de transport et de distribution. Les éléments de conversion et de stockage utilisés dans ce cadre seront abordés.

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

SG8

Prérequis

Cours de sciences pour l'ingénieur 1A « Energie électrique » ou équivalence

Plan détaillé du cours (contenu)

- Principaux moyens de production d'énergie à base de sources renouvelables

Eolien, solaire PV, solaire thermique, biomasse, cycle de Rankine

- Intégration et gestion de l'énergie

Energie éolienne dans les réseaux électriques



Energie solaire PV dans les réseaux électriques

- Filière hydrogène

Production, stockage, utilisation

- Cas des réseaux isolés autonomes.

Modélisation et Dimensionnement des éléments. Gestion des flux d'énergie

Déroulement, organisation du cours

CM(1-6) // TD1-TP(7-10) // CM(11-12) // TD2-TP(13-16) // CM(17-18)
//TD3-TP(19-22)// EE

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera par un examen écrit de 2 heures avec documents. Au début de chaque cours les élèves signent la feuille d'appel. Les travaux pratiques seront pris en compte pour 30% dans la note finale du module. L'absence non excusée à une séance de TP donnera la note 0 au TP concerné

Moyens

Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Amir Arzandé

Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 18 (pour un effectif de 72 étudiants)

Salles de TP (département et capacité d'accueil) : Travaux Pratiques en binôme ou trinôme (selon effectif) au département Energie



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Maîtriser les particularités des différents dispositifs intervenants dans la génération, la conversion et la gestion de l'énergie d'origine renouvelable
- Comprendre les difficultés liées à l'intégration de ces moyens de production dans les réseaux électriques
- Résoudre des problèmes simples de dimensionnement de systèmes d'alimentation énergétique de sites à partir de sources renouvelables.
- Evaluer les aspects économiques

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

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe. Jalon 1 : Spécifier et concevoir un système ou une partie d'un système

C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles. Jalon 1 : Choisir la solution la plus prometteuse pour un problème donné



2EL1320 – Conversion d'énergie

Responsables : Marc PETIT, Bruno LORCET
Département de rattachement : ENERGIE
Langues d'enseignement : ANGLAIS, FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

La production et l'utilisation d'énergie ne se conçoivent désormais que dans le respect de l'environnement et de critères stricts de développement durable. Par ailleurs, la disponibilité de l'énergie sous une forme adéquate est la clé du développement de nouvelles applications dans tous les domaines, des transports à la conception d'appareils mobiles. Ainsi, l'ensemble des secteurs d'activité doivent aujourd'hui se donner les moyens de maîtriser l'énergie électrique, seul vecteur à même de répondre à ces besoins. Le cours de conversion d'énergie introduit les principaux objets, moteurs et générateurs, permettant les transformations entre énergie électrique et énergie mécanique. Il traite également des principes et dispositifs électroniques permettant d'optimiser le transfert d'énergie entre source et charge électriques. Les convertisseurs concernés sont omniprésents dans le transport d'énergie et les énergies renouvelables, mais aussi dans la plupart des objets modernes consommateurs d'électricité.

Le cours commence par le positionnement des principes et des systèmes qui vont être étudiés par rapport aux bases déjà acquises par les étudiants dans le domaine de l'énergie électrique. L'accent est mis sur les enjeux industriels et économiques de la maîtrise de l'énergie. La première partie du cours est consacrée à l'étude des machines électriques tournantes à courant alternatif, qui sont aujourd'hui des acteurs majeurs dans la production et la consommation d'énergie électrique. En s'appuyant sur les bases de l'électromagnétisme basse fréquence et de la mécanique, on introduit les principes de fonctionnement des machines synchrone et asynchrone afin d'obtenir une modélisation de type circuit utilisable en régime permanent. Il devient alors possible de dresser un bilan



énergétique de la conversion et de présenter quelques modes de pilotage. Dans une seconde partie, on aborde les composants et les convertisseurs électroniques de puissance. On souligne l'intérêt du fonctionnement électronique en commutation et son lien avec les aspects topologique et thermique de la conception. Les différentes structures sont ensuite présentées en s'appuyant sur une méthodologie qui permet d'établir une classification des convertisseurs en fonction des sources et charges électriques concernées et de la réversibilité éventuelle du transfert d'énergie.

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

SG6 en Français et SG8 en Anglais

Prérequis

Cours de sciences pour l'ingénieur 1A « Energie électrique » ou équivalence

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction

Conversion d'énergie et génie électrique

Concepts généraux sur les machines à courant alternatif

Distribution sinusoïdale de champ - Création de champ tournant - Réalisation pratique

Machine synchrone en régime permanent

Principe et réalisation pratique - Équations fondamentales - Schéma équivalent - Fonctionnement en alternateur - Utilisation en moteur

Moteur asynchrone en régime permanent

Principe et réalisation pratique - Équations fondamentales - Schéma équivalent - Mise en œuvre sur un réseau à fréquence fixe - Alimentation à fréquence variable

Bases de l'électronique de puissance

Principes des convertisseurs statiques : fonctions réalisées, structures classiques - Interrupteur idéal, interrupteurs réels : régime de commutation, pertes - Principaux composants : propriétés fondamentales, principes de commande, domaines d'utilisation, limites

Convertisseurs continu-continu

Objectifs - Hacheurs : structures fondamentales - Différents régimes de fonctionnement - Réversibilité - Applications

Convertisseurs continu-alternatif

Objectifs - Onduleurs monophasés : structures fondamentales - Modes de fonctionnement, différentes lois de commande - Onduleurs triphasés

Convertisseurs alternatif-continu



Objectifs - Ponts redresseurs : montages de base en monophasé et en triphasé - Réversibilité, onduleur assisté - Impact sur la source d'alimentation, facteur de puissance

Déroulement, organisation du cours

CM(1-6) // TD1-TP(7-10) // CM(11-12) // TD2-TP(13-16) // CM(17-18) //TD3-TP(19-22)// EE

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera par un examen écrit de 2 heures avec documents. Les travaux pratiques seront pris en compte pour 30% dans la note finale du module. L'absence à une séance donnera la note 0 au TP concerné.

Support de cours, bibliographie

Polycopiés "Machine synchrone - Moteur à induction" et "Electronique de Puissance"

Moyens

Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Bruno Lorcet, Marc Petit

Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 18 (pour un effectif de 72 étudiants)

Salles de TP (département et capacité d'accueil) : Travaux Pratiques en binôme ou trinôme (selon effectif) au département Energie

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capables :

- d'analyser ou construire une chaîne de conversion d'énergie
- de maîtriser le fonctionnement de l'ensemble des composants de base du génie électrique
- de choisir et mettre en oeuvre une machine à courant alternatif dans le cadre d'une application à vitesse stabilisée
- d'effectuer un choix de convertisseur de puissance et d'adapter structure et commande à une problématique de conversion d'énergie

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

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe. Jalon 1 : Spécifier et concevoir un système ou une partie d'un système

C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles. Jalon 1 : Choisir la solution la plus prometteuse pour un problème donné



2EL1410 – Transferts Thermiques

Responsables : Benoît GOYEAU, Gabi-Daniel STANCU
Département de rattachement : ENERGÉTIQUE
Langues d'enseignement : FRANCAIS, ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les transferts thermiques couvrent un domaine scientifique et technique très vaste. Le champ d'application de cette discipline se caractérise entre autres par des spectres d'échelles spatiales et temporelles considérables : du nanomètre (thématique des transferts thermiques à la nanoéchelle) aux distances interstellaires (astrophysique), de la femtoseconde (réponse thermique d'un système à une impulsion laser ultracourte) aux temps caractéristiques de la genèse de l'univers (évolution thermique des étoiles). Les transferts thermiques sont également en prise directe avec des sujets de société et des enjeux majeurs tels que l'énergie (optimisation énergétique des procédés industriels, isolation thermique des bâtiments,...), l'environnement (réchauffement climatique, effet de serre atmosphérique,...) ou encore les transports (optimisation des moteurs thermiques, piles à combustible et filière hydrogène, ...). Ils sont par essence une discipline où les phénomènes physiques à l'œuvre sont de natures très différentes, coexistent et sont couplés.

Ce cours approfondit et étend les notions de transfert thermique introduites dans les cours « Sciences des transferts » et « Modélisation et simulation de transferts thermiques instationnaires ». Par ailleurs, l'accent est porté ici sur l'acquisition des notions de base (via des exercices d'application immédiate - EAI) et des techniques de modélisation physique des transferts (via des problèmes de synthèse - PbS).

Intérêts de la discipline :

Concevoir, maîtriser et contrôler tout système ou procédé de tout secteur d'activité où apparaissent des transferts thermiques comme l'habitat résidentiel et tertiaire, les transports, l'industrie, la production d'énergie, etc. Certaines sciences de l'univers (météorologie, géophysique, ...) ainsi



que les sciences de l'environnement reposent également en partie sur la maîtrise de ces transferts.

Objectif de l'enseignement :

Aborder les principaux modes de transfert thermique dans des cas simples. Cette formation à caractère scientifique est destinée à de futurs ingénieurs généralistes, a priori non spécialistes de la discipline.

C'est un enseignement de base en : conduction stationnaire et instationnaire ; rayonnement entre corps opaques à travers un milieu transparent, convection forcée et naturelle, laminaire et turbulente (approche phénoménologique).

Le traitement d'exercices et de problèmes lors de séances de Travaux Dirigés (TD) est l'occasion d'appliquer les connaissances introduites en cours et de développer des modèles simples de bilans. Il s'agit de résoudre des problèmes industriels, environnementaux ou métrologiques concrets (démarche inductive). Certains exercices à caractère didactique introduisent, à partir d'exemples simples, des notions essentielles en transferts. Inversement, des problèmes de synthèse sont proposés en fin d'enseignement. Dans ceux-ci, la difficulté principale est de construire le fil conducteur de la solution (confrontation au flou et à l'incertain).

Par ailleurs, de nombreux exercices d'application immédiate sont traités dans le livre de cours. Ils constituent un excellent entraînement.

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

SG6 et SG8

Prérequis

Idéalement, avoir suivi les cours « Sciences des transferts » (cours de sciences pour l'ingénieur 1A, SG1 ou SG3) et « » (cours spécifique : Étude et modélisation des systèmes de conversion électromagnétique et transfert thermique instationnaire énergie 1A, ST2). Cependant, les étudiants qui n'auront pas suivi les deux cours ci-dessus pourront suivre cet électif mais ils devront, en amont des séances, travailler les cours qui sont disponibles sur les plateformes E-learning « E-SELF-LEARNING »

Plan détaillé du cours (contenu)

- Séance 1 Cours LES BASES DES TRANSFERTS THERMIQUES : Conduction, convection rayonnement. Introduction du transfert conducto-convectif. Bilan d'énergie en régime stationnaire et sans mouvement. Analogie électrique.

- o TD 1: (EAI) Mur entre deux fluides; Allure du profil de température dans un system 1D; (PbS) Isolation d'un conteneur cryogénique

- Séance 2 Cours AILETTE ET APPROXIMATION DE L'AILETTE

- o TD (EAI) : Plaque chauffée; Refroidissement d'un circuit électronique; (PbS) Efficacité d'un radiateur domestique; Mesure de température d'un liquide par doigt de gant (devoir)



- Séance 3 Cours LES BASES DU RAYONNEMENT THERMIQUE : Notions de : corps opaque, milieu transparent, flux émis, absorbé, réfléchi, partant, incident et radiatif.

Conditions aux limites en présence d'échanges radiatifs. Notion de luminance monochromatique directionnelle. Première expression du flux radiatif. Notion et propriétés du rayonnement d'équilibre.

o TD (EAI) Calculs d'angles solides et de flux surfaciques incidents; Calculs d'intégrales spectrales de la loi de Planck (PbS) Principe de télédétection infrarouge

- Séance 4 Cours LES PROPRIÉTÉS RADIATIVES ET TRANSFERT RADIATIF : Caractérisation de la surface d'un corps opaque : notions d'émissivité, d'absorptivité et de réflectivité. Notions de : corps gris, corps noir et corps à propriétés radiatives isotropes. Modèles simples de transfert radiatif : (i) corps opaque convexe isotherme entouré par un corps noir isotherme ; (ii) corps opaque convexe isotherme de petites dimensions entouré par une enceinte opaque isotherme.

o TD (EAI) Rayonnement entre deux sphères; (PbS) Température d'une surface exposée au rayonnement solaire

- Séance 5 Cours METHODE GENERALE DE TRANSFERTS RADIATIFS ENTRE CORPS OPAQUES A TRAVERS UN MILIEU TRANSPARENT : Hypothèses de base de la méthode. Expression du flux partant et incident. Expression du flux total partant.

Notion de facteur de forme – propriétés. Equations pour une enceinte fermée constituée de surfaces grises. Généralisation aux surfaces non grises

o TD (EAI) Rayonnement « face à face » ; (PbS) Ecran radiatif - Mesure de température par thermocouple

- Séance 6 Cours CONDUCTION INSTATIONNAIRE ET PHYSIQUE DE LA DIFFUSION (1/2): Equation de bilan d'énergie et conditions aux limites. Notion de diffusivité thermique

Théorèmes généraux : théorème de superposition et théorème Π .

Application à une géométrie semi-infinie (réponse aux temps courts) : problèmes de la température imposée, du flux imposé et du régime périodique forcé

o TD (EAI) Mise en équation d'un problème de conduction instationnaire 2D; Conduction instationnaire 1D – solution analytique dans le cas du flux imposé; (PbS) Inertie thermique d'un bâtiment (1/2)

- Séance 7 Cours CONDUCTION INSTATIONNAIRE ET PHYSIQUE DE LA DIFFUSION (2/2): Application à une géométrie semi-infinie (réponse aux temps courts – suite) : problème de la mise en contact thermique de deux corps. Cas des milieux d'extension finie. Temps caractéristiques de conduction et de transfert conducto-convectif, nombre de Biot et retour sur l'approximation de l'ailette

o TD (EAI) Refroidissement d'une bille transparente; (PbS) Inertie thermique d'un bâtiment (2/2); Traitement thermique de l'acier par laser

- Séance 8 Cours APPROCHE PHENOMENOLOGIQUE DE LA CONVECTION FORCEE EXTERNE : Flux de diffusion (à une paroi) et de convection (au



loin). Notion de viscosité d'un fluide. Problème académique de la plaque plane à température imposée. Analyse dimensionnelle. Allure générale d'une corrélation de convection forcée externe. Introduction et significations physiques des groupements adimensionnés caractéristiques. Notion de similitude en convection. Critères de transition entre régimes laminaire et turbulent dans des configurations standard. Evolution du coefficient de transfert local le long d'une plaque ; effet de bord d'attaque.

- o TD (EAI) Baie vitrée en convection forcée externe; (PbS) Conducteur, prudence – problème instationnaire

- Séance 9 Cours LES NOTIONS DE CONVECTION FORCEE INTERNE : Notions élémentaires sur les établissements des régimes (mécanique et thermique) et sur les régimes établis dans les conduites de section constante. Notion de température de mélange. Expression du nombre de Nusselt en régimes laminaire et turbulent pour des écoulements en conduite de section circulaire ; discussion physique des résultats. Cas des conduites de section non circulaire ; notion de diamètre hydraulique.

- o TD (EAI) Calcul du coefficient de transfert dans un canal semi-circulaire; (PbS) L'hélium comme fluide caloporteur; Circulation d'eau dans un tube (devoir)

- Séance 10 Cours ANALYSE DIMENSIONNELLE EN CONVECTION NATURELLE : Phénomène – approximation de Boussinesq. Couches limites mécanique et thermique. Analyse dimensionnelle – similitude. Critère de transition entre régimes laminaire et turbulent. Expressions du coefficient de transfert. Spécificités de la convection naturelle interne. Caractère itératif d'un calcul de convection naturelle.

- o TD (PbS) Etude thermique d'un double vitrage

- Séance 11

- o TD PROBLEMES DE SYNTHESE (PbS) Récupérateur d'énergie pour le résidentiel-tertiaire; Climatisation d'un local dans un pays chaud et ensoleillé (devoir)

- Séance 12 EXAMEN FINAL

Déroulement, organisation du cours

Le cours est proposé en SG6 (occurrence en anglais) et SG8 (occurrence en français) à travers 11 séances de 3 heures chacune.

Organisation de l'évaluation

Les deux premiers acquis d'apprentissage constituent le niveau de connaissance minimal attendu de la part de tout étudiant ayant suivi ce cours. Ils seront évalués en contrôle continu au fil de l'enseignement par de petits QCMs. Ces tests, non notés, permettront aux étudiants de s'autoévaluer et aux enseignants de mesurer le niveau de compréhension de certaines notions fondamentales et de détailler les points difficiles. Concernant l'activité de modélisation des systèmes thermiques, il s'agit là d'une compétence complexe à acquérir, à laquelle les étudiants s'initieront lors des séances de TD et qu'ils maîtriseront progressivement. La dernière



séance de l'enseignement sera l'occasion de consolider tous les acquis de modélisation. Les acquis d'apprentissage seront évalués lors de l'examen final (2H) qui comportera deux parties. La première portera sur l'évaluation du niveau d'acquisition des deux premiers acquis d'apprentissage. Dans la deuxième on soumettra les étudiants à un problème de modélisation a priori complexe pour évaluer l'acquis de modélisation des systèmes thermiques.

Support de cours, bibliographie

- Livre en Anglais: « A first course in heat transfer » J. Taine, E. lacona Editions Dunod 2011.
- Livre en Français : « Transferts Thermiques » Partie 1, J. Taine,F. Enguehard, E. lacona, Dunod 2014
- Plateforme « E-Self-Learning » en Anglais : <http://e-mentor-en.ecp.fr/> cours présenté par G.D. Stancu
- Plateforme « E-Self-Learning » en Français : <http://e-mentor2.ecp.fr/> cours présenté par J. Taine

Moyens

- Equipe enseignante (noms des responsables) : Gabi Daniel Stancu, Benoit Goyeau
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 35
- Plateformes « E-Self-Learning » en Français et en Anglais
- Outils logiciels et nombre de licences nécessaire : aucun
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : aucune

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, les élèves :

- o Sauront identifier les différents modes de transfert thermique à l'œuvre dans une configuration donnée,
- o Sauront écrire et utiliser les bilans d'énergie appropriés sous leurs formes locale et globale et les équations de continuité aux interfaces, et pourront ainsi déterminer les champs de flux thermique et de température d'un système permettant ainsi de calculer les caractéristiques locales et globales nécessaires au dimensionnement du système,
- o Auront acquis une pratique de l'activité de modélisation des systèmes thermiques :
 - Lister de manière exhaustive les phénomènes de transfert thermique à l'œuvre dans une configuration donnée,
 - Utiliser l'analyse d'échelle pour : (i) faire des estimations d'ordres de grandeur permettant de discriminer les phénomènes prédominants de ceux qui peuvent être ignorés ; (ii) simplifier des problèmes a priori en géométries tridimensionnelles et/ou instationnaires vers des modèles avec des solutions analytiques,
 - Utiliser une approche inductive de résolution des problèmes : poser des hypothèses pertinemment justifiées qui seront validées a posteriori par les



solutions résultantes,

- Reformuler un problème multi-physiques et multi-échelles avec des phénomènes de couplage complexe, en une version simplifiée dans laquelle seuls les phénomènes prédominants auront été retenus,
- Modéliser des systèmes thermiques complexes et utiliser les bilans fondamentaux pour résoudre des problèmes d'ingénieur.

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 »,
 - C2.1 « Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur »,
 - C2.2 « Transposer à d'autres champs disciplinaires, généraliser des connaissances »,
-
- A l'issue du cours, la pratique de dimensionnement de systèmes introduit à la compétence C3.8 « Savoir concevoir »,
 - La session du cours en anglais travaille sur la compétence C5.1 « Parler au moins trois langues avec une excellente maîtrise de l'anglais et du français (à l'écrit comme à l'oral) comme langue de travail »,
 - Enfin, l'utilisation de la plateforme E-SELF-LEARNING qui incluent le contenu de cours et une base des données, introduit à la compétence C6.1 « Identifier et utiliser au quotidien les logiciels nécessaires pour son travail ».



2EL1420 – Mécanique des fluides

Responsables : Ronan VICQUELIN
Département de rattachement : ENERGÉTIQUE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours de Mécanique des Fluides prolonge les notions, équations et compétences fondamentales établies lors du cours de Sciences des Transferts vers une maîtrise des diverses complexités des écoulements fluides, de leur dynamique et des systèmes et configurations reposant sur la mécanique des fluides. Le cours permet d'atteindre un niveau confirmé dans cette discipline et les applications concernées avant d'envisager des études plus avancées et spécialisées. Dans leur construction, le cours et les travaux dirigés prennent en compte les évolutions récentes de la discipline en combinant les approches expérimentale, numérique et théorique pour former aux pratiques des ingénieurs du domaine et aux enjeux à venir (analyse de données, modélisation, simulations, mesures...).

Le cours se compose de trois blocs. Le premier approfondit les notions fondamentales au travers d'outils théoriques, de traitement et de l'analyse de données expérimentales et numériques. Un deuxième bloc est dédié à l'analyse des écoulements compressibles dans différents régimes (subsonique, supersonique, ondes de choc), permettant ainsi d'aborder un vaste champ d'applications jusqu'alors non traité. Enfin, les étudiants sont invités à choisir le thème de leur troisième bloc afin de s'ouvrir brièvement à une spécialisation parmi : Aérodynamique, Ecoulements météorologique et climatique, Propulsion aéronautique et spatiale, Systèmes énergétiques, Environnement, ...

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

SG6



Prérequis

Les notions et compétences essentielles liées à la mécanique des fluides vu dans le cours de Sciences des Transferts sont un prérequis.

- Analyse dimensionnelle
- Bilans locaux et macroscopiques de transport de masse, espèces, quantité de mouvement et énergie
- Evolution entre des différents champs (vitesse, pression, température) et leurs interactions
- Calcul d'efforts (locaux ou intégrés), puissances, rendements, pertes de charges
- Couche limite

Pour les quelques élèves qui n'ont pas suivi Sciences des Transferts mais qui souhaiteraient tout de même suivre le cours de Mécanique des Fluides : il est impératif de travailler ces concepts et applications-clé avant de rejoindre le cours.

Plan détaillé du cours (contenu)

Bloc n°1 : Mécanique des Fluides avancée (4 séances de 3h00)

- **Séance 1 : Equations fondamentales et Ecoulements potentiels**

Rappel des équations-bilan locales, calcul des grandeurs d'intérêt, analyse dimensionnelle. Propriétés des écoulements incompressibles. Solutions analytiques classiques : Couette, Poiseuille, Tourbillon. Ecoulements potentiels.

TD : Ecoulement autour d'une sphère.

- **Séance 2 : Solutions analytiques et profil exact de Couche Limite**

Méthodes de résolution analytique des équations (suite) : Fonction de courant, Autosimilarité. Application à la détermination du profil de couche Limite sur une plaque plane. Extension des écoulements potentiels. Notions sur les expériences et simulations numériques pour la caractérisation de champs de vitesse.



TD : Dispersion de polluants dans l'atmosphère ; Ecoulement devant un plan d'arrêt

- **Séance 3 : Bilans macroscopiques et conditions de saut aux interfaces**

Rappel sur les bilans macroscopiques et expressions de la poussée d'un turboréacteur et d'une fusée. Approfondissement : écriture de nouveaux bilans, bilan sur entrée/sortie non-homogène. Résolution d'un problème ouvert. Conditions de saut à travers une interface. Notions de tension superficielle.

TD : Etude du ressaut hydraulique

- 1. **Séance 4 : Instabilités et Turbulence**

Types d'écoulements instationnaires. Ondes acoustiques et vagues. Exemples d'instabilités. Démarche pour l'analyse d'instabilités. Application Couche Limite et Transition turbulente. Description des écoulements turbulents (Cascade de Kolmogorov, approches DNS, RANS, LES). Problème de fermeture et Hypothèse de Boussinesq.

TD : Instabilités d'interfaces ; Ressources de calcul pour une simulation directe

Bloc n°2 : Ecoulements compressibles (4 séances de 3h00)

- **Séance 5 : Dynamique des gaz - écoulements isentropiques**

Écoulements isentropiques de gaz réels. Conditions d'arrêt isentropiques. Écoulements avec section de passage variable. Écoulements isentropiques de gaz parfaits. Equations fondamentales pour écoulements isentropiques de gaz parfaits.

TD : Calcul de grandeurs d'arrêt dans une tuyère convergente-divergente ; Etude d'une entrée d'air

- **Séance 6 : Conditions critiques et rendements isentropiques**

Conditions critiques isentropiques. Section critique et phénomène d'amorçage. Expression débit pour un écoulement compressible. Transformations réelles et Rendements isentropiques. Systèmes propulsifs.

TD : Analyse d'un turboréacteur à simple flux

- **Séance 7 : Ondes de choc**

Equations fondamentales pour les ondes de chocs droits. Expressions pour les gaz parfaits. Propriétés de l'écoulement au travers d'un choc droit. Perturbations faibles des écoulements supersoniques.



TD : Etude d'un statoréacteur élémentaire

- **Séance 8 : Chocs obliques et écoulement dans les tuyères**

Ondes de choc obliques. Régimes d'écoulement dans les tuyères convergentes-divergentes pour diverses valeurs du rapport de détente. Souffleries supersoniques.

TD : Entrée d'air d'un jet supersonique ; Soufflerie à basse densité

Bloc n°3 : Ouverture thématique (trois séances)

- **Au choix parmi plusieurs thématiques proposées.** Par exemple :
Aérodynamique, Ecoulements météorologique et climatique,
Propulsion aéronautique et spatiale, Systèmes énergétiques,
Environnement, ... Les thèmes proposés en 2019-2020 étaient :
 - Aérodynamique
 - Propulsion Aéronautique
 - Propulsion Spatiale
 - Acoustique et Instruments de musique
 - Environnement et Qualité de l'air

Ces thèmes sont variables d'une année à l'autre. Ils seront présentés dès la première séance pour l'année en cours.

Déroulement, organisation du cours

11 séances de cours de 3h00 : au format 1h30 de cours magistral + 1h30 de TD pour les séances des blocs n°1 et 2

Organisation de l'évaluation

3 évaluations à travers les différents blocs :

- Bloc 1 (25%) : questionnaires (2 x 15 min.) de connaissances
- Bloc 2 (50 %) : contrôle écrit de 2h surveillé lors du dernier créneau de cours programmé
- Bloc 3 (25%) : préparation de poster

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) :
R. Vicquelin
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 35
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : 0



- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : 0

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Modéliser des systèmes complexes, étape nécessaire à leur dimensionnement et leur optimisation :
 - Faire des approximations et des estimations d'ordres de grandeur,
 - Simplifier un problème d'apparence compliquée
 - Utiliser les bilans fondamentaux pour résoudre des problèmes d'ingénieur.
- Caractériser un système mettant en jeu un écoulement fluide à l'aide de plusieurs éclairages : solutions analytiques simplifiées, résultats de simulations numériques, données expérimentales.
- Décliner ces compétences dans des écoulements complexes (instationnaires, compressibles)
- S'approprier un champ disciplinaire et/ou applicatif connexe à la mécanique des fluides, lui permettant de démontrer qu'il/elle sait s'adapter à un nouveau contexte avec une certaine autonomie grâce à son niveau de maîtrise.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences liées au cursus CentraleSupélec :

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

- 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.
- C6.5 : Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massive



2EL1430 – Ingénierie Nucléaire

Responsables : Pascal YVON
Département de rattachement : ENERGÉTIQUE
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est destiné à apporter des connaissances de base sur le fonctionnement des réacteurs nucléaires et le cycle du combustible nucléaire civil. Il permettra aux élèves d'apprécier, sur un plan technique, économique et environnemental, les avantages et inconvénients de cette source d'énergie bas carbone, et sa place dans le paysage énergétique mondial actuel et futur.

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

SG8

Prérequis

Notions de physique et de chimie

Plan détaillé du cours (contenu)

- Principes de la fission nucléaire
- Fonctionnement des réacteurs à eau sous pression
- Interactions neutrons matière
- Les systèmes nucléaires de 4ème génération
- Ressources naturelles et secondaires, activités minières, "yellow cake", chimie de l'uranium
- Enrichissement de l'uranium: technologies de séparation isotopique (diffusion gazeuse, centrifugation, autres ...)
- Fabrication du combustible et comportement en réacteur
- Economie circulaire, retraitement et gestion des déchets: le recyclage des



combustibles usés

- Transport des matières nucléaires
- Développements futurs et R&D: une énergie jeune, déjà éprouvée et avec encore des promesses

Déroulement, organisation du cours

33H de Cours en amphi

Organisation de l'évaluation

Contrôle écrit de 2 heures (partie avec documents et partie sans documents) Oral de rattrapage

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Principes de fonctionnement des réacteurs à eau sous pression
- Abondance des ressources en uranium, seul élément fissile naturel
- Introduction aux technologies d'extraction minière, d'enrichissement et de retraitement du "combustible" nucléaire
- Impact de l'irradiation neutronique sur les matériaux
- Fabrication et comportement du combustible nucléaire
- Problématiques et solutions de gestion des déchets radioactifs
- Perspectives de développement futur des procédés et technologies nucléaires

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Bonne compréhension du fonctionnement des réacteurs à eau sous pression et du cycle du combustible. Compréhension des enjeux liés à la production d'électricité et de la place de l'énergie nucléaire dans un mix bas carbone.



2EL1440 – Milieux réactifs

Responsables : Benoît FIORINA
Département de rattachement : ENERGÉTIQUE
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les milieux réactifs couvrent un vaste champ d'études qui s'inscrivent parfaitement dans le contexte énergétique et environnemental actuel. D'un point de vue scientifique, les milieux réactifs englobent la combustion et les plasmas. Représentant 80% des modes de conversion de l'énergie primaire, la combustion est présente dans le secteur de l'énergie, des transports et des procédés. Quant aux plasmas, ceux-ci représentent plus de 99% de la matière visible de l'univers. Ils interviennent dans de très nombreuses applications industrielles : énergétique, fabrication de semi-conducteurs, procédés de transformation et de traitement, santé.

L'objectif de ce cours est d'introduire les notions de bases de la combustion et des plasmas. Il vise notamment à sensibiliser les étudiants à la modélisation numérique qui est au cœur des stratégies de recherche et développement de l'ingénierie des systèmes réactifs. Afin d'illustrer le champ d'application des milieux réactifs dans le domaine de l'énergie, les étudiants construiront un outil numérique multi-physique pour simuler une technologie émergente et prometteuse : la combustion assistée par plasma d'une turbine à hydrogène.

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

SG6

Prérequis

aucun



Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction générale : applications industrielles et enjeux scientifiques
 - a. Combustion - (1h30)
 - b. Plasmas – (1h30)
2. Description d'un système réactif
 - a. Cours (1h30)
 - i. Rappels de thermodynamique chimique
 - ii. Richesse d'un mélange
 - iii. Calcul de la température de fin de combustion
 - b. TD (1h30) "Decreasing CO₂ emissions by addition of di-hydrogen"
3. Formation aux outils numériques du cours
 - a. Initiation à Matlab (1h30)
 - i. Fonctions de base de Matlab
 - ii. Utilisation du package cinétique
 - b. TD (1h30) "Computation of adiabatic combustion temperature of H₂-O₂ and H₂-air reactive systems under global-step reaction assumption "
4. Équilibre thermochimique
 - a. Cours (1h30)
 - i. Second principe de thermodynamique
 - ii. Méthodes de calculs de l'équilibre thermochimique
 - b. TD (1h30) "Computation of equilibrium composition in H₂-O₂ and H₂-air reactive systems "
5. Cinétique chimique de la combustion
 - a. Cours (1h30)



- b. TD (1h30) "Computation of auto-ignition in a constant pressure reactor"
- 6. Production de plasma par décharges électriques
 - a. Cours (1h30)
 - b. TD et démonstrations expérimentales (1h30)
- 7. Cinétique chimique à deux températures dans les plasmas
 - a. Cours (1h30)
 - b. TD (1h30)
- 8. Optimisation énergétique des décharges
 - a. Cours (1h30)
 - b. TD (1h30)
- 9. Combustion assistée par plasma
 - a. Expériences et modèles (0h45)
 - b. Simulations (0h45)
 - c. Visite du laboratoire EM2C et présentation du mini-projet (1h30)
- 10. Mini-projet : simulation numérique de la combustion assistée par plasma
(3h00)
- 11. Mini-projet : simulation numérique de la combustion assistée par plasma
(3h00)



Déroulement, organisation du cours

Cours, travaux dirigés et travaux sur ordinateurs

Organisation de l'évaluation

Une soutenance sous forme de présentation orale.

Support de cours, bibliographie

Nasser Darabiha, Emile Esposito, François Lacas et Denis Veynante, Poly de combustion de CentraleSupélec.

- Kenneth Kuo, Principle of Combustion, published by John Wiley & Son, 2005
- Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, Michael A. Lieberman and Allan J. Lichtenberg, John Wiley and Sons, New York, 2nd edition, 2005
- Partially Ionized Gases, M. Mitchner and C.H. Kruger, John Wiley & Sons, New York, 1973.
- Gas Discharge Physics, Yu. P. Raizer, Springer Verlag, Berlin, 1997

Moyens

Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Benoît Fiorina, Christophe Laux

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Pour dimensionner des systèmes réactifs, un ingénieur est amené à faire des approximations et à calculer des ordres de grandeurs. Il doit calculer des bilans de masse, d'espèces chimiques et d'énergie. Il doit déterminer l'équilibre thermochimique d'un système réactif et savoir exploiter les déséquilibres thermochimiques. En particulier, ce cours apporte les compétences suivantes :

- Comprendre les enjeux industriels, énergétique et environnementaux de la combustion et des plasmas



- Être capable d'établir les équations fondamentales permettant de dimensionner des systèmes de combustion et de plasmas
- Caractériser les états thermodynamiques et chimiques transitoire et d'équilibre d'un système réactif
- Être capable de programmer (sous environnement Matlab) un outil de simulation numérique de réacteurs chimiques avec prise en compte d'une cinétique détaillée. Le code développé par l'étudiant s'appuiera sur une bibliothèque MATLAB de fonctions thermochimiques préexistantes

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Pour concevoir des systèmes réactifs, les ingénieurs doivent faire des approximations et calculer des ordres de grandeur. Ils doivent effectuer des bilans massiques, chimiques et énergétiques. Ils doivent déterminer l'équilibre thermochimique d'un système réactif et savoir comment exploiter les déséquilibres thermochimiques. Ce cours fournit à cet effet les compétences suivantes :

- Comprendre les enjeux industriels, énergétiques et environnementaux de la combustion et des plasmas
- Établir les équations fondamentales pour la conception des systèmes de combustion et de plasma
- Caractériser les états thermochimiques transitoires et d'équilibre d'un système réactif
- Programmer (sous l'environnement Matlab) un outil numérique pour les réacteurs chimiques avec une cinétique détaillée. Le code développé par les étudiants sera basé sur une bibliothèque préexistante de fonctions thermochimiques de MATLAB.



2EL1520 – Génie logiciel orienté objet

Responsables : Paolo BALLARINI, Dominique MARCADET
Département de rattachement : INFORMATIQUE
Langues d'enseignement : FRANÇAIS, ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le génie logiciel regroupe des concepts, techniques et outils visant la production de logiciels de qualité, en maîtrisant le coût et le délai de développement tout en prenant en compte les contraintes classiques des systèmes informatiques actuels : respect des exigences et des standards, ouverture, facilité de test et de maintenance, évolutivité. Java est l'un des langages de programmation les plus utilisés pour le développement d'applications informatiques.

En mettant l'accent sur la modélisation orientée objet, le langage java, le langage UML, en relation avec les phases du processus de développement de logiciels menant de l'expression du besoin au produit final testé et documenté, ce cours apporte aux étudiants des compétences de base indispensables à la réalisation de logiciels industriels.

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

SG6 en français et SG8 en anglais

Prérequis

- 1.1CC1000 : Systèmes d'Information et Programmation
- 2.1CC2000 : Algorithmique et Complexité



Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction, notions de base du langage Java
- Classes Java, bases de l'API Java
- Héritage en Java, classes abstraites, interfaces
- Introduction Génie logiciel, UML
- Diagrammes de classes avec UML, liens avec Java
- Autres diagrammes UML
- Compléments Java (exceptions, généricité, énumérations...)
- Patrons de conception, exemples sur API Java
- Introduction à la réalisation d'interfaces graphiques en Java
- Tests unitaires avec JUnit
- Processus légers et synchronisation
- Mise en œuvre UML/Java sur un projet

Déroulement, organisation du cours

- Cours magistraux : 16h30
- Travaux dirigés sur ordinateur : 16h30
- Travail personnel (exercices à terminer, projet intégré) : 24h00
- Examen final : 2h00

Organisation de l'évaluation

40% sur le projet intégré 60% sur l'examen final (2h00)

Support de cours, bibliographie

- Livres
 - Java et Eclipse - Développez une application avec Java et Eclipse - Frédéric Déléchamp
 - UML 2.5 par la pratique - Etudes de cas et exercices corrigés - Pascal Roques
- Supports
 - Transparents projetés pendant les cours magistraux
 - Exercices et corrigés des travaux dirigés



Moyens

- Enseignant des cours magistraux : Dominique MARCADET
- 4 groupes de travaux dirigés, encadrants : Idir AIT SADOUNE, Francesca BUGIOTTI, Dominique MARCADET, Joanna TOMASIK
- Outils logiciels : Java : Eclipse, UML : Eclipse/Papyrus ou MagicDraw ou RSA ou autre (choix non encore finalisé)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- de mettre en œuvre les principaux éléments de la programmation orientée objets en utilisant le langage Java ;
- d'écrire un programme informatique de complexité moyenne en utilisant le langage Java ;
- de connaître les différentes activités d'un cycle de développement logiciel et savoir choisir des outils adaptés pour ces activités ;
- de choisir le niveau d'abstraction approprié à la réalisation d'une activité ;
- de connaître et comprendre l'utilité de la modélisation UML dans la conception et la réalisation d'un logiciel ;
- de concevoir et réaliser une interface homme-machine simple ;
- d'appliquer des principes de bonne conception pour le développement des logiciels évolutifs et facilement maintenables ;
- de comprendre l'utilité de la programmation parallèle et savoir utiliser les outils nécessaires à sa mise en œuvre.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C6.3 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel



2EL1540 – Informatique théorique

Responsables : Marc AIGUIER, Pascale LE GALL
Département de rattachement : INFORMATIQUE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement donne une partie des fondements de la science informatique sur ses deux paradigmes de calcul que sont la réduction (calcul pas à pas) et la résolution (inférence logique/démonstration automatique).

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

SG8

Prérequis

Cours Algorithmes et Complexité (ST Modélisation) et goût pour l'abstraction mathématique

Plan détaillé du cours (contenu)

Il sera alors abordé dans ce cours les notions fondamentales sous-jacentes aux thèmes :

- de l'induction et la récurrence (ensemble bien-fondé et équivalence avec l'induction mathématique). L'objectif est de formaliser les notions fondamentales d'induction et récursivité sous-jacentes à toutes les mathématiques discrètes.



- de l'algorithmique (fonctions récursives de Gödel/Herbrand, machine de Turing et tous les résultats d'indécidabilité associés). L'idée est de définir formellement (i.e. mathématiquement) ce qu'est un problème de décision et donner une dénotation formelle à la notion d'algorithme (thèse de Church).
- de la logique (syntaxe, sémantique et systèmes de preuves). L'intérêt des logiques est d'exprimer de façon formelle les propriétés des systèmes et de raisonner, de façon automatique ou assistée, à propos de ces propriétés. Les logiques propositionnelles et du premier ordre seront détaillées.

Le cours est composé des parties suivantes :

- Fondements de l'induction et la récursivité.

On y abordera plus particulièrement les notions de : Théorie des ensembles : Ordre et préordre, Majorants et minorants, Ensembles bien fondés et induction; Systèmes formels, preuves, correction et complétude.

- Logique propositionnelle.

La logique propositionnelle sera présentée selon les composantes classiques : syntaxe, sémantique et preuve. En particulier, les points suivants seront abordés : arbres binaires de décision, méthode des tableaux, algorithme DPLL, satisfiabilité des formules propositionnelles (problèmes SAT et 3-SAT), SAT-solveurs, les systèmes de preuve de la résolution, déduction naturelle, séquents.

- Théorie de la calculabilité et de la complexité.

On verra plus précisément : les fonctions primitives récursives, les fonctions récursives, les problèmes décidables, indécidabilité du problème de l'arrêt, fonction récursive universelle (interpréteur) ; les machines de Turing , théorèmes d'équivalence, thèse de Church ; la théorie de la complexité en lien avec les modèles de calcul (complexité en temps, classes P et NP, structuration de la classe NP - problèmes NP-complets et NP-durs, un premier problème NP-complet) ; la décidabilité et NP-complétude du problème 3-SAT.

- Logique des prédicats



La logique des prédicats est une extension de la logique propositionnelle et est la logique privilégiée pour décrire les structures de données informatiques. On verra que la logique des prédicats est indécidable et la programmation logique sera introduite.

Déroulement, organisation du cours

Le cours sera divisé en 15h de cours magistraux et 15h de tds. Un projet avec une réalisation informatique sera proposé au cours de cet enseignement. Ce dernier sera à rendre dans la semaine suivant l'examen.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera au moyen d'un projet et d'un examen écrit d'une durée de 2 heures. La note finale sera partagée en 40% pour le projet et 60% pour l'examen écrit. Pour cet examen, ne sont autorisés que le photocopie ainsi que les notes personnelles. Les dispositifs électroniques (ordinateurs portables, téléphones portables et tablettes) ne sont pas autorisés.

Support de cours, bibliographie

Il sera fourni aux élèves un photocopie ainsi que le sujet des tds et leur correction.

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) :
Marc Aiguier et Pascale Le Gall
- Taille des TD : 35 élèves au maximum
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : les seuls logiciels utilisés (prolog, solveurs, assistants à la preuve) seront des logiciels libres d'accès, que les élèves installeront sur leur machine personnelle

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre les principes fondamentaux et les outils formels (i.e. mathématiquement fondés) à la base de toutes les méthodes de conception, de vérification et d'implantation des systèmes informatiques.



Savoir formaliser un problème de nature informatique et maîtriser les outils fondamentaux, de nature théorique, méthodologique et logicielle, nécessaires pour raisonner à propos de ces formalisations.

Donner les outils théoriques fondés sur les modèles de calcul et utilisés pour l'analyse de complexité des algorithmes abordés dans le cours Algorithmes et Complexité, ainsi que les méthodes de raisonnement fondées sur la logique mathématique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Savoir formaliser un problème de nature informatique et maîtriser les outils fondamentaux, de nature théorique, méthodologique et logicielle, nécessaires pour raisonner à propos de ces formalisations. Donner les outils théoriques fondés sur les modèles de calcul et utilisés pour l'analyse de complexité des algorithmes abordés dans le cours Algorithmes et Complexité, ainsi que les méthodes de raisonnement fondées sur la logique mathématique.



2EL1550 – Calcul haute performance

Responsables : Stephane VIALLE
Département de rattachement : INFORMATIQUE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours permettra aux étudiants de :

- Comprendre les enjeux et les difficultés de la simulation numérique intensive dans tous les domaines de la recherche et du développement.
- Appréhender l'algorithmique parallèle et maîtriser les étapes de la parallélisation d'un code de calcul.
- Connaître et avoir expérimenté des bibliothèques et environnements de calcul parallèle.

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

SG6

Prérequis

- Cours commun « Systèmes d'Information et Programmation » de SG1 (1CC1000)
- Cours commun « Algorithmique et complexité » de ST2 (1CC2000)
- *Ainsi que des connaissances de bases en algèbre linéaire*

Plan détaillé du cours (contenu)



- **Architectures parallèles et distribuées** : composants d'un supercalculateur ; hiérarchie de mémoires ; aspects énergétiques ; besoin de tolérance aux pannes.
- **Optimisation et parallélisation de boucles en mémoire partagée** : optimisation sérielles et vectorisation, algorithmique et programmation multithreads avec OpenMP, analyse et réécriture de boucles.
- **Algorithmique distribuée par envoi de messages** : circulation de données et communications point-à-point en MPI (mpi4py) ; déploiement d'application et exécution distribuée en MPI (OpenMPI + mpi4py) ; distribution de données et communications collectives en MPI (mpi4py) ; algèbre linéaire, méthodes directes et méthodes itératives.
- **Calcul scientifique parallèle** : stratégies pour la résolution de problèmes linéaires de grande taille ; méthodes itératives de sous-structurations ; méthodes de décomposition de domaines.
- **Mesure et analyse de performances** : méthodologie de mesure ; métriques et limites d'accélération et d'efficacité ; métriques et limites de passage à l'échelle.

Déroulement, organisation du cours

Les approches mathématiques et les algorithmes présentées en cours seront mis en oeuvre lors de TD sur *clusters de calculs*, et des performances seront mesurées et analysées lors de chaque expérimentation. L'expérimentation sera une part importante du cours, et permettra de bien appréhender les concepts étudiés.

- **Composition du cours** : 21h00 de CM, 12h00 de TD sur machines et 2h00 d'examen écrit final
- **Séquencement possible du cours** :
 - 6 x 1h30 de CM + 2 x 1h30 de TD sur machines ; 4 x 1h30 de CM + 4 x 1h30 de TD sur machines ; 4 x 1h30 de CM + 2 x 1h30 de TD sur machines
 - 2h00 d'EE final
- **Organisation des TD (36% du volume du cours)** :
 - TD sur machines, qui seront groupés par 2 (i.e. par blocs de 3h),
 - les groupes de TD sur machines seront constitués par niveau d'expérience en informatique,
 - les codes développés seront exécutés sur les clusters de calculs du *Data Center d'Enseignement* de CentraleSupélec ou du Mésocentre Moulon (CentraleSupélec-ENS Paris Saclay), accessibles à partir de salles informatiques, ou à partir des ordinateurs des élèves.



Organisation de l'évaluation

Poids relatifs des différents examens :

- 50% : Compte rendu de TDs sur machines
- 50% : Examen écrit de 2h00 (en fin de cours)
- En cas d'absence justifiée à l'un des TDs sur machines, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final. En cas d'absence injustifiée une note de 0/20 sera appliquée pour ce TD sur machines.
- L'examen de rattrapage consistera entièrement en un examen écrit, similaire à l'examen initial.

Evaluation des acquis d'apprentissage :

- Dans le premier ensemble d'acquis d'apprentissage (AA1*) seules les connaissances théoriques sont requises, et seront évaluées sous forme de questions de cours ou d'exercices d'applications, en contrôle continu et à l'examen final.
- Le second ensemble d'acquis d'apprentissage (AA2*) sera évalué à partir de la solution présentée dans le CR de la suite de TDs sur machines. Seront notamment pris en compte la qualité du code développé, les performances mesurées de la simulation parallèle, les résultats de la simulation obtenus dans le respect d'un quota d'heures de calculs, et l'observation par les encadrants des élèves en situation.
- Le troisième ensemble d'acquis d'apprentissage (AA3*) sera évalué à partir de la cohérence globale de la démarche présentée dans le CR de la suite de TDs, et de la cohérence globale de la solution proposée en Examen Ecrit. On évaluera ainsi l'adéquation des choix et adaptations de méthodes numériques avec les techniques d'implantation sur machines de calculs parallèles et distribuées.

Support de cours, bibliographie

Supports de cours fournis aux étudiants :

- Frédéric Magoulès, François-Xavier Roux, Guillaume Houzeaux. *Parallel Scientific Computing*. Wiley & Sons, Inc., 2015. Hardcover 354 pages (in English). *This course support is available in other languages: in French (Dunod, 2017), in Spanish (CIMNE, 2014), in Japanese (Morikita Publishing Co Ltd, 2015), in Hungarian (Pollack Press, 2018).*
- Numerical Methods: Slides of the lectures



- Parallel and Distributed Computing: Slides of the lectures.

Autres livres suggérés :

- W. Gropp, E. Lusk, A. Skjellum. "Using MPI". MIT Press. 1999.
- R. Chandra, R. Menon, L. Dagum, D. Kohr, D. Maydan, J. McDonald. "Parallel Programming in OpenMP". Morgan Kaufmann Publishers. 2000.
- B. Chapman, G. Jost, R. Van Der Pas.. "Using OpenMP". MIT Press. 2007.

Moyens

- **Equipe pédagogique : Frédéric MAGOULES et Stéphane VIALLE**
- 64% de cours et 36% de TD, avec des groupes de TD de 25 étudiants travaillant sur des machines à haute performance.
- Accès à différents serveurs et clusters de calculs (Data Center d'Enseignement de CentraleSupélec, et/ou mésocentre CentraleSupélec-ENS Paris Saclay).
- Expérimentation avec des logiciels Open-source standards : C/C++/Python, bibliothèque de multithreading pour multicoeurs (OpenMP), bibliothèque d'envois de messages pour clusters de calculs (MPI: MPICH2/OpenMPI), bibliothèque scientifiques optimisées (OpenBLAS).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue du cours les étudiants seront capables de :

- **[Acquis d'Apprentissage 1* (AA1*)]** contribuant à la compétence **C1.2** :
 - adapter des méthodes numériques pour le calcul à haute performance (HPC)
 - concevoir des méthodes numériques pour le calcul à haute performance (HPC) afin de résoudre des problèmes complexes
- **[Acquis d'Apprentissage 2* (AA2*)]** contribuant à la compétence **C2.1** :
 - concevoir des algorithmes parallèles de simulation intensive selon les règles du calcul à haute performance (HPC)
 - implanter des algorithmes parallèles de simulation intensive sur supercalculateurs ou sur clusters de PC multi-coeurs
 - gérer un quota d'heures de calculs lors de l'exécution d'une simulation intensive



- [Acquis d'Apprentissage 3* (AA3*)] contribuant à la compétence C6.4 :
 - mettre en œuvre une simulation à haute performance complète et cohérente :
 - choisir des modèles adaptés en précision et extensibles (pour un passage à l'échelle)
 - choisir des stratégies d'implantations parallèles et efficaces
 - réaliser une campagne de simulation en temps et ressources limitées

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 (acquis d'apprentissage **AA1***).

- **C2.1** : Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur (acquis d'apprentissage **AA2***).
- **C6.4** : Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle (acquis d'apprentissage **AA3***).



2EL1560 – Modèles et systèmes pour la gestion des données massives

Responsables : Nacera SEGHOUANI

Département de rattachement : INFORMATIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences fondamentales

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les technologies de gestion de données ne cessent d'évoluer pour s'adapter à l'hétérogénéité des données (structurées, document, texte, image, video,...), à leur volumétrie et à leur vélocité. Les bases de données NoSQL (Not only SQL) désignent une famille de Systèmes de Gestion de Base de Données (SGBD) qui s'écarte du paradigme traditionnel des SGBDs relationnels. Le but est de répondre aux besoins de mise à l'échelle horizontale (clusters de machines) de centres de données décrites à l'aide de schémas flexibles, d'accès en temps réel, de disponibilité et de performance dans une infrastructure distribuée.

L'objectif du cours Modèles et Systèmes pour la Gestion des Données Massives est d'étudier les fondements théoriques, les modèles conceptuels et les technologies permettant de stocker et de manipuler des données massives. Le passage du SQL au NoSQL, les différents modèles de représentation de données NoSQL, les requêtes de manipulation et d'analyse de données, les critères de mesure des performances et le stockage In-Memory dans un environnement distribué sont les principaux aspects traités dans ce cours.

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

SG6



Prérequis

- Connaissances élémentaires sur les bases de données relationnelles et du langage de requêtes SQL.
- Connaissances élémentaires en réseau (architecture Client/Serveur) souhaitées.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Modèles conceptuels de représentation de données SQL (relationnels) et NoSQL (document, clé-valeur, colonne, graphe).
- Langage de requêtes de manipulation et analyse des données. Indexation.
- Concepts transaction, propriétés ACID, théorème CAP.
- Concepts fondamentaux liés à la distribution des données sur un cluster. Algorithmes de partitionnement de données graphes.
- Travaux dirigés de modélisation et mise en pratique utilisant des données réelles (réseaux sociaux, Wikipédia, ...).
- Logiciels : Oracle, MongoDB, Cassandra, Neo4J, Giraph, ElasticSearch.

Déroulement, organisation du cours

Le cours est organisé comme suit :

- 11 créneaux de 1h30 de cours magistral.
- 5 créneaux de 3h TP, par groupe de 25 élèves au maximum.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu pendant TDs/TPs, mini-projet, examen écrit (2h) :
60% Examen écrit,
20% mini-projet,
et 20% contrôles continus (3 meilleures notes).

Moyens

- Slides, corrigés TDs/TPs/ QCMs, références bibliographiques et tutoriels en ligne.
- Installation et utilisation de logiciels licence libres.
- 1 Intervenant en TDs/TPs par groupe de 25 élèves au maximum.



- Intervenants potentiels en TD/TP: Idir Ait Sadoune, Yuting Feng, Francesca Bugiotti.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- choisir un modèle de gestion de données adapté à l'application et la nature des données.
- définir, déployer et manipuler une base de données SQL et NoSQL.
- définir une base de données distribuée NoSQL et son passage à l'échelle.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences acquises :

- Modélisation, déploiement et utilisation de requêtes de bases de données SQL et NoSQL.
- Algorithmes de distribution de données.



2EL1580 – Intelligence Artificielle

Responsables : Fabrice POPINEAU
Département de rattachement : INFORMATIQUE
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Qu'est-ce que la recherche d'informations sur le Web, la réalisation d'assistants personnels, la conduite autonome ou la planification automatique ont en commun ?

Ce sont tous des problèmes complexes du monde réel que l'intelligence artificielle (IA) vise résoudre en les abordant avec des méthodes rigoureuses.

Dans ce cours, vous étudierez les principes fondamentaux qui guident ces applications et vous mettrez en œuvre certains de ces systèmes.

Les sujets spécifiques incluent l'apprentissage automatique, la recherche, le jeu, les processus de décision de Markov, la satisfaction de contraintes, les modèles graphiques et la logique.

L'objectif principal du cours est de vous fournir un cadre pour attaquer les nouveaux problèmes d'IA que vous pourrez rencontrer ultérieurement.

Les aspects éthiques et philosophiques de l'IA seront également abordés.

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

SG8

Prérequis

Cours Systèmes d'Information et Programmation

Cours Algorithmique et Complexité

Notions de base en probabilités : variable aléatoire, théorème de Bayes



Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction – Présentation du domaine
- Agents et architectures d'agents
- Apprentissage automatique et agents réflexe
 - Prédicteurs linéaires
 - Fonction de perte et optimisation
 - Réseaux de neurones
- Représentation par états et exploration
 - Agents qui planifient
 - Exploration adversariale
 - Fonctions d'utilité
 - Processus décisionnels de Markov
 - Apprentissage par renforcement
- Représentation à base de variables
 - Connaissance incertaine
 - Raisonnement probabiliste
 - Réseaux bayésiens
 - Prise de décisions simples et complexes

- Représentation basée sur la logique
 - Propositions et prédicats
 - Syntaxe vs sémantique
 - Systèmes d'inférence
- Conclusion
 - Approfondissement sur l'apprentissage profond
 - Futur de l'IA

Déroulement, organisation du cours

Le séquençement comporte 7 x 3h de cours magistral et 4 x 3h de Travaux Dirigés.

Les séances de TD sont insérées toutes les deux séances de cours.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera sur la base d'un examen terminal sur table de 2h avec documents.

Support de cours, bibliographie

Intelligence artificielle (3^{ème} éd.) (Français)



Auteurs : Stuart Russel, Peter Norvig

ISBN : 9782744074554 (Français)

Editeur : Pearson

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Fabrice Popineau (cours magistral)
- Taille des TD (par défaut 25 élèves) : 25 élèves, possibilité d'encadrer 100 étudiants avec les enseignants (Bich-Liên Doan, Arpad Rimmel, Yolaine Bourda, ...)
- Outils logiciels et nombre de licences nécessaires : Pas de licences. Outils libres : Python, Prolog, ...

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce module, les élèves seront capables :

- d'identifier les problèmes pour lesquels les techniques d'intelligence artificielle sont adaptées, et quand c'est le cas identifier la ou les techniques adéquates,
- de formaliser un problème donné dans le langage / le cadre de différentes techniques d'IA,
- de mettre en œuvre des algorithmes élémentaires d'IA (par exemple, les algorithmes d'exploration standards),
- de concevoir et mettre en œuvre une évaluation de différents algorithmes sur une formalisation d'un problème, et tirer les conclusions de cette évaluation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C6.4 Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle

C6.5 Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.



2EL1590 – Cloud computing et informatique distribuée

Responsables : Francesca BUGIOTTI, Gianluca QUERCINI
Département de rattachement : INFORMATIQUE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

De nos jours, la stratégie marketing des entreprises repose de plus en plus sur l'analyse de données massives et hétérogènes qui nécessite d'une grande puissance de calcul.

Au lieu d'investir sur l'acquisition de matériel et de logiciel, les entreprises souvent font recours à la puissance de calcul et de stockage mise à disposition par des plateformes de *cloud computing* via internet.

L'objectif du cours est de présenter les concepts fondamentaux des systèmes distribués et du calcul distribué qui sont à la base du *cloud computing*.

Le cours abordera les principes de la virtualisation et de la conteneurisation, ainsi que les méthodes et les outils pour effectuer des calculs distribués (par exemple, *MapReduce*, *HDFS*, *Spark*).

Le cours introduira aussi des techniques et des algorithmes avancés pour l'analyse de données massives et hétérogènes (PageRank, apprentissage supervisé, *clustering*).

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

SG8

Prérequis

Programmation en Python, bases de données, des notions en réseaux seront aussi appréciées.

Plan détaillé du cours (contenu)

Chapitre 1. **Introduction**



- Terminologie : Systèmes informatiques centralisés, calcul parallèle, calcul distribué, cloud computing.
- Contexte : Internet of Things (IoT), Big Data.
- Aperçu sur le matériel : CPU, GPU, technologie multithreading.
- Clusters : Principes de conception.
- Concepts de calcul distribué.

Chapitre 2. **Virtualisation**

- Réalisation de la virtualisation.
- Structures de virtualisation.
- Virtualisation de processeur/mémoire/entrées-sorties.
- Clusters virtuels.
- Virtualisation et centres de données

Chapitre 3. **Conteneurisation: Docker**

- Principes de la conteneurisation.
- Architecture de Docker.
- Images, conteneurs, volumes et réseaux en Docker.
- Déploiement d'applications avec Docker.

Chapitre 4. **Applications multi-services et orchestration**

- Architecture microservices.
- Principes de l'orchestration.
- Présentation de Kubernetes.

Chapitre 5. **Applications multi-services dans le cloud**

- Modèles de service : IaaS, PaaS, SaaS.
- Introduction aux plateformes de cloud publiques : GAE, AWS, Azure.
- Déploiement d'applications multi-services dans le cloud.

Chapitre 6. **Programmation cloud et environnements logiciel.**

- Calcul parallèle, paradigmes de programmation.
- Hadoop MapReduce.
- Apache Spark.

Chapitre 7. **Analyse de données.**



- Traitement de graphes et de flux.
- PageRank.
- Notions d'apprentissage automatique.
- Spark MLlib.
- Clustering (k-means).

Déroulement, organisation du cours

- **Introduction. Cours magistral** : 3h
- **Virtualisation. Cours magistral** : 2h
- **Conteneurisation. Cours magistral** : 3h, **TD** : 3h, **TP** : 3h (noté)
- **Applications Multi-service. Cours magistral** : 4h, **TD** : 3h
- **Programmation cloud et environnements logiciel. Cours magistral** : 6h, **TD** : 3h, **TP** : 3h (noté)
- **Examen**: 2h

5 TD/TP de 3h, 18h cours magistral, 2h examen.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit à la fin du cours (QCM + exercices).

2 TP notés.

Support de cours, bibliographie

- Hwang, Kai, Jack Dongarra, and Geoffrey C. Fox. *Distributed and cloud computing: from parallel processing to the internet of things*. Morgan Kaufmann, 2013.
- Erl, T., Puttini, R., & Mahmood, Z. (2013). *Cloud computing: concepts, technology & architecture*. Pearson Education.
- Tel, G. (2000). *Introduction to distributed algorithms*. Cambridge university press.
- Miner, D., & Shook, A. (2012). *MapReduce Design Patterns: Building Effective Algorithms and Analytics for Hadoop and Other Systems*. O'Reilly Media, Inc..
- Karau, H., Konwinski, A., Wendell, P., & Zaharia, M. (2015). *Learning spark: lightning-fast big data analysis*. O'Reilly Media, Inc.
- Schenker, Gabriel. *Learn Docker - Fundamentals of Docker 19.x*. Packt Publishing,. Print.



Moyens

Equipe enseignante : Francesca Bugiotti, Gianluca Quercini, Idir Ait Sadoune, Marc-Antoine Weisser, Arpad Rimmel

Taille des TP : 25 élèves

Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Utilisation de logiciels licence libre

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, l'élève sera capable de :

- Comprendre les concepts à la base du cloud computing.
- Maîtriser la notion de virtualisation et conteneurisation dans le cloud.
- Connaître les différentes plateformes cloud.
- Utiliser les paradigmes de calcul distribué, tels que 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.
- Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel.



2EL1710 – Probabilités avancés

Responsables : Erick HERBIN
Département de rattachement : MATHÉMATIQUES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours théorique fait suite au cours de Mathématiques de 1ère année, qui comprend les concepts de base de la théorie des probabilités. Il introduit les fondements de la théorie générale de processus stochastiques, prenant en compte l'évolution temporelle de concepts aléatoires.

Ces modèles probabilistes constituent les objets mathématiques de base pour modéliser des phénomènes à forte variabilité, incertains ou dont la complexité rend impossible une description déterministe fine. Parmi eux, le mouvement brownien est largement utilisé pour décrire les phénomènes (naturels, physiques, biologiques ou financiers) à base d'équations différentielles stochastiques. Il se situe au carrefour de classes importantes telles que martingales, processus de Markov ou processus gaussiens, dont il hérite des propriétés.

L'objectif de ce cours est l'étude théorique des deux premières familles de processus stochastiques, dans le cas particulier où les paramètres sont dans un espace discret, puis d'introduire les processus gaussiens indicés par les réels. Le cours revêt le format classique d'un cours de mathématiques dans lequel les théorèmes fondamentaux sont démontrés au tableau.

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

SG6



Prérequis

Cours de CIP du cursus CentraleSupélec ou les cours de dernière année de Licence de Mathématiques : Intégration, théorie de la mesure, Probabilités.

Plan détaillé du cours (contenu)

Martingales à temps discrets (15h) : étude des martingales à temps discrets ; martingales et stratégie de jeu ; résultats de convergence

Chaînes de Markov (12h) : opérateurs de transition, propriété de Markov et chaîne de Markov canonique ; classification des états, récurrence/transience ; résultats asymptotiques

Processus gaussiens et introduction au mouvement brownien (6h) : loi d'un processus stochastique ; processus gaussiens, bruit blanc et introduction au mouvement brownien

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux entièrement au tableau (résultats, preuves et exemples) : 22h

Travaux dirigés : 9h

Organisation de l'évaluation

Home Works, Contrôle partiel obligatoire de 1h30 (sans document, ni calculatrice, ni ordinateur) à la moitié du cours, Contrôle final écrit : 2h (sans document, ni calculatrice, ni ordinateur).

Support de cours, bibliographie

Notes de cours et éléments de correction d'exercices en ligne

Moyens

Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Erick Herbin

Un seul groupe de TD (effectif complet)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

L'objectif de ce cours est l'étude théorique des deux premières familles de processus stochastiques, dans le cas particulier où les paramètres sont dans un espace discret, puis d'introduire les processus gaussiens indicés par les réels.



Description des compétences acquises à l'issue du cours

Fondements théoriques de l'étude des processus stochastiques à temps discret et des processus aléatoires gaussiens. A l'issue de ce cours, les étudiants seront prêts à suivre un cours de Calcul Stochastique de 2ème année de Master de Mathématiques.



2EL1720 – Distributions et opérateurs

Responsables : Pauline LAFITTE
Département de rattachement : MATHÉMATIQUES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours théorique revient à la genèse des concepts d'analyse fonctionnelle présentés dans le cours de CIPEDP de 1^{ère} année.

Historiquement, les distributions et les opérateurs ont été introduits pour donner un cadre mathématique adapté à la formalisation de problèmes issus de la physique. Ainsi ont été généralisés les concepts de fonctions en fournissant une théorie pour traiter de manière rigoureuse des questions fondamentales de l'analyse (interversion de limites, interversion limite-intégrale, transformée de Fourier...).

Ces concepts permettent d'apporter une réponse : dans quel espace fonctionnel doit-on chercher la solution du problème pour qu'il soit bien posé au sens de Hadamard, c'est-à-dire pour qu'il ait une et une seule solution qui dépende continûment des données ? En particulier, le concept de topologie (générale) sur de tels espaces revêt un rôle essentiel pour étudier la question de la continuité et plus généralement celle de la convergence. Selon les cas considérés, elles peuvent être définies par une distance, une norme ou une famille de semi-normes.

Dans le cadre de la théorie générale des processus stochastiques (ou fonctions aléatoires), les distributions et opérateurs constituent les outils mathématiques de base pour étudier les processus gaussiens ou des extensions du mouvement brownien classique. Les concepts étudiés dans ce cours sont à la base de la représentation de ces processus sous forme spectrale ou intégrale, qui permet leur étude fine (propriétés géométriques, propriétés de Markov, définition d'une intégrale stochastique, etc.)

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

SG6



Prérequis

CIP-EDP

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours de mathématiques fondamentales est organisé autour de l'étude théorique des notions suivantes :

- Théorèmes de Hahn-Banach
- Opérateurs non bornés
- Topologies faibles
- Concepts avancés de distributions
- Théorème de représentation de Bochner

Au sein de chacun de ces thèmes, la majeure partie des résultats sont démontrés rigoureusement en cours.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux durant lesquels les concepts et les résultats sont exposés et démontrés au tableau. Séances d'exercices d'application sous forme de travaux dirigés.

Organisation de l'évaluation

Homeworks + Devoir libre facultatif + Contrôle Intermédiaire obligatoire
1h30 sans document + Contrôle Final obligatoire écrit 2h sans document

Support de cours, bibliographie

Notes de cours et éléments de correction d'exercices en ligne.

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) :
Pauline Lafitte
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : un seul groupe de TD (effectif complet)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables de :



Maîtrise des bases de la théorie de l'analyse fonctionnelle : les élèves posséderont les capacités de raisonnement et de rigueur indispensables à l'acte de modélisation et à son analyse.

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

C3.1 : Etre proactif, prendre des initiatives, s'impliquer

C3.2 : Remettre en cause ses hypothèses de départ, ses certitudes.

Surmonter ses échecs.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours constitue un fondement important pour les étudiants souhaitant poursuivre un Master 2 en lien avec les mathématiques fondamentales (par exemple en Analyse, Equations aux dérivées partielles ou Probabilités).

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

C3.1 : Etre proactif, prendre des initiatives, s'impliquer

C3.2 : Remettre en cause ses hypothèses de départ, ses certitudes.

Surmonter ses échecs.



2EL1730 – Machine Learning

Responsables : Fragkiskos MALLIAROS
Département de rattachement : MATHÉMATIQUES
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est une introduction aux aspects principaux de l'apprentissage statistique (ou machine learning), qui est présenté sous l'angle du risque statistique et de sa minimisation par rapport à une fonction de prédiction.

Une section pratique, qui comprend un projet en groupe sur une compétition de data science, donne l'opportunité aux étudiants d'appliquer les concepts théoriques du cours à des problèmes réels.

Ce cours vise à familiariser les étudiants avec :

- des concepts fondamentaux de l'apprentissage statistique, tels que le risque, la régularisation, le sur-apprentissage, la complexité d'un modèle, ou la validation croisée ;

- un éventail d'algorithmes d'apprentissage pour la classification et la régression, incluant les méthodes bayésiennes, les régressions logistique et linéaire, les approches plus proches voisins, les arbres de décision et forêts aléatoires, les méthodes à noyau, et les réseaux de neurones ;

- la réduction de dimension et le clustering ;

- les techniques d'optimisation implémentées par ces algorithmes d'apprentissage.

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

SG6

Prérequis

Notions d'algèbre linéaire, de probabilités et de programmation scientifique en Python (numpy)



Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours couvrira les sujets suivants :

- Introduction à l'apprentissage machine
- Réduction de la dimensionnalité
- Sélection et évaluation des modèles
- Régression linéaire et logistique
- Les classificateurs probabilistes et l'analyse discriminante linéaire
- Apprentissage non paramétrique et méthodes du plus proche voisin
- Méthodes basées sur l'arbre et l'apprentissage d'ensemble
- Machines Vectorielles de Support
- Réseaux de neurones
- Apprentissage non supervisé : regroupement en grappes
- Introduction à l'apprentissage du renforcement

Déroulement, organisation du cours

Chaque partie du cours est divisée en 1h30 de cours et 1h30 de laboratoire (TD).

Les travaux de laboratoire incluront des travaux pratiques (utilisation de Python) et permettront aux étudiants de s'acquitter de tâches ML dans la pratique.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation du cours sera basée sur les éléments suivants : Deux travaux : les travaux comprendront des questions théoriques ainsi que des questions pratiques qui familiariseront les étudiants avec les tâches de base de l'apprentissage automatique. Projet : Les étudiants doivent former des groupes de 3-4 personnes, proposer un sujet pour leur projet et soumettre un rapport final. Examen final : Examen final dans la matière couverte par le cours. La pondération sera la suivant : Affectation 1 (individuellement) : 10%. Devoir 2 (groupes de 3-4 élèves) : 15%. Projet (groupes de 3-4 étudiants) : 15%. Examen final : 60%



Support de cours, bibliographie

Il n'existe pas de manuel unique requis pour le cours. Nous recommanderons des chapitres spécifiques des livres suivants:

- 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.
- Jure Leskovec, Anand Rajaraman, and Jeff Ullman. Mining of Massive Datasets. Cambridge University Press, 2014.

Veuillez consulter le site Web du cours pour plus de détails:
<http://fragkiskos.me/teaching/2E1730-F19/>

Moyens

Le cours est dispensé conjointement par Fragkiskos MALLIAROS et Maria VAKALOPOULOU.

Une liste détaillée des ressources est donnée sur le site web du cours :
<http://fragkiskos.me/teaching/2E1730-F20/>

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Nous nous attendons à ce que d'ici la fin du cours, les étudiants soient en mesure de :

Identifier les problèmes qui peuvent être résolus à l'aide de méthodes d'apprentissage machine.

En cas de problème, identifier et appliquer le ou les algorithmes les plus appropriés.

Implémenter certains de ces algorithmes à partir de zéro.

Évaluer et comparer les algorithmes d'apprentissage machine pour une tâche particulière.

Relever les défis du monde réel en matière de données.



2EL1740 – Algèbre et cryptologie

Responsables : Remi GERAUD

Département de rattachement : MATHÉMATIQUES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences fondamentales

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est une introduction aux outils mathématiques modernes, et leur matérialisation en applications technologiques et scientifiques.

À la croisée des mathématiques fondamentales, de l'informatique et de la théorie de l'information, nous aborderons des questions telles que

- Comment envoyer un message depuis une sonde spatiale ?
- Comment garantir l'authenticité d'un document numérique ?
- Comment trouver de très grands nombres premiers ? Ou factoriser de grands nombres ?
- et beaucoup d'autres

pour lesquelles nous serons amenés non seulement à introduire des structures algébriques (catégories, groupes, anneaux, modules, spectres...) et à étudier leurs relations et symétries, mais en fait à repenser des objets pourtant familiers (points, espaces, fonctions, nombres...) d'une manière nouvelle et unificatrice.

Le thème directeur de notre exploration sera la théorie des codes et la cryptologie du 20e et 21e siècle.

L'objectif de ce cours est de doter les étudiants :

- D'un bagage culturel sur le développement des mathématiques au 20e et 21e siècle, avec un langage qui leur permettra d'approfondir ces questions
- D'une maîtrise opérationnelle du calcul dans les structures algébriques, en particulier anneaux et corps finis, et courbes elliptiques (points rationnels et diviseurs)



- D'une compréhension des fondements mathématiques de la cryptologie moderne

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

SG8

Prérequis

Ce cours ne suppose pas de connaissances spécifiques au-delà de notions mathématiques générales, mais une familiarité avec la programmation informatique est fortement recommandée.

Cela dit ce cours demande un travail sérieux et conséquent, pour assimiler et s'approprier les notions discutées.

Plan détaillé du cours (contenu)

(Note: le programme est indicatif et susceptible de changer. Il ne suit pas nécessairement l'ordre de cours)

- Catégorie et structure des groupes commutatifs. Théorème de structure pour les groupes commutatifs finiment engendrés.
- Catégorie, structure, et typologie des anneaux commutatifs. Catégorie des modules, spectre, topologie de Zariski. Unités et factorisation dans un anneau.
- Fonctorialité du spectre. Anneaux de polynômes. Corps, corps finis, corps de rupture et construction explicite. Applications cryptographiques (GCM, AES, SSS) et codes (GRS).
- Variétés algébriques lisses, variétés projectives, points rationnels, corps de fonctions. théorème de Riemann--Roch. Applications cryptographiques (ECDH) et codes (Goppa).
- Diviseurs de Weil, accouplement de Weil, de Tate--Lichtenbaum, de Tate réduit, algorithme de Miller. Applications cryptographiques (MOV, BLS).
- Primalité et factorisation, tests de Fermat, de Miller--Rabin, nombres de Carmichael. Théorème de Pocklington. Algorithme de Shanks, de Pollard, de Dixon--Kraitchik, Crible du corps de nombres généralisé.
- Théorie des codes, bornes de Singleton, Shannon, Hamming. Théorème de Berlekamp--McEliece--Van Tilborg. Cryptosystème de McEliece.



Déroulement, organisation du cours

Les cours sont présentés au tableau (notes de cours fournies aux étudiants en présence).

Des exercices sont proposés et certains corrigés en détail. Plusieurs devoirs à la maison (optionnels) seront proposés.

Un manuel est mis à disposition qui complète le cours et des références sont fournies pour des points spécifiques.

TDs = 10.5 h

cours = 21 h

Organisation de l'évaluation

Il y aura un examen intermédiaire (1h30, sur table, sans documents) et un examen final (2h, sur table). Des exercices d'auto-évaluation seront proposés. La note finale sera la meilleure entre : - la note obtenu à l'examen final - la somme pondérée des deux notes (1/3 partiel, 2/3 final)

Moyens

Cours magistral au tableau, certains exercices nécessitent l'utilisation de l'ordinateur. Le cas échéant on précisera les logiciels à installer.

Equipe enseignante : Rémi Géraud-Stewart.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, les élèves seront capables de :

- Identifier les structures algébriques manifestes dans les problèmes rencontrés
- Comprendre les enjeux et les outils de la cryptologie et de la théorie des codes, et (re)connaître leurs principales applications industrielles
- Maîtriser le langage dans lequel sont formulés et analysés les problèmes algébriques



Description des compétences acquises à l'issue du cours

1. Identifier les structures algébriques manifestes dans les problèmes rencontrés

- Compétence C.1.2 : reconnaître les structures étudiées en cours
- Compétence C.6.1 : utiliser les outils technologiques appropriés

2. Comprendre les enjeux et les outils de la cryptologie et de la théorie des codes, et (re)connaître leurs principales applications industrielles

- Compétence C.6.7 : comprendre les enjeux de l'échange d'information
- Compétence C.3.6 : comparer les solutions existantes ou proposées aux besoins et contraintes
- Compétence C.6.1 et C.1.4 : invoquer les outils pertinents et bien les configurer

3. Maîtriser le langage dans lequel sont formulés et analysés les problèmes algébriques

- Compétence C.2.3 : apprendre à approfondir ses connaissances pour répondre à un problème donné



2EL1750 – Statistiques avancées

Responsables : Sarah LEMLER
Département de rattachement : MATHÉMATIQUES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours de Statistiques Avancées a pour objectif de présenter diverses méthodes statistiques permettant de faire de l'estimation, de la prédiction et de déterminer les propriétés des estimateurs proposés. Nous développerons deux grands thèmes :

- la régression linéaire multivariée
- les statistiques non-paramétriques.

Le cours aborde à la fois les aspects théoriques de ces notions mais propose également une mise en pratique des modèles et méthodes considérées à l'aide de TPs avec le logiciel R sur des jeux de données provenant de différents domaines.

A télécharger avant le premier TP :

- le logiciel R <https://www.r-project.org/>
- l'interface RStudio <https://www.rstudio.com/>

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

SG8

Prérequis

Pour ce cours les prérequis sont les suivants :



Il faut connaître les notions vues en cours de Statistiques et Apprentissage en 1ère année, en particulier :

- les estimateurs,
- les intervalles de confiance,
- les tests,
- les premières notions sur le modèle linéaire

Plan détaillé du cours (contenu)

Nous développerons deux thèmes :

- la régression linéaire multivariée
- les statistiques non-paramétriques

Déroulement, organisation du cours

Le cours se fera au tableau (pour la partie la plus théorique) ou à partir de slides projetées lorsqu'il s'agira par exemple de présenter une application faite à partir du logiciel R.

Il y a 35 heures prévues pour cet électif, dont 2 heures pour l'examen final, environ 15 heures de TP/TD (pourra être modulé) et 18 heures de cours.

Organisation de l'évaluation

Le cours comporte deux évaluations : un devoir maison (DM) à composer par binôme à rendre à mi parcours (la date sera précisée lors du premier cours) un examen final (EX) sur table de 2 heures qui porte sur l'ensemble du programme traité en cours. La note de cet électif sera alors la moyenne des notes des deux évaluations précédentes $(DM+EX)/2$, arrondie au demi point le plus proche. Le rattrapage est un examen EX2 de même modalités que EX. La note de l'électif après le rattrapage est celle de l'examen EX2 uniquement (sans le DM).

Support de cours, bibliographie

Le polycopié de Statistiques et apprentissage de première année de Paul-Henry Cournède



Moyens

A l'issue de chaque cours, des exercices de TDs ou des TPs seront proposés pour se familiariser avec les notions théoriques vues en cours et les mettre en pratique pour répondre à des problèmes concrets éventuellement à partir de jeux de données.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Utiliser des techniques d'estimation statistiques paramétriques et non-paramétriques
- Valider une modélisation et comprendre les limites d'un modèle statistique
- Proposer, implémenter et calibrer un modèle prédictif
- Utiliser le logiciel R et interpréter des résultats

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Utilisation de techniques d'estimation statistiques paramétriques et non-paramétriques
- Valider une modélisation et comprendre les limites d'un modèle statistique
- Proposer, implémenter et calibrer un modèle prédictif
- Utiliser le logiciel R et interpréter des résultats



2EL1760 – Calcul scientifique

Responsables : Hachmi BEN DHIA
Département de rattachement : MATHÉMATIQUES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours est une brique rigoureuse et appliquée, à la fois, contribuant à la conception des systèmes complexes via la modélisation, l'analyse mathématique, l'approximation et la simulation de problèmes d'ingénieur en mécanique des solides et des fluides. Cela couvre des secteurs tels l'énergie, le transport ou l'aérospatiale.

L'objectif pédagogique est que les élèves suivant ce cours acquièrent une bonne compréhension de cette chaîne intégrant la modélisation, l'analyse mathématique et la simulation numérique pour l'étude des systèmes complexes, et ce à travers des problèmes simplifiés, mais pertinents, de la mécanique des solides et des fluides.

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

SG8

Prérequis

Notions de base de la Mécanique des Milieux Continus : Hypothèses de la MMC-Champs en mécanique des Solides et des Fluides-Equations principales et sens de ces équations reliant les champs mécaniques- Notions de base de calcul différentiel et intégral. Notions de base sur les espaces de Hilbert et les formulations faibles des EDP. Notions de base de stabilité et Notions premières des approximations numériques en espace et en temps d'une équation ou d'un système d'EDP. Quelques éléments de programmation. En bref, un niveau de fin de première année CS, en



Mathématique et en Mécanique ou un niveau de Licence en Mathématiques Appliquées à la Mécanique.

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours comporte deux parties successives de 5,5x3h, chacune.

1. Simulation des écoulements de fluides compressibles :

- Modèles d'écoulements, solutions discontinues, entropie, solveurs basiques, extensions.

- Mise en oeuvre en TP.

2. Modélisation, analyse et simulation en mécanique du solide :

- Dérivation rapide des équations de l'élasticité linéaire: Equations fortes et faibles

- Analyse mathématique du problème primal. Méthode des éléments finis vectoriels. Estimation d'erreur a priori.

- Mise en oeuvre numérique de la MEF (TP d'assemblage EF)

- Projet sur l'approximation d'un problème d'élasticité singulier (en utilisant un proto Matlab).

Déroulement, organisation du cours

Cours-TD-TP, Projet

Organisation de l'évaluation

Examens Ecrits, Oraux, TP, projets Evaluation (première session) : Examen écrit et TP/projet Note E : Contrôle écrit de 2 h dont 1h00 pour la mécanique des solides et 1h00 pour la mécanique des fluides, avec tous les documents papiers autorisés Note P : TP et projet Note finale= $(2 * E + P) / 3$ Evaluation (session de rattrapage) : oral ou écrit (selon de nombre d'élèves à rattraper)

Support de cours, bibliographie

- Polycopié EDP de Première année, Polycopiés pour la partie fluides et la partie solide du cours (et références mentionnées dans ces polycopiés)



- Matlab, Scilab, Python...

Moyens

Hachmi Ben Dhia (Professeur des Universités, CentraleSupélec),
Laboratoire MSSMat et Fédération de Math CS

Frédérique Laurent-Nègre (Chercheur CNRS), Laboratoire EM2C et
Fédération de Math CS

Assistants extérieurs (TP, Projets)

Salles informatiques

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Méthodes et outils mathématiques de base pour l'analyse de problèmes
continus de Mécanique des solides et des fluides

Méthodes numériques variées pour l'approximation des problèmes
continus (Différences Finies, Volumes Finis et Eléments Finis)

Estimation des erreurs entre solution continue et approchées et contrôle
mathématique de la convergence.

- Analyse de problèmes régis par des Equations aux Dérivées Partielles
(EDPs)

- Pratique de la simulation numérique, en lien avec les propriétés
mathématiques de ces EDPs

- Initiation au problème du choix des méthodes numériques adaptées



2EL1810 – Vibration structurelle et acoustique

Responsables : Pierre-Etienne GAUTIER
Département de rattachement : MÉCANIQUE GÉNIE CIVIL
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les phénomènes dynamiques et de propagation d'onde jouent un rôle essentiel dans de nombreux domaines : géophysique , résistance des bâtiments et des ouvrages au vent et aux séismes , stabilité et confort des véhicules aéronautiques ou terrestres

Les questions d'acoustique sont aussi importantes, par exemple dans les transports, à la fois du point de vue du confort interne que vis à vis de l'environnement

Le but de ce cours est de donner les connaissances de base , méthodes et outils pour l'analyse et la quantification des phénomènes de vibration et d'acoustique

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

SG6

Prérequis

1 EL 5000 Mécanique des milieux continus



Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction aux vibrations des systèmes discrets ou discrétisés
- théorie des poutres minces (Euler-Bernoulli) Application aux vibrations des poutres en flexion
- Principe des Puissances virtuelles et applications 3D et poutres
- Eléments finis pour les problèmes dynamiques. Réponse dynamique des structures sur base modale
- Réponse dynamique aux sollicitations aléatoires
- TD éléments finis modélisation de la réponse d'un bâtiment sous excitation sismique et vent
- Acoustique 1 équations et sources de base (monopoles, dipôles)
- Acoustique 2: Guides d'ondes et applications
- Acoustique 3: modes en milieu borné
- Introduction à la vibroacoustique
- Analyse d'un papier scientifique par binôme
- Examen final

Déroulement, organisation du cours

S1 à S5 , S7 à S10 Cours et TD

S6 TD par groupe de 4

S11 analyse du papier par groupe de 2

Organisation de l'évaluation

examen écrit 2h (coeff 0,7) + analyse de papier (coeff 0,3)

Support de cours, bibliographie

Document de cours + slides des séances de cours

Moyens

Professeur : Pierre-Etienne Gautier

TD : 35 élèves

Softwre Comsol multiphysics ou code élément finis



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- A l'issue de l'enseignement les élèves seront capables de:
- Modéliser le comportement vibratoire de structures en adoptant la bonne modélisation (3D, poutres,...)
- modéliser le comportement acoustique d'un système fermé
- modéliser dans des cas simples le couplage vibroacoustique
- connaître et modéliser les effets dynamiques d'environnement (vent, séisme...)
- pour un solide complexe mettre en oeuvre la méthode des éléments finis pour un problème de vibration
- mettre en œuvre une stratégie de résolution en basses fréquences par projection sur une base modale (pour un problème de vibration , d'acoustique ou couplé)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2 capacité à modéliser le comportement dynamique d'une structure

C1.2 capacité à modéliser des effets d'environnement (vent, séismes)

C1.2 capacité à modéliser des problèmes acoustiques ou vibroacoustiques simples

C1.3 Capacité à résoudre les problèmes de dynamique des structures et d'acoustique en basses fréquences , en utilisant les outils associés à une approche modale (développement sur base , fonction de réponse en fréquence)



2EL1820 – Matériaux du vivant

Responsables : Elsa VENNAT
Département de rattachement : MÉCANIQUE GÉNIE CIVIL
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours s'intéresse aux problèmes mécaniques multi-échelles du vivant. Dans un premier temps, des outils sont mis en place pour décrire, modéliser et résoudre un problème de biomécanique : rappels de Mécanique des Milieux Continus, anisotropie, viscoélasticité, méthode des éléments finis, homogénéisation. Dans un second temps, ces outils sont utilisés pour caractériser différents matériaux du vivant (os, dent, cellules...) dans le cadre d'une série de TP numériques et expérimentaux. Ainsi une démarche complète est menée pour caractériser en trois étapes des tissus biologiques aux caractéristiques très différentes :

- Recherche bibliographique
- Observations aux différentes échelles pertinentes : caractéristiques morphologiques, évolution de la structure (par exemple, remodelage osseux)
- Essais mécaniques, modélisation éléments finis et analyse critique

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

SG8

Prérequis

1EL5000 - Mécanique des milieux continus

Plan détaillé du cours (contenu)

- Modélisation du comportement des matériaux :
 - la mécanique des milieux continus (rappels)
 - l'anisotropie



- la viscoélasticité
- Démarche expérimentale et numérique :
 - Initiation à la recherche bibliographique
 - Caractérisation/Modélisation des tissus ou cellules du vivant (morphologique et mécanique) de manière expérimentale et numérique
- Séminaire d'ouverture avec participation de chercheurs travaillant sur la thématique "Biomécanique" au sens large

Déroulement, organisation du cours

12hCM ; 21hTP

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu (50% de la note) ; une soutenance et/ou un rapport de TP (50% de la note)

Support de cours, bibliographie

- S.C. Cowin. Bone Mechanics Handbook. CRC Press, Boca Raton, 2001.
- G. Puel. Polycopié de Mécanique des milieux continus 1ère année CentraleSupélec.

Moyens

Enseignant des cours magistraux : Elsa VENNAT

Outils logiciels : Comsol Multiphysics, ImageJ (ou FIJI)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, les élèves seront capables entre autres:

de décrire le comportement de tissus biologiques à partir de courbes expérimentales,
d'utiliser les symétries de sa morphologie pour proposer une forme simplifiée de matrice de rigidité en élasticité,
de proposer un protocole expérimental pour caractériser un tissu en traction,
de décrire les essais pour caractériser la viscoélasticité d'un tissu,
de proposer un modèle rhéologique pour modéliser le comportement viscoélastique d'un tissu,
de mener une étude bibliographique,
de caractériser un tissu biologique poreux par analyse d'image sur ImageJ,
de proposer un modèle éléments finis de ce milieu poreux pour évaluer son module d'Young ou sa perméabilité



2EL1830 – Comportement non-linéaire des matériaux

Responsables : Véronique AUBIN

Département de rattachement : MÉCANIQUE GÉNIE CIVIL

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

La conception des structures des matériaux et leur optimisation (en termes de durée de vie, de performances, de coût) nécessite de pouvoir prédire la réponse des matériaux considérés pour cette application sous les sollicitations imposées pendant leur durée de vie (charge, température, contrainte, humidité...).

L'objectif de ce cours est de mettre en évidence le comportement mécanique et la durabilité des principales classes de matériaux dans diverses conditions de chargement, de comprendre les bases physiques des micromécanismes impliqués, et d'utiliser une modélisation pertinente pour la conception, dans le cadre de méthodes numériques. Les concepts sont introduits dans le cadre de la mécanique des milieux continus, et utilisent des notions liées au cours de Matériaux.

Applications dans les transports, l'énergie, les systèmes électroniques et le génie civil.

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

SG6

Prérequis

1EL5000 Mécanique des milieu continu ou 1EL4000 Matériaux,
1CC3000 Modélisation

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction, approche de la modélisation : étude de cas sur un problème d'élasticité thermique (rappels)
2. Élasticité anisotrope des matériaux composites : Introduction aux



matériaux composites (nature, intérêt au moyen des cartes Ashby, procédé de fabrication). Élasticité linéaire anisotrope. Calcul des propriétés du milieu homogène équivalent.

3. Homogénéisation de matériaux hétérogènes : schéma d'homogénéisation. Voigt et Reuss aux limites.
4. Viscoélasticité des polymères et des élastomères : introduction aux polymères (nature, comportement en fonction de la température). Viscoélasticité. Comportement dépendant du temps.
5. Mécanismes de plasticité dans les alliages métalliques : Structure et défauts des matériaux cristallins. Dislocations et facteur de Schmid. Durcissement des alliages.
6. Élastoplasticité : Description des modifications du domaine élastique. Déformation décomposition. Élastoplasticité 3D incrémentielle.
7. Etude de cas : choix d'un modèle. (Sur 2 cas donnés, analysez le problème, proposez / créez un modèle capable de prendre en compte les mécanismes physiques observés.)
8. Identification des lois de comportement : introduction à l'optimisation (fonction objectif, sensibilité, minimisation)
9. Sécurité des structures - dommages et fractures : introduction au béton (nature et spécificités du comportement et des dommages). Volume de dégâts. Durabilité des fissures.
10. Etude de cas (utilisation des différents concepts du cours sur une application donnée)
11. Etude de cas (utilisation des différents concepts du cours sur une application donnée)
12. Examen final

Déroulement, organisation du cours

- Sessions 1 à 6 : cours magistral + session d'étude dirigée
- Session 7: session de travail
- Sessions 8 et 9: conférence + session d'étude dirigée
- Sessions 10 et 11: session de travail
- Session 12: examen final : 2H

Organisation de l'évaluation

L'évaluation finale comprend un examen (70% de la note) + un rapport sur une étude de cas (30% de la note).

L'étude de cas finale permet d'évaluer les résultats d'apprentissage 1, 4 et 5, tandis que l'examen permet d'évaluer les résultats d'apprentissage 1, 2, 3 et 4. Chaque résultat d'apprentissage est évalué séparément. Un feedback est donné aux élèves sur les compétences qu'ils ont développées.

Examen et rapport sur l'étude de cas permettant d'évaluer des compétences différentes, les deux seront exigés au rattrapage le cas échéant.



Support de cours, bibliographie

Pas de polycopié ; mais une liste de livres

Chaboche and Lemaître, Mechanics of Materials, Dunod

Roesler, Harders, Baeker, Mechanical Behaviour of Engineering Materials, Springer, 2007

Besson, Cailletaud, Chaboche, Forest, Non linear Mechanics of Materials, Hermès, 2001

Moyens

- Personnel enseignant : Véronique Aubin, Camille Gandiolle, Jan Neggers
- Nombre maximum d'inscriptions : 70
- Logiciel, nombre de licences requises : Matlab

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de ce cours, les étudiants seront capables de :

- analyser une structure matérielle, énumérer les charges qui lui sont appliquées, expliquer les critères auxquels elle doit répondre (performance, économique, etc.).
- interpréter le comportement mécanique expérimental d'un matériau donné à partir des mécanismes physiques impliqués, distinguer entre plusieurs interprétations possibles
- sélectionner, utiliser et enrichir une loi de comportement adaptée aux observations expérimentales
- identifier les paramètres de ce modèle à partir de l'information expérimentale. Avoir une analyse critique des résultats de simulation obtenus.
- Convaincre de la valeur d'une solution ou d'une recommandation prouvable ou démontrable

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le 1er acquis d'apprentissage permet d'atteindre le jalon 1 de la compétence 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)

Les acquis d'apprentissage n°2 et 3 permettent d'atteindre les jalons 2 ou 3 de la compétence C1.2. (Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème)

L'acquis d'apprentissage n°4 permet d'atteindre le jalon 2B de la compétence C1.3 (Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation)

L'acquis d'apprentissage n°5 permet d'atteindre le jalon 1 de la compétence C7.1 (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.)



2EL1840 – Mécanique avancée pour le génie civil : « Construire sur Mars »

Responsables : Brice BOSSAN

Département de rattachement : MÉCANIQUE GÉNIE CIVIL

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Il s'agit de matérialiser un projet de construction d'un village sur Mars, et donc d'exercer simultanément des compétences en innovation et scientifiques, et aussi de travail en mode-projet ...

A travers cette problématique posée d'un environnement contraint et différent de celui de la Terre, les élèves développent leurs capacités d'innovation et acquièrent des compétences en Génie Civil, en Matériaux, en Thermique, et en Construction & Logistique, et aussi Environnementales...

Les travaux dirigés se faisant en sous-groupe, les élèves acquièrent alors des compétences de travail en équipe, en pilotage de projet transdisciplinaire, en reporting et en communication scientifique lors des revues de projet et la soutenance finale.

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

SG6

Prérequis

1EL3000 - Génie industriel ou 1EL4000 - Matériaux ou 1EL5000 -

Mécanique des milieux continus ou 1EL7000 - Sciences des transferts

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 (3h) : amphi de lancement, constitution des 4 groupes projet, bibliographie commentée en 4 groupes de 25 élèves par leurs animateurs scientifiques et innovation



Séances 2 et 3 (4 fois 1.5h) : 4 conférences thématiques suivies de Q/R avec les élèves

Séances 4, 6, 8, 10 (4 fois 3h) : travaux dirigés en 4 groupes de 25 élèves (travaillant en parallèle) avec pour chaque groupe un animateur scientifique présent et une intervention (conf-call) de l'animateur « innovation ». Le scientifique délivre alors les cours théoriques et appliqués dont les élèves ont besoin pour avancer dans leurs travaux

Séances 5, 7, 9 11 (4 fois 3h) : en alternance avec les séances 4, 6, 8 et 10, la revue de projet (faite en amphi par les 4 rapporteurs des 4 groupes, avec leur animateur scientifique) permet aux 100 élèves de mesurer l'avancement des travaux de toutes les thématiques, de faire les choix cohérents et d'acter les acquis, puis d'identifier les verrous à lever pour la bonne suite des travaux qu'ils feront en TD, et en travail perso.

Séance 12 : restitution des travaux via une soutenance en amphi des 4 groupes de 25 ainsi qu'une synthèse de la solution par les 4 rapporteurs des 4 groupes. L'évaluation des élèves est faite par les responsables du cours + les animateurs scientifiques et innovation.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation individuelle des élèves est faite « en continu » par le Scientifique lors des TD/TP , celle du groupe est faite lors de la Séance 12.

Support de cours, bibliographie

Les étudiants pourront échanger avec le corps professoral pour obtenir des références bibliographique et être orientés dans leurs recherches

Moyens

Equipe enseignante : B.Bossan est responsable de l'organisation de l'électif. Chaque thématique est pilotée par un binôme « Scientifique+ Innovateur ». L'amphi de lancement (Séance 1) est proposé fait par une personnalité reconnue.

Taille des TD : 4 groupes de 25 élèves



2EL1850 – Simulation des couplages multiphysiques avec la MEF

Responsables : Andrea BARBARULO

Département de rattachement : MÉCANIQUE GÉNIE CIVIL

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de ce cours est de donner des connaissances théoriques et appliquées sur les simulations de couplage multi-physique telles que : thermomécanique, piézoélectrique, vibro-acoustique, magnéto-mécanique.

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

SG8

Prérequis

équation aux dérivées partielles

1EL1000 - Électromagnétisme ou 1EL4000 - Matériaux ou 1EL5000 -

Mécanique des milieux continus ou 1EL7000 - Sciences des transferts

Plan détaillé du cours (contenu)

- S1-S2 Formulation variationnelle et MEF 1D (Projet : Poutre avec couplage faible thermique/Mécanique)
- S3-S4 MEF 2D (Projet : Pièce chauffée avec fenêtre ouverte (couplage faible thermique et mécanique des fluides))
- S5 Techniques de couplage multiphysique (Application : micro actionneur thermique)
- S6-S7 Estimation de l'erreur de modèle (Projet : Pièce chauffée avec fenêtre ouverte (estimation des erreurs))



- S8-S9 Problèmes dépendants du temps et de la fréquence (Projet : Compatibilité électromagnétique dans un pièce (dynamique des ondes électromagnétiques et Ligne de transmission))
- S10-S11 Séance pratique : Conception et analyse des performances des MEMS (Stent, Accéléromètre, Récolteuse d'énergie...)
- S12 Examen final

Déroulement, organisation du cours

S1 à S9 : cours magistral 1h30 + projet numérique sur Comsol 1h30

S10 à S11 : Séances pratiques : Conception de MEMS par groupes de 4

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de 2 heures (1h de théorie + 1 sur l'outil de simulation): 65%

de la note finale Evaluation des projets: 35% de la note finale

Support de cours, bibliographie

textbook

Moyens

Enseignants : Andrea BARBARULO, Guillaume PUEL

TD: 25 students

Logiciel : Comsol Multiphysics (Structural mechanics, MEMS)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Résoudre et de modéliser un problème multi-physique incluant la mécanique des solides, la thermique, la mécanique des fluides, l'électricité et le magnétisme.
- Concevoir des capteurs et des actionneurs grâce à l'utilisation de différentes physiques et technologies couplées.
- Modéliser et de résoudre un problème multi-physique avec un code d'éléments finis commercial en portant une attention particulière à la précision de la solution.



2EL1860 – Construire la ville – urbanisme, architecture et ingénierie

Responsables : François COINTE, Frédérique DELMAS-JAUBERT

Département de rattachement : MÉCANIQUE GÉNIE CIVIL

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Sensibiliser les élèves aux problématiques de la construction de la ville :
que construit-on et pour qui

- Faire maîtriser les concepts et jeux de rôle fondamentaux de la construction à travers des études de cas, ainsi que les outils de l'ingénierie au service de l'acte de construire et donner envie d'approfondir dans des cours plus détaillés
- Les initier à la diversité des métiers nécessaires à l'acte de construire
- Leur faire prendre conscience des verrous scientifiques et techniques limitant la création de valeur

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

SG8

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- introduction et définitions : L'architecture et l'ingénierie
 - Les bâtiments publics
 - Les immeubles de bureaux
 - Les logements



Les espaces publics
Les réseaux et le génie urbain
Les ouvrages de génie civil

- une histoire de Paris et du Grand Paris
- Etude de cas sur l'histoire du territoire parisien : sur un territoire donné, identifier chaque ouvrage et l'ensemble de ses acteurs : financeur, décideur, architecte et concepteurs, constructeur, exploitant
- la financiarisation de la ville, Métiers Aménageur et Promoteur
- Histoire et avenir du Grand Paris express : le nouveau métro automatique autour de Paris
- L'architecture, au service du territoire
- les data et la smart city Qui sont les opérateurs de la smart city ?
Quelles sont les data en jeu ?
Quelle régulation souhaitable ?
- le besoin de mobilités : les villes font territoire ensemble

Déroulement, organisation du cours

Cours Magistral + Cours in situ (en ville) + TD

Organisation de l'évaluation

Les étudiants sont notés sur une étude de cas réalisée principalement en TD, comprenant évaluation de la présence et participation aux séances de TD.

Décomposition de la note sur 20 :

- étude historique et analytique d'un territoire, note par groupe sur 8
- étude de l'un des bâtiments (plutôt contemporain) de ce territoire, individuellement, note individuelle sur 8
- présence et participation individuelle aux séances de travaux dirigés encadrés, note individuelle sur 4

Support de cours, bibliographie

Institut Paris Région <https://www.institutparisregion.fr/documents-historiques-de-referance.html>

APUR–Atelier Parisien d'URbanisme <https://www.apur.org/fr>

Pavillon de l'arsenal–espace d'exposition de la Ville de Paris sur l'architecture et la ville <https://www.pavillon-arsenal.com/>

Cité de l'architecture et du patrimoine <https://www.citedelarchitecture.fr/f>

Moyens

Equipe enseignante : François Cointe, Ulisse Vizzardi, Didier Lourdin, Olivier Ledru, Frédérique Delmas Jaubert



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Connaître et comprendre les principaux paradigmes de la construction de la ville
- Identifier les parties prenantes économiques et non économiques d'un projet de construction ainsi que ses enjeux
- Distinguer les donneurs d'ordre, financeurs, concepteurs, constructeurs, et exploitants
- Connaître et comprendre les chaînes de valeur associées de l'immobilier, du BTP et des services urbains
- Comparer les positionnements des principales entreprises du secteur et leurs logiques d'innovation



2EL1910 – Lois fondamentales de l'Univers : physique des particules et de la gravitation

Responsables : Jean-Marc LE GOFF, Nathalie BESSON
Département de rattachement : PHYSIQUE
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est une introduction aux quatre interactions fondamentales : physique des particules d'une part et physique de la gravitation et cosmologie d'autre part, tant du point de vue théorique qu'expérimental.

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

SG8

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

A. Physique des particules

- A.1 Introduction historique aux particules élémentaires
- A.2 Relativité restreinte et dynamique relativiste
- A.3 Interactions fondamentales
- A.4 Modèle standard de la physique des particules

B. Gravitation

- B.1 Relativité générale : principe d'équivalence, équation du mouvement, équation Einstein
- B.2 Géométrie de Schwarzschild : orbites de particules massives, orbites des photons
- B.3 Trous noirs : horizon, coordonnées de Kruskal-Szekeres,



trous noirs astrophysiques

B.4 Cosmologie : géométrie et expansion de l'Univers, histoire thermique, formation des structures (CMB), matière noire, énergie noire

Déroulement, organisation du cours

Neuf cours d'une heure trente en classe inversée sur la physique des particules et neuf cours d'une heure trente en classe inversée sur la gravitation et la cosmologie. Six heures de TD pour la préparation au contrôle final.

Organisation de l'évaluation

Contrôle final [70% de la note], contrôle continu [30% de la note]

Support de cours, bibliographie

Vidéos, diapositives de cours, supports écrits et par ailleurs références bibliographiques distribuées en cours.

Moyens

Enseignement en classe inversée avec à la maison vidéos, slides et documents écrits. Puis en présentiel résumé du cours, séance de questions réponses, et enfin exercices comptant comme contrôle continu.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- se familiariser avec les concepts de particule élémentaire et de symétrie fondamentale
- maîtriser les concepts d'espace-temps et de quadrivecteur
- identifier les référentiels inertiels pertinents dans un problème et maîtriser les transformations de Lorentz.
- Comprendre la différence entre conservation et invariance et savoir appliquer la conservation de l'énergie-impulsion dans l'espace-temps.
- maîtriser les bases de l'algèbre tensorielle avec les notations d'Einstein
- calculer les corrections relativistes pour le Global Positioning System
- analyser ce qui se passe à proximité d'un trou noir grâce au diagramme de Kruskal

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.



2EL1920 – Physique Quantique et Statistique (part II)

Responsables : Jean-Michel GILLET
Département de rattachement : PHYSIQUE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est à la fois la continuité du cours de première année et son complément.

Il permet ainsi de revenir sur certains aspects qui, faute de temps, ont été parcourus de manière trop superficielle pour une véritable utilisation et d'accroître sa familiarité avec les concepts de base. Ce sera l'occasion de traiter de la physique statistique des systèmes ouverts (grand canonique) et des statistiques quantiques (bosons et fermions). Des liens seront établis avec les bases de la mécanique Hamiltonienne (et Lagrangienne). Le cours a aussi pour but d'offrir un prolongement vers la physique quantique des atomes et des molécules.

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

SG6

Prérequis

Le prérequis est :

Cours Physique Quantique et Statistique de première année.

Plan détaillé du cours (contenu)

Dans le désordre, nous aborderons une sélection de sujets parmi lesquels (de manière non contractuelle):

Rudiments de mécanique Lagrangienne et Hamiltonienne

Compléments sur l'oscillateur harmonique quantique

Compléments sur le moment cinétique

Physique statistique des systèmes ouverts

Statistiques quantiques



Fermions
Bosons
Structure fine et hyperfine de l'atome
Théorème variationnel
Retour sur l'atome à N électrons
Structure et propriétés du noyau atomique
Aspects de la physique quantique moléculaire

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, travaux dirigés, lectures et projet informatique
8 cours
2 séminaires (3h chacun).
10 TD ouTP

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fait au moyen de 3 volets : - Un contrôle continu sur la base de 2 quiz (QCM) d'environ 15mn max faits pendant les séances de TD et corrigés par un système automatisé pour un rendu rapide des résultats et un meilleur suivi des progressions des élèves. - Les notes de ce contrôle continu sont modulées par une note de participation (engagement dans la résolution des exercices, réponses aux questions posées lors du TD, du cours, des séances numériques) - Une épreuve écrite (2h max) dont les questions portent potentiellement sur l'ensemble du programme et qui permet en particulier d'évaluer les connaissances, la maîtrise des méthodes énoncées plus haut et les compétences associées. Le contrôle continu constituera 30 % de la note finale. En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Support de cours, bibliographie

Le livre de référence est "Application-Driven Quantum and Statistical Physics" (Vol. 1 et 2, World Scientific). Des compléments de notes de cours pourront éventuellement être fournis.

Moyens

L'équipe enseignante est composée de : C. Paillard, G. Schehr, T. Antoni, M. Ayouz, E. Klein, J-M Gillet
· Nombre maximum d'élèves : 90
· Utilisation de codes sous : Python et GAMESS
· Les locaux seront constitués de : petit amphi pour cours magistral, 3 salles de TD



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin du cours, l'étudiant sera capable de :

- justifier la structure des premières lignes du tableau périodique et les mécanismes de liaisons
- décider de la nécessité d'une approche quantique sur des problèmes dépendant de la température.
- différencier un comportement fermionique de celui adopté par des bosons. Il pourra alors justifier des différentes composantes intervenant dans les fonctions réponses telles que la chaleur spécifique, en particulier à basse température.
- proposer une méthode de modélisation quantique de quelques propriétés importantes d'un gaz moléculaire idéal mais connaîtra des moyens de prendre en compte certaines interactions.
- identifier les éléments clés à la base des propriétés nucléaires et en offrir une modélisation simple.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les compétences visées sont

C1.2 (jalon 1 voire 2) : Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines
et C1.3 (jalon 1) : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation



2EL2010 – Compréhension, optimisation et simulation des procédés biotechnologiques

Responsables : Filipa LOPES

Département de rattachement : PROCÉDÉS

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

La biotechnologie est définie comme « l'application de la science et de la technologie à la transformation de matériaux par des agents biologiques et des enzymes pour produire des biens et des services ». Ses domaines d'application sont très larges et comprennent de nombreuses applications industrielles, en particulier dans les secteurs de la santé, l'agroalimentaire, le traitement de déchets, la production d'énergie, la cosmétique ou la pharmaceutique. Les procédés biotechnologiques connaissent un très fort développement, et recrutent fortement.

L'objectif général de cet enseignement est d'introduire les approches modernes du génie des bioprocédés nécessaires pour comprendre, améliorer, optimiser et concevoir des bioprocédés innovants, compétitifs et plus respectueux de l'environnement.

Dans ce contexte, le bioprocédé et ses différentes étapes (depuis le choix du microorganisme jusqu'à la récupération des produits d'intérêts et en passant par le bioréacteur) seront abordés par une approche multi-échelle (de la cellule au bioréacteur) et multidisciplinaire aux interfaces, guidés par des outils de simulation et d'optimisation. Ce cours se situe entre les sciences des transferts, le génie des procédés, la physique et les sciences du vivant. Les concepts abordés dans ce cours serviront pour certains enseignements des dominantes (Vivant, Santé et Environnement, Energie, ...) ainsi qu'en appui de certains Pôles Projets (Biotechnologies et Santé, Energie, ...).



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

SG6

Prérequis

Science des Transferts (électif 1A)

Plan détaillé du cours (contenu)

Microbiologie :

- La cellule ;
- Le métabolisme microbien et sa régulation.

Principes de génie des bioprocédés :

- Le bioréacteur ;
- La mise en œuvre d'un bioprocédé ;
- Etudes d'exemples emblématiques : méthanisation, fermentation alcoolique, microalgues, boues activées, ...
- Modes de conduite ;
- Transfert de matière au sein du bioréacteur.

Modélisation multi-échelle du bioprocédé :

- Modélisation macroscopique ;
- Modélisation métabolique ;
- Propriété des modèles à bilan de masse ;
- Calibration et validation des modèles.

Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie.

Procédés de séparation et purification de molécules d'intérêt : panorama des techniques utilisées en bioraffinerie, comparaison et couplage de procédés, guide de choix raisonné et études de cas.

Déroulement, organisation du cours

Les principes généraux seront abordés et illustrés avec des exemples et applications industriels lors de cours magistraux et des TDs. Ainsi les élèves mettront en œuvre les connaissances acquises sur des cas pratiques d'ingénieur. En parallèle, les élèves, réunis en équipe, développeront un projet dont le but est de proposer un schéma de bioprocédé pour une application industrielle donnée. Dans ce contexte, un TP de modélisation du bioprocédé sera réalisé.

Organisation de l'évaluation

contrôle final écrit (65%) et présentation orale du projet en équipe (35%).

Support de cours, bibliographie

Copies des présentations des différents intervenants et ouvrages (Madigan,



M. (2007). Brock Biologie des microorganismes ; Doran, P. M. (1995). Bioprocess engineering principles. Academic press, ...).

Moyens

Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Filipa Lopes (Dép. Procédés), Julien Lemaire (Dép. Procédés) et Olivier Bernard (Equipe Biocore, Inria).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Expliquer les bases du fonctionnement du vivant.
- Identifier les phénomènes (chimiques, physiques et biologiques) qui ont lieu au sein du bioréacteur.
- Écrire le réseau réactionnel caractérisant les principaux flux de matière au sein d'un bioréacteur, et adapté aux objectifs du modèle.
- Identifier les expressions mathématiques des cinétiques réactionnelles associées au réseau réactionnel.
- Étudier les principales propriétés des modèles dynamiques de bioréacteur (positivité des variables, bornitude, équilibres, stabilité locale).
- Calibrer un modèle de bioréacteur à partir de données expérimentales.
- Expliquer le principe de fonctionnement de différents procédés de séparation habituellement utilisées en biotechnologies, identifier leur champ d'applications et estimer leurs avantages et leurs inconvénients.
- Proposer les techniques les plus adaptées ou en concevoir des combinaisons afin de répondre à une problématique avec des composantes techniques, économiques et environnementales.
- Dimensionner et estimer les performances de procédés membranaires à partir de bilans de matière et de la modélisation des cinétiques de transfert.
- Proposer un schéma de bioprocédé pour une application donnée.

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 jalon 1
- C1.2 : Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème jalon 1
- C1.3, : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation jalon 2B
- C3.7 : Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles, jalon 1
- C7.1, : 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



2EL2020 – Physique de la matière divisée

Responsables : Hervé DUVAL
Département de rattachement : PROCÉDÉS
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

“God made solids, but surfaces were the work of the devil” (Wolfgang Pauli)
Plus la matière est divisée (en d'autres termes, plus la taille caractéristique d'un système, solide ou liquide, est petite), plus son comportement est dominé par les forces de surface. Corrélativement, le rôle des forces de volume telle que la gravité par exemple, devient négligeable. L'échelle de taille des systèmes qui nous intéressent ici s'étend typiquement de 10 nm à 1 mm. Les formes de la matière divisée sont multiples : bulles, gouttes, films liquides, colloïdes...

Ces systèmes sont très présents autour de nous. Les applications concernent la biologie (feuilles super-hydrophobes, film liquide à la surface des alvéoles pulmonaires, bulle de cavitation formée par la crevette-pistolet), l'environnement (rôle des gouttes de pluie dans la biosphère, envasement des estuaires), l'industrie (fabrication d'émulsions pour les industries cosmétique, pharmaceutique ou agro-alimentaire, mousses extinctrices ou isolantes, traitements de surface, lab-on-a-chip) ou la vie quotidienne (larmes du vin, remontée capillaire dans les maisons ou les monuments historiques). Un grand nombre d'innovations industrielles repose sur la mise en œuvre et la maîtrise de ces systèmes.

Dans le cadre de ce cours, nous découvrirons les phénomènes liés à la capillarité et au mouillage, la dynamique des interfaces et les instabilités associées. Nous examinerons également le rôle de l'énergie interfaciale lors de l'apparition (germination) d'une nouvelle phase. Enfin, nous aborderons quelques aspects plus spécifiques à l'échelle colloïdale (inférieure au micromètre) : mouvement brownien, forces DLVO.



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

SG8

Prérequis

Sciences des transferts (conseillé)

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours s'articule en trois volets : 12h de **cours de base et de travaux dirigés associés**, 12h consacrées à des **études de cas**, 11h dédiées à la réalisation d'un **miniprojet** et à son rendu.

Concepts de base (4 x (1.5h de cours + 1.5h de TD))

1) Notion de tension de surface

Origine physique

Les points de vue thermodynamique et mécanique

Capillarité : loi de Laplace

Interfaces et conditions aux limites des équations de Navier-Stokes

Minimisation d'aire et surfaces minimales

TD n°1 : Ménisques de liquide, forces capillaires, cheveux mouillés et insectes sur l'eau

2) Mouillage

Surfaces solides idéales : loi de Young-Dupré

Hystérésis d'angle de contact

Influence de la rugosité de surface

Influence des hétérogénéités chimiques

Vers les surfaces superhydrophobes

Dynamique de la ligne triple

TD n°2 : Modélisation des angles de contact d'équilibre sur des surfaces texturées

3) Tensioactifs : équilibre et dynamique

Des molécules amphiphiles

Concentration de surface et équation d'adsorption de Gibbs

Micelles et concentration micellaire critique

Tension de surface dynamique et dynamique des tensioactifs

Rhéologie interfaciale

TD n°3 : Formation et drainage d'un film de savon

4) Echelle colloïdale

Colloïdes et systèmes colloïdaux

Mouvement brownien et limite bowienne

Forces d'interaction entre surfaces : force de van der Waals, effets de pression osmotique

Théorie DLVO - Pourquoi les estuaires s'ensavent ?

Films liquides minces et pression de disjonction

TD n°4 : Evaporation dans un microcanal



Etudes de cas (4 x 3h)

Chaque étude de cas donne l'opportunité de se pencher sur un phénomène particulier, d'intérêt industriel ou pratique, d'appliquer les concepts introduits dans la première partie du cours et de se familiariser avec différentes méthodes de modélisation ou outils mathématiques. Les études de cas ont la forme de « grands TD », réalisés par groupes de 3 à 4 étudiants et encadrés par un enseignant. La durée de 3h par étude laisse le temps à chaque groupe de bien s'approprier le sujet, de construire sa démarche et d'élaborer sa solution, en autonomie, avec l'appui méthodologique de son encadrant. A l'issue des 3h, chaque groupe fournit un compte rendu écrit (manuscrit ou par traitement de texte, au choix) de son travail.

5) Montée capillaire et imbibition

De l'ascension de la sève brute dans les arbres à la fabrication de matériaux composites

Hauteur d'équilibre dans un tube vertical

Dynamique de l'imprégnation : régime inertiel et régimes visqueux

Montée dans un coin : modèle de l'orgue

6) Drainage et dépôt de films liquides sur une plaque plane verticale

Des traitements anti-corrosion aux couches anti-reflet des verres à lunette

Drainage d'un film de liquide

Enduction par trempage

Analyse en loi d'échelle

Théorie de Landau-Levich-Derjaguin : ménisque dynamique et raccordement asymptotique

7) Etalement de gouttes

Revêtements, impression à jet d'encre et enquêtes criminelles

Angle de contact dynamique et vitesse de la ligne triple

Cas du mouillage parfait : loi de Tanner

Influence de la vitesse d'impact sur le diamètre d'étalement maximal

Les différents régimes d'impact

8) Fragmentation d'un film ou d'un jet en gouttes

Filet d'eau, rosée et génération de gouttes en microfluidique

Ondes de surface

Instabilité de Rayleigh-Plateau

Transition dripping / jetting



Miniprojet (9h + 2h)

Le mini-projet est l'occasion d'étudier plus en détails un phénomène physique, un système ou un objet relevant de la physique de la matière divisée. Il permet non seulement d'appliquer et d'approfondir les différents concepts abordés en cours mais aussi d'explorer d'autres pans de la physique de la matière divisée. Le miniprojet est réalisé par groupes de 3 à 4 étudiants. Pour l'année académique 2019-2020, voici la liste des thèmes choisis par les différents groupes : les émulsions, les mousses et la caléfaction. Partant du thème retenu, le travail consiste à :

- dégager une problématique (par exemple : le crémage des émulsions, la caléfaction lors de la trempe d'une pièce métallique, la stabilité comparée de la mousse de Champagne et de la mousse de bière),
- réaliser et présenter des expériences de « coin de table » permettant d'illustrer le thème et/ou la problématique choisie
- identifier les mécanismes physiques mis en jeu
- au choix : conception d'une expérience, campagne d'essais, analyse des résultats expérimentaux et proposition d'un modèle simple permettant de rendre compte de ces résultats OU développement d'un modèle plus complexe, implémentation informatique, étude paramétrique et analyse/discussion des résultats obtenus

Les livrables sont :

- Un fichier ppt qui rend compte du travail effectué (le support de la présentation orale + annexes détaillant les expériences, les calculs, la liste des références bibliographiques)
- Un exposé oral de 20 min avec une démonstration du code ou un film de la manip en fonctionnement, suivi de 20 min de questions (durée ajustée en fonction du nombre de groupes)

Déroulement, organisation du cours

Le cours s'articule en trois volets (voir Contenu pour de détails sur chacun des volets): 12h de cours de base et de travaux dirigés associés, 12h consacrées à des études de cas, 11h dédiées à la réalisation d'un miniprojet et à son rendu.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu (note sur 6, basée sur les rendus à l'issue de chaque étude de cas) + Miniprojet (note sur 14, Fichier ppt + soutenance orale + réponses aux questions)



Support de cours, bibliographie

- Matériel de cours fourni : copie des slides, énoncés des problèmes, corrigés
- Quelques références bibliographiques :
 - P.G. de Gennes, F. Brochard-Wyart and D. Quéré, *Capillarity and Wetting Phenomena: Drops, Bubbles, Pearls, Waves*, Springer, New York, 2004.
 - J. Israelachvili, *Intermolecular and surface forces*, Academic Press, Elsevier, 3rd edition, 2011.
 - E. Guyon, J.P. Hulin, L. Petit, *Hydrodynamique physique*, EDP Sciences, 3ème édition, 2012.

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Hervé Duval, Marie-Laurence Giorgi, Jacopo Seiwert
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 35
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : ImageJ (logiciel libre), python avec les modules scipy, matplotlib et numpy (logiciel libre)
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : aucune

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capables de :

- Lister et expliquer les mécanismes et phénomènes physiques intervenant dans les systèmes dispersés les plus courants, dans l'industrie ou la vie quotidienne ;
- Définir et calculer les longueurs, temps et vitesses caractéristiques associés ;
- Interpréter le comportement dynamique d'un système dispersé ;
- Construire un modèle capturant l'essentiel de la physique de ce système et permettant de décrire son évolution ;
- Proposer un dispositif/protocole expérimental permettant de valider ce modèle.



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, jalon 1 : acquis 1 et 3

C1.2 : Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème, jalon 2 : acquis 1 à 4

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

C1.3 : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation, jalons 1A et 1B : acquis 2 et 5



2EL2030 – Génomique et biologie synthétique en biotechnologie sanitaire et industrielle

Responsables : Behnam TAIDI

Département de rattachement : PROCÉDÉS

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'avènement récent des techniques de biologie moléculaire à haut débit et la compréhension approfondie de la génétique fondée sur les progrès des méthodes de séquençage ont submergé **la biotechnologie médicale et industrielle**. De plus, la **biologie synthétique** (où des systèmes basés sur ou inspirés par la biologie sont conçus et construits pour mettre en place de nouvelles fonctions qui n'existent pas dans la nature) a ouvert un tout nouveau champ d'opportunités où les ingénieurs interagissent avec des biologistes, des chimistes et des informaticiens pour concevoir et fabriquer des dispositifs diagnostiques et thérapeutiques.

Un cours est prévu pour les étudiants afin de **s'immerger dans l'univers de la génétique et de la biologie synthétique** où les **derniers concepts et applications industrielles** sont dévoilés et discutés.

Le but de ce cours est d'enseigner au futur ingénieur la structure, le **fonctionnement et la régulation du génome et comment cela peut être lié aux applications industrielles et médicales**. De plus, en apprenant la nature des signaux analogiques et des données génétiques numériques, l'ingénieur pourra choisir les méthodes les plus pertinentes pour le traitement et l'interprétation des données. Cela transformera le bassin d'informations en connaissances informatives qui pourraient être utilisées pour la fourniture de nouveaux produits et services.

Ainsi, à la fin du cours, les étudiants auront une vision stratégique sur la façon de progresser dans le domaine de la génomique et de la biologie synthétique : de l'exploration d'une accumulation de données sans précédent à l'extraction de connaissances novatrices et la transformation des données en nouvelles connaissances rationnelles et utiles.



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

SG6

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le programme se compose de quatre modules, dont deux sont des cours de base communs qui ouvrent la voie aux deux modules suivants, axés sur l'application de la biologie synthétique à la santé humaine et à la biotechnologie industrielle.

Introduction : Structure et régulation du génome, techniques de clonage, biologie synthétique

Analyses génomiques par des méthodes à haut débit : De l'ADN génomique à l'ARN

Applications à la santé humaine : Modifier et reprogrammer le génome comme base de la thérapie génique et cellulaire, à base de cellules souches et de cellules souches pluripotentes induites (iPSC).

Applications en biotechnologie industrielle : Ingénierie du génome, du châssis cellulaire, allocation des ressources, ingénierie des circuits, ingénierie métabolique, rôle de la conception assistée par ordinateur en biologie synthétique et ingénierie métabolique, introduction à iGEM

Déroulement, organisation du cours

Le module est organisé en cours magistraux, pour introduire les connaissances et outils méthodologiques
30 heures de cours et 3 heures de TP

Organisation de l'évaluation

Homework : une présentation individuelle de dix minutes sur un sujet sera demandée (20% de la note globale) ; ces présentations orales auront lieu pendant les sessions. Examen écrit final de 2 heures (aucun document et aucun ordinateur n'est permis), (80% de la note globale)

Support de cours, bibliographie

Diaporamas disponibles en ligne

Moyens



- Equipe enseignante (nom des enseignants des cours magistraux) : Diana LE ROUX (CEA), Jean Loup FAULON (INRA), Ioana POPESCU (Université d'Evry-val-d'Essonne), Matthieu JULES (AgroParisTech)
- Inscription maximale (par défaut 35 étudiants) : 35
- Logiciel, nombre de licences requises : Plateforme d'analyse Knime (open source)
- Salles de classe spécifiques à l'équipement : Salle informatique équipée d'un bureau (Linux ou Windows OS) pour un module de 4 heures

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de l'enseignement les étudiants devraient être en mesure de :

- connaître les outils et les développements techniques qui permettent de mieux comprendre comment les génomes fonctionnent et ont une action de régulation.
- comprendre les contributions des génomes à l'identité d'une personne et comprendre les principes généraux qui régissent l'évolution immunitaire physiologique et pathologique
- comprendre comment l'information génomique peut être utilisée pour mettre au point de meilleures thérapies
- se renseigner sur l'état actuel des cellules souches et sur les nouveaux développements thérapeutiques
- avoir une vision stratégique de la façon de progresser dans le domaine de la génomique : de l'exploration de données à l'extraction de connaissances novatrices

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 : Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Jalon 1

C1.2 : Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, Économiques et humaines. Jalon 1

C1.3 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe. Jalon 1



2EL2040 – Ingénierie des procédés au service du développement durable

Responsables : François PUEL

Département de rattachement : PROCÉDÉS

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le Génie des Procédés moderne consiste à **concevoir, exploiter, optimiser des procédés respectueux de l'environnement**, destinés à **l'élaboration de produits et services variés** dans de nombreux secteurs classiques et high-tech (pharmacie, pétrole, chimie fine, agroalimentaire, cosmétiques, traitement de l'eau et des déchets, matériaux, biotechnologies, etc.) et à **la production d'énergies** traditionnelles (nucléaire, thermique, etc.) et renouvelables. Ses méthodologies sont très largement employées pour assurer **le recyclage et la valorisation** de nombreux produits, **la purification** d'effluents liquides et gazeux, s'inscrivant ainsi comme des outils de choix dans la stratégie de **développement durable** à l'échelle mondiale. Les défis associés à cette dynamique environnementale sont multiples : réduction des coûts, des risques et dangers, des déchets, des consommations en énergie et en matières premières. L'intensification des procédés est le levier majeur pour les relever.

Les bioprocédés connaissent un très fort développement, pour deux raisons : (i) l'emploi du vivant pour transformer la matière, épurer des systèmes pollués (liquide, solide), les microorganismes se comportant comme des usines et (ii) l'emploi de biomasse en remplacement de ressources fossiles, il convient alors de prendre en compte les spécificités à cette matière première

Ce cours est une introduction au Génie des Procédés et des Bioprocédés et à ses méthodologies, permettant aux élèves d'acquérir des outils généralistes, transposables aisément à de multiples domaines. Il s'inscrit totalement en appui des enjeux environnement, énergie et santé.



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

SG8

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction Génie des Procédés au service du Développement Durable ; Bilan matière

Étude de cas : Procédé de production de bioéthanol de 1ère génération (*conversion des matières premières renouvelables par biotechnologies blanches*)

2. Modèles d'écoulement (parfaitement agité et piston)

Étude de cas :

Valorisation de Lactoserum (*Valorisation de résidu de l'industrie agroalimentaire par biotechnologies blanches*)

Dimensionnement de bassins de traitement biologique d'une station d'épuration des eaux usées urbaines (*procédé au service de l'environnement, réduction des volumes de réacteurs et de l'emprise au sol*)

3. Bilans thermiques : calorifique / enthalpique

Étude de cas : Dimensionnement d'un réacteur Production de levure de bière en mode batch (*optimisation de la géométrie d'un réacteur et de sa régulation thermique*)

4. Équilibres liquide-vapeur, distillations simple et multi-étagée

Étude de cas : Distillation flash du mélange éthanol-eau ; Distillation multiétagée de bioéthanol (*production d'alternatives aux carburants fossiles*)

5. Transfert de Matière : Diffusion et Convection

Étude de cas : Production en Raceway de Microalgues Spirulina (*production durable de nutriments pour alimentation humaine et animale*)

6. Transfert de Matière : technologie à Contact Permanent

Étude de cas :

Traitement d'un effluent gazeux. Élimination d'un polluant (*procédé pour l'environnement*)

Épuration de biogaz pour produire du biométhane par technologie membranaire (*production d'un vecteur énergétique renouvelable pour usages conventionnels*)

Déroulement, organisation du cours

Le module est organisé en cours magistraux (16.5h), pour introduire les connaissances et outils méthodologiques, et en TD (16.5h) afin d'appliquer les acquis dans le cadre d'études de cas.



Organisation de l'évaluation

Homework : Présentation, par groupe, d'un projet bibliographique dont le sujet s'inscrit en prolongement du cours (40 % de la note) ; ces présentations orales ont lieu lors de la dernière séance de cours. Contrôle final individuel, sur table : Étude de cas de 2h (60 % de la note).

Support de cours, bibliographie

- **Diaporamas**

- **Techniques de l'ingénieur :**

- + Charpentier J., Génie des procédés, développement durable et innovation – Enjeux et perspectives, 2013
- + Moulin J.P., Pareau D., Rakib M., Stambouli M., Transfert de matière – Méthodologie, 2000
- + Moulin J.P., Pareau D., Rakib M., Stambouli M., Isambert A., Transfert de matière – Distillation compartimentée idéale, 2001
- + Moulin J.P., Pareau D., Rakib M., Stambouli M., Transfert de matière- Autres opérations compartimentées, 2002
- + Buch A., Rakib M., Stambouli M., Transfert de matière- Cinétique du transfert de matière entre deux phases, 2008
- + Sun L.M., Thonnellier J.Y., Perméation gazeuse, 2004
- + Vuillermaux J., Réacteurs chimiques – Principes, 1994
- + Boulinguez B., Le Cloirec P., Purification de biogaz – Élimination des COV et des siloxanes, 2011

- **Ouvrages généraux :** Perry Chemical Engineer's Handbook, 8th edition, 2007, McGraw-Hill, New York

- **Ouvrages spécifiques :**

- Génie des réacteurs et bioréacteurs

- + Coulson and Richardson's Chemical Engineering – Volume 3A: Chemical and Biochemical Reactors and Reaction Engineering, 4th Edition, 2017, Elsevier. Oxford
- + Fogler H.S., Elements of chemical reaction engineering, 5th Edition, 2016, Pearson Education, Englewood Cliffs
- + Levenspiel O., Chemical Reaction Engineering, 3rd edition, 1999, John Wiley and Sons, New York
- + Villadsen J., Nielsen J., Lidén G., Bioreaction Engineering Principles, 3rd Edition, 2011, Springer, New York

- Transferts de chaleur et de matière

- + Bergman T.L., Lavine A.S., Incropera F.P., Dewitt F., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Edition, 2011, John Wiley and Sons, New York
- + Coulson and Richardson's Chemical Engineering – Volume 1B: Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Application, 7th Edition, 2018, Elsevier, Oxford



+ Cussler E.L., Diffusion Mass Transfer in Fluid systems, 3rd Edition, 2009, Cambridge University Press, Cambridge
+ Treybal R., Mass Transfer Operations, 4th Edition, 1982, McGraw Hill, New York

- Production de bioéthanol

+ Cardona C.A., Sanchez O.J., Gutierrez L.F, Process synthesis for fuel ethanol production, 2010, CRC Press, Boca Raton
+ Naik S.N., Goud V.V., Rout P.K., Dalai A.K, Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, 2010, 578–597
+ Vohra M., Manwar J., Manmode R., Padgilwar S., Patil S. Bioethanol production: Feedstock and current technologies, Journal of Environmental Chemical Engineering 2, 2014, 573–584

Moyens

Équipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : François PUEL / Victor POZZOBON / Cristian PUENTES

Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 60

Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Excel, Python

Salles de TP (département et capacité d'accueil) : Aucune

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capables de :

- Lister les modes de transfert de matière,
- Identifier les différentes modes de transfert de matière (diffusion / convection) à l'œuvre dans une configuration donnée et les éventuels couplages entre transferts de matière et thermique,
- Écrire les bilans de matière, en prenant en compte, si nécessaire, des cinétiques réactionnelles chimiques ou biochimiques,
- 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,
- Dimensionner des technologies de conversion et de séparation, sur la base de considérations thermodynamiques et cinétiques.



Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 : Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. **Jalon 1**

C1.2 : Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, Économiques et humaines. **Jalon 1**

C1.3 : Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème. **Jalon 1B**

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**



2EL2120 – Science de la conception

Responsables : Bernard YANNOU

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours permet de comprendre les principaux concepts de la science et de l'ingénierie de la conception, et d'expérimenter concrètement la conception de produits, de services et de modèles d'affaire au travers de divers exemples. Les exemples de conception sont, entre autres : le lancement d'une toute nouvelle chaîne d'hôtels, la conception d'un banc de cuisine d'angle, d'un avion commercial, d'un smartphone pour plus d'inclusivité, la conception perceptive et émotionnelle d'un verre à vin, la conception de services dans le contexte d'un restaurant ou d'une réception d'hôtel, la conception d'un service de covoiturage, le modèle d'affaire d'une agence de voyage.

La partie cours est réduite à 1 heure sur les 3h de la session, afin de laisser la place à des contextes d'expérimentation riches et variés (études de cas pendant les exercices, pratique de plates-formes de conception, débats, quizz régulier et amusant de type Kahoot, et session finale de posters). Un débat est organisé par les étudiants eux-mêmes avec 4 responsables de conception invités.

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

SG6

Prérequis

aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

Les 11 sessions de cours couvrent une variété de sujets liés au design.



1. Introduction

Cette session présente l'activité de conception dans une perspective historique, le vocabulaire et les enjeux de la conception, les communautés de conception et les convictions d'un groupe d'universitaires selon lesquelles la conception est une discipline scientifique. "Qu'est-ce que la conception ? Que peut-on concevoir ? Pourquoi est-ce une science ?" sont les questions abordées par le cours et débattues par les élèves.

2. Le processus de conception

L'intérêt de décrire les processus de conception est illustré. La prescription d'un processus de conception se fait avec l'idée sous-jacente qu'il est probable que la conception aura un bon résultat lorsqu'un processus de conception de qualité aura été mené. Quatre types de processus de conception prescrits sont présentés. Tout d'abord, certains modèles génériques et simples sont décrits, tels que le Design Thinking, le double-diamant et celui de Radical Innovation Design. Ensuite, certains modèles de conception technique (DE), bien adaptés à la conception de systèmes techniques complexes, sont présentés. Troisièmement, des modèles de développement de nouveaux produits (NPD) comme le modèle Stage-Gate® de Cooper sont présentés dans le contexte de grands projets industriels et commerciaux où l'analyse du marché, la stratégie d'innovation et la gestion de projet sont importantes. Enfin, il est montré que les grandes entreprises adoptent généralement une quatrième approche : celle de l'hybridation des approches DE et NPD, avec l'utilisation du Design Thinking dans la partie innovation système.

3. Saisir et exprimer le besoin - Partie I : ingénierie conventionnelle des exigences

Les exigences de conception décrivent les caractéristiques qu'un produit doit avoir pour répondre aux besoins des parties prenantes. Elles sont composées d'exigences fonctionnelles (fonctions de service) et d'exigences non fonctionnelles (attributs et contraintes de qualité).

4. Saisir et exprimer le besoin - Partie II : ingénierie des exigences non conventionnelles

Des techniques non conventionnelles d'ingénierie des exigences sont évoquées : Cas d'usage, histoire d'un utilisateur, ingénierie émotionnelle, conception perceptive, sondage d'opinion. Elles constituent un large éventail de techniques de spécification des exigences à la disposition des concepteurs.

5. Concevoir un produit

Le concept d'architecture de produit est défini. Le processus de conception est présenté comme une conception structurelle multi-niveaux de haut en bas tout en adoptant des principes de conception. Il est montré comment une fonction est représentée comme un flux à l'intérieur d'une représentation de structure et comment une analyse de la valeur permet



d'équilibrer les choix de conception de la structure avec les exigences fonctionnelles.

6. Concevoir un service

Les biens et les services peuvent être considérés comme un soutien aux activités humaines et un processus de conception peut être considéré comme une transformation d'un système d'activité des utilisateurs. Le blueprinting d'un service est présenté comme le moyen de représenter un service et de l'améliorer. Les outils de conception d'un produit et de conception d'un service sont comparés. La conclusion conduit à l'hybridation nécessaire des méthodes de conception de produits et de services, et plaide par conséquent pour la conception de systèmes produits-services (PSS).

7. Concevoir pour, par et avec les gens

Il est impératif de savoir comment concevoir pour les gens (les concepteurs apprennent de l'expertise des gens en matière d'usage), concevoir avec les gens (les utilisateurs sont des participants actifs au processus de conception) et concevoir par les gens (les concepteurs aident les utilisateurs à devenir des acteurs de la conception et à prendre leurs propres décisions). Dans la première partie (pour et avec les gens), les personas et les customer journey maps sont étudiées comme des outils majeurs. Dans la deuxième partie, il est illustré comment les modèles humains et les êtres humains peuvent être utilisés dans le processus de conception. On parle de « simulations avec l'homme dans la boucle » (Human-in-The-Loop - HiTL).

8. Conception universelle

On peut observer que, encore aujourd'hui, la plupart du temps, les entreprises conçoivent des produits et des services en mode "une solution standard pour tous". En conséquence, les concepteurs ne tiennent pas compte de la diversité des personnes et des contextes d'activité pendant le processus de conception afin de s'assurer que le résultat de la conception apporte effectivement la valeur attendue avec une expérience utilisateur satisfaisante. Les personnes handicapées, les personnes âgées et les jeunes sont des exemples de minorités (pas si petites) souvent ignorées. La conception universelle - également appelée "conception pour tous" ou "conception inclusive" - est définie comme la conception de produits et d'environnements devant être utilisables par tous, dans la plus large mesure possible, sans qu'il soit nécessaire de procéder à une adaptation ou à une conception spécialisée. Le processus de conception inclusive de l'EDC de Cambridge est présenté en détail et certaines extensions sont proposées. Nous montrons comment les capacités/invalidités des utilisateurs sont classées en catégories : vision, audition, réflexion, portée et dextérité, mobilité et mises en correspondance avec le processus d'interaction Percevoir-Penser-Agir avec un produit ou un service, en expliquant la difficulté d'obtenir une utilisation satisfaisante d'un produit



ou d'un service si une capacité insuffisante interfère avec le processus d'interaction. Ce processus de conception inclusif n'est pas destiné à être utilisé uniquement dans des situations extrêmes, mais il aspire à être un processus de conception générique à suivre dès que le produit ou le service à concevoir nécessite une interaction humaine.

9. Concevoir un modèle d'affaire

Le modèle d'affaire (business model) est le concept qui permet à une entreprise de gagner de l'argent, le plan d'affaire (business plan) est le plan opérationnel pour y parvenir. Un modèle d'affaire décrit la manière dont une organisation entend créer, saisir et fournir de la valeur. Plusieurs canevas sont présentés pour le représenter et le concevoir, parmi lesquelles le célèbre Business Model Canvas (BMC). Il est montré que le BMC peut ne pas suffire à garantir le succès sur le marché. Une variante BMC-RID a été proposée pour consolider ses points faibles.

10. Prototype, test et validation

Le cycle " Prototypage - Tester/Expérimenter - Evaluer - Valider " se situe à la fin d'un processus de conception. Il est montré que la conception d'un prototype découle de la conception d'une expérience appropriée avec les évaluations attendues, découlant d'un sous-ensemble de performances difficiles (spécifiées dans le cahier des charges), découlant d'une proposition de valeur, découlant d'une activité d'amélioration. De nombreuses techniques de prototypage virtuel et physique sont présentées, notamment des vidéos pour illustrer des scénarios d'utilisation existants et des scénarios d'utilisation rêvés. Enfin, l'importance de la documentation au cours du processus de conception et surtout de la phase de prototypage est évoquée.

11. Vie et amélioration d'un produit

DFX, formé des initiales de Design For X, est l'ensemble des règles (directive de conception) à observer dans la conception d'un produit ou d'un système pour améliorer le terme qui remplacerait la lettre X. Chaque directive de conception traite d'un problème donné qui est causé par, ou affecte les caractéristiques d'un produit. Les lignes directrices de conception proposent généralement une approche et des méthodes correspondantes qui peuvent aider à générer et à appliquer des connaissances techniques pour contrôler, améliorer, voire inventer des caractéristiques particulières d'un produit.

Mentionnons celles qui sont liées aux étapes du cycle de vie : Conception pour la fabrication, Conception pour l'assemblage, Conception pour la logistique (ou la distribution), Conception pour le désassemblage, Conception pour la testabilité, Conception pour la qualité, Conception pour la fiabilité, Conception pour la sécurité, Conception pour le coût (au coût global du cycle de vie), Conception pour la facilité d'entretien, Conception pour l'esthétique, Conception pour l'ergonomie, Conception pour la robustesse (conception robuste), Conception pour la maintenabilité



(réparabilité, évolutivité). Et mentionnons celles liées à l'environnement : la conception pour l'environnement (écoconception, analyse du cycle de vie), la conception pour la fin de vie, la conception pour l'énergie, la conception pour la maintenabilité (réparabilité, évolutivité), la conception pour la durée de vie (obsolescence). Cette dernière catégorie est particulièrement détaillée. Les enjeux de la conception durable y sont esquissés. Les catégories d'impacts environnementaux sont commentées. La définition et le processus de l'éco-conception sont fournis, un outil d'éco-conception est décrit.

Déroulement, organisation du cours

Chaque séance de cours est généralement composée de 10 minutes de quizz Kahoot amusant portant sur le cours précédent, d'une présentation d'une heure du sujet du jour et de 1h30 d'exercices. Au cours d'une session, un débat est organisé par les étudiants eux-mêmes avec 4 responsables de conception invités.

Il y a 60 HEE au total, contre 35 HPE composées de 33 heures de cours et d'exercices et 2h de session finale de posters. Les 25 heures supplémentaires sont décomposées en 1h30 en moyenne pour réaliser l'exercice après chaque session par groupes de 4, et 7 heures pour préparer la session finale de posters (également par groupes de 4). Les groupes de 4 sont changés deux fois afin que chaque étudiant travaille dans trois groupes différents.

Organisation de l'évaluation

La note finale est composée par 50% des devoirs sur les exercices (par groupes de 4) et par 50% du poster final (également par groupes de 4), sachant qu'un élève fera partie d'au moins 3 à 4 groupes successifs. Il y aura entre 4 et 6 devoirs, sélectionnés parmi les 11 sessions d'exercices. La session finale de posters consiste en une session de posters illustrant une tendance, une méthode, un outil, un concept ou un projet particulier ou un concepteur de Design Engineering & Science. Appelons-le un objet. Les objets des posters ont été les suivants en 2020 : *Jugaad innovation, Produit minimum viable, Base de la pyramide, La pratique de la pensée design dans les entreprises, Théorie TRIZ, Méthodologie Radical Innovation Design, Utilisation de groupes de discussion dans le marketing, Sélection d'idées dans les entreprises, Entonnoirs d'innovation, Obsolescence des produits, Prototypage d'un service, La servicisation ou passage du produit aux services, Simulations avec l'homme dans la boucle, Conception robuste, Conception fiable, Exemples de plates-formes de produits industriels, Famille de produits, Co-conception, Facteurs humains dans la conception, UX design, Ecoconception, Eco-innovation, Conception à coût objectif, Conception légère, Conception lente, Conception durable, Le design de Starck, Le design de Le Corbusier, La conception pour les personnes âgées, La conception pour les enfants, La conception pour les pays en développement, Le design d'Eiffel, Le design de Le Baron Jenney,*



L'enseignement de "la conception des machines" dans l'histoire de l'Ecole Centrale Paris et de Supélec, L'enseignement de "la conception des bâtiments" dans l'histoire de l'Ecole Centrale Paris et de Supélec.

Le poster doit illustrer :

- Les principes de votre objet
- Ses enjeux
- Ses succès et ses échecs jusqu'à présent
- Ses intérêts économiques
- Sa compatibilité et ses intérêts par rapport aux objectifs de développement durable des Nations unies (SDG)
- Votre opinion tranchée : "Nous devrions faire cela ou éviter de faire cela..."

...et il doit être illustré, cool, informatif et original !

Une présentation des posters très amusante, participative et intensive est organisée. Par groupes de posters, vous présentez votre poster plusieurs fois : à 2 jurys de professeurs, et à 2 groupes de camarades de classe et, bien sûr, vous êtes vous-même deux fois dans un jury pour évaluer les posters de vos camarades de classe. Chaque présentation dure 5 minutes. + 8 min. QUESTIONS ET RÉPONSES. Une vidéo (janvier 2020) de la dernière session de posters peut être visionnée ici :

<https://web.microsoftstream.com/video/79bf09a7-d0bd-4aca-8ab9-d017bddb34ca>

Support de cours, bibliographie

- 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/deployerl-innovation-dt30/> de Centrale
- Yannou B., Deshayes P., 2006. Intelligence et innovation en conception de produits et services. collection "L'esprit économique", série "Economie et innovation", Paris: L'Harmattan-Innoval, ISBN 2-296-00644-2.
- 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 3 978-2-7462-1923-6, ISBN général 978-2-7462-1920-4.

- Pahl G., Beitz W., Engineering Design: A Systematic Approach, Springer, Technology & Industrial Arts, ISBN 3540199179, London, New-York, 1996
- Ulrich K.T., Eppinger S.D., Product Design and Development, McGraw-Hill, New York, 1995
- Otto K.N., Wood K.L., Product Design - Techniques in Reverse Engineering and New Product Development, Prentice Hall, New-Jersey, 2001.
- Yannou B., 1998. Chapitre 3 : Analyse de la Valeur, In Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils, Vol. ISBN 2-86601-694-7, Tollenaere M., eds Hermes, pp. 77-104.

Moyens

Enseignants: Bernard Yannou (principalement), Flore Vallet, François Cluzel

Taille des groupes de TDs : 35 étudiants

Logiciels et plateformes de conception en ligne

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre les principaux concepts de la science et de l'ingénierie de la conception
- Expérimenter pratiquement en conception de produits, conception de services et conception de modèles économiques
- Comprendre les étapes d'un processus de conception et les différentes méthodes et théories pouvant être utiles pour traiter les problèmes de conception
- Être capable d'enquêter sur un problème de conception ou une tendance de conception, de le documenter et de trouver les attitudes et les méthodes appropriées pour le résoudre
- Comprendre comment les utilisateurs finaux et les experts en conception peuvent intervenir dans un processus de conception

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.1 : Jalon 2 : Savoir conduire une démarche de questionnement pour aborder les différents aspects du problème et mettre en évidence ses interactions avec l'extérieur, en s'appuyant sur une culture scientifique et économique



- C1.4 : Jalon 1 : Spécifier et concevoir un système ou une partie d'un système
- C3.6 : Jalon 1 : Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées en fonction des attendus du problème à traiter
- C4.1 : Jalon 1 : Identifier le ou les clients d'une situation ou d'un projet. Identifier ses principaux objectifs et besoins,
- C4.2 : Jalon 2 : Proposer une ou des solutions optimisant la valeur pour les acteurs, dont le client, et distinguer valeur et coût d'une solution



2EL2130 – Management agile de projets complexes

Responsables : Ludovic-Alexandre VIDAL, Franck MARLE

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objet de ce cours est de découvrir par la pratique les principaux concepts, méthodes et outils liés au management d'un projet complexe, en particulier ceux liés aux nouveaux modes de management et d'organisation (management agile, organisation en réseau).

Après une introduction méthodologique, les séances se déroulent avec un projet fil conducteur mené en interaction avec les autres équipes d'étudiants.

Le projet de mise en application sert à appréhender d'un point de vue pratique les difficultés de prise de décision en univers complexe et incertain, en anticipant les conséquences indirectes de telle ou telle décision et de tel ou tel changement (voulu ou subi). Le cours fait également le lien avec des approches mathématiques variées, comme la théorie des graphes et des réseaux (avec des analyses topologiques et de propagation), la théorie de la décision (en particulier la décision multicritères) et les méthodes de prise en compte des incertitudes.

Le cours alterne donc des séances plutôt ouvertes (projet) et fermées (exercices), et des moments de divergence (créativité) et de convergence (décision).

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

SG8

Prérequis

Aucun



Plan détaillé du cours (contenu)

- Démarrage sur un projet en cours, pour finaliser la partie Risques et découvrir les principaux concepts et outils de modélisation et d'analyse de réseaux complexes (adaptés au contexte projet)
- Démarrage du projet créatif et connecté, avec choix d'une thématique parmi un catalogue proposé, puis spécification des objectifs du projet, créativité par rapport à ces objectifs pour générer des alternatives de solutions.
- Rangement des alternatives en modules + organisation de l'équipe (rôles et interactions intra- et inter-équipes), créativité complémentaire
- Estimation des alternatives et sélection de 3 scénarios "finalistes", pour lesquels une visualisation sommaire est effectuée (pour aider au choix final).
- Choix du scénario finalement retenu en se coordonnant avec les autres équipes et en intégrant les éventuelles incompatibilités / cohérences.
- Représentation visuelle détaillée du scénario retenu (maquette).

Déroulement, organisation du cours

Alternance de présentations magistrales, de séances de TD et de séances projet. Les livrables sont rendus au fur et à mesure, en mode contrôle continu. Pas de soutenance.

Organisation de l'évaluation

Une évaluation des rendus intermédiaires en fin de sprints, plus une appréciation de la contribution individuelle aux livrables et au fonctionnement de l'équipe.

Moyens

Des outils numériques seront mis à disposition des équipes projet, soit pour s'organiser (graphes, matrices), soit pour formaliser les étapes de transformation de leurs livrables (outils d'aide à la créativité, d'aide à la décision), soit pour visualiser les décisions prises (maquettes numériques).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- A1 : Appréhender un problème complexe (de type conception, construction ou aménagement) et l'exprimer en objectifs, livrables, fonctions, le tout étant inter-relié. Compétences C1.1 et C4.1.



- A2 : transformer les objectifs en activités projet et les fonctions en solutions (livrables système). Compétences C1.4, C9.1 et C9.2.
- A3 : évaluer, prioriser et sélectionner les activités pour le projet et les alternatives de solutions pour les livrables. Compétences C1.5, C3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.7 et C4.2.
- A4 : Savoir évoluer dans une équipe avec un engagement basé sur l'autonomie et le respect de ce que l'on annonce dans le cadre de cette autonomie. Compétences C6.1, C6.2, C7.2 et C8 (toutes).
- A5 : Savoir restituer les résultats de l'équipe, en distinguant les livrables système, les livrables projet et la rétrospective de la trajectoire de l'équipe. Compétences C7.1 et C7.4.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Comme le cours vise à un apprentissage méthodologique à travers l'application à la construction d'un résultat concret, il concerne une grande variété de compétences :

- 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 (A1),
- C1.4 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe (A2)
- C1.5 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire. (A3);
- C3.1 : Etre proactif, prendre des initiatives, s'impliquer
- C3.2 : Remettre en cause ses hypothèses de départ, ses certitudes. Surmonter ses échecs. Prendre des décisions
- C3.3 : Entreprendre des projets ambitieux à fort impact et quantifier cet impact.
- C3.4 : Prendre des décisions dans un environnement partiellement connu, gérer l'imprévu, savoir prendre des risques
- C3.7 : Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles (A3);
- C4.1 : Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socio-économiques.(A1)
- 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.(A3);
- C6.1 : Identifier et utiliser au quotidien les logiciels nécessaires pour son travail (y compris les outils de travail collaboratif).



- C6.2 : Pratiquer la conception collaborative au travers d'outils de conception et de prototypage de produits (CAO, imprimante 3D...). (A4)
- 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.
- C7.4 : Maîtriser le langage parlé, écrit et corporel. Maîtriser les techniques de base de communication (A5)
- C7.2 : Comprendre les besoins et les attentes de ses interlocuteurs. En tenir compte de façon évolutive. Susciter des interactions. Créer un climat de confiance (A4)
- C8.1 : Travailler en équipe/en collaboration.
- C8.2 : Mobiliser et entraîner un collectif (faire preuve de leadership)
- C8.3 : Faire appel à l'expertise des autres et repousser ses propres limites. Identifier et exploiter les richesses et les talents.
- C8.4 : Travailler en mode projet en mettant en oeuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation (A4)
- C9.1 : Comprendre et analyser les conséquences possibles de ses choix et de ses actes
- C9.2 : Percevoir le champ de responsabilité des structures auxquelles on contribue, en intégrant les dimensions environnementales, sociales et éthiques (A2)



2EL2140 – Stratégie, Marketing et Organisation

Responsables : Éléonore MOUNOUD
Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota : 100
Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise
Niveau avancé : Oui

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours permet de mettre en œuvre de façon pertinente et raisonnée les principaux modèles de la stratégie et du marketing. Il permet en particulier d'approfondir la notion de business model et d'apprendre à utiliser le concept de business model pour rendre compte des transformations passées et futures de développement des entreprises. Les enjeux stratégiques liés au développement des services, à la globalisation des chaînes de valeur, à l'innovation sont ainsi abordés à travers des études de cas. Les enjeux sociétaux de transformation numérique et de transition écologique ainsi que leur impact sur les business modèles seront également traités. Les principes de l'économie de fonctionnalité et de l'économie circulaire sont présentés et appliqués. Le cours invite les étudiants à une réflexion personnelle sur la complémentarité mais aussi la rivalité entre ces deux transitions à partir d'études de cas présentées par des conférenciers sur la transition numérique, la transition énergétique et écologique marquée par la raréfaction des ressources (logique de sobriété).

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

SG6

Prérequis

cours commun de gestion d'entreprise ou cours équivalent pour les étudiants en échange
(analyse PESTEL, analyse de l'environnement concurrentiel : 5 forces de Porter, chaîne de la valeur, SWOT, stratégies génériques, matrice de Ansoff, modalités de développement stratégique, mix marketing, notions de parties prenantes et de RSE responsabilité sociale de l'entreprise)
Start up Week : définition du business model et canevas



Plan détaillé du cours (contenu)

1. Etude de cas Nespresso / détail des composantes du business model
2. Conférence sur l'analyse de la filière mondiale du café (Le Basic) / globalisation des chaînes de valeur CGV / calcul de coûts sociaux
3. Etude de cas Michelin solutions / stratégies dans les services / calcul de TCO / notion de fonctionnalité
4. Conférence sur les enjeux technologiques de la transition écologique / (cas de la mobilité)
5. Atelier sur la transformation numérique (apports de méthodes d'un cabinet de conseil)
6. Etude de cas SKF / comprendre le marketing B to B et la globalisation
7. Témoignage d'un dirigeant grand groupe et start up : études des cas Vallourec / Metalvalue
8. Etude de cas Tetrapak / gestion de l'innovation
9. Conférence : Economie circulaire / déchets, recyclage, écologie industrielle
10. Séance de synthèse par groupe : low tech VS hi tech - Transition numérique et transition écologique : complémentaires et rivales

Déroulement, organisation du cours

cours 4h
études de cas 10h
conférences 10h
atelier 3h
synthèse (atelier réflexif) 3h
examen écrit 2h oral 1h

Organisation de l'évaluation

Travail demandé : préparation des séances (5 notes de lecture préalables aux études de cas), Evaluation : participation (25%), examen oral (25%), examen écrit (50%)

Support de cours, bibliographie

Strategor - 7e éd. - Toute la stratégie d'entreprise. DUNOD éditeur 2016
business model, chapitre 4
globalisation, chapitre 12
services, chapitre 12 (de la 5eme édition)
RSE et DD, chapitre 10 (DD)
Innovation, chapitre 11



Moyens

Eléonore Mounoud, responsable du cours

Patrick Pichant, consultant, ex directeur marketing Arcelor, intervenant

Christophe Alliot, fondateur du cabinet Le Basic

Damien Detcherry, centralien, blogueur

Alain Honnart, ex directeur industriel Vallourec, directeur Métal Value

un consultant de Cap Gémini invent et/ou un consultant de EY Parthenon

un conférencier sur l'économie circulaire

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- De formuler le positionnement et la proposition de valeur d'une entreprise à ses clients
- De détailler le business model d'une entreprise et d'en diagnostiquer la cohérence
- D'identifier les enjeux de transformations internes ou externes (transitions) pertinents pour une entreprise et les façons d'y répondre
- De proposer une logique de transformation d'une entreprise (services, innovation, globalisation, transitions) ainsi que ses enjeux concurrentiels et organisationnels (compétitivité, agilité, transversalité)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences cahier des charges

C4.1 Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socio-économiques

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

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.



2EL2150 – Finance et Droit de l'entreprise

Responsables : Maxime GUYMARD, Valérie FERAY
Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours permet d'approfondir la gestion financière d'une entreprise et le droit de l'entreprise. Il fait suite au cours d'initiation de première année en Finance et de deuxième année en Droit. Il donne également une ouverture sur différents métiers de la Finance et du Droit via des interventions de conférenciers du monde de l'entreprise (entrepreneuriat, assurance, banque, audit, responsables innovation et propriété intellectuelle, avocats et spécialistes de la propriété intellectuelle).

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

SG6

Prérequis

Cours de Gestion de l'Entreprise 1A, Cours d'introduction à la Finance d'entreprise 1A, Cours d'introduction au Droit 2A

Plan détaillé du cours (contenu)

Les sujets abordés seront divisés en 2 parties : la moitié pour le Droit et la moitié pour la Finance d'entreprise.

Droit

Thèmes des cours magistraux :

- Brevetabilité, procédure brevets et coûts associés
- RGPD
- Protection des logiciels
- Droit du travail



Finance

Thèmes des cours magistraux :

- Rappels et approfondissements des bases de comptabilité : bilan, compte de résultat, le tableau de flux de trésorerie
- Solvabilité de l'Entreprise
- Rentabilité de l'Entreprise (ROCE, ROE)
- Coût Moyen Pondéré des Capitaux (WACC)
- Critères financiers pour sélectionner des investissements (VAN, TRI)
- Gestion financière des Start-Up
- Faillites et restructurations
- Introduction à la Finance de Marché (actions, obligations, produits dérivés)

Thèmes des conférences d'intervenants extérieurs :

- La Gestion financière d'une entreprise d'Assurance (intervenant d'AXA)
- L'Evaluation d'entreprise (intervenant de KPMG)
- La Finance de Projet (intervenant de BNP Paribas)
- Le Capital Risque (Venture Capital) et le Capital Investissement (Private Equity)

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux (14*1h30), Travaux Dirigés (8*1h30), Examen Final (1*2h)

Organisation de l'évaluation

Examen écrit final (100% de la note finale).

Moyens

- **Equipe enseignante** (noms des enseignants des cours magistraux) :

Droit : Valérie FERAY (cours magistraux et TD - Associée fondatrice IPSILON), Pierre-Jacques CASTANET (conférencier et chargé de TD - avocat spécialisé en droit du travail), Mardson McQUAY (conférencier et chargé de TD - Senior IP Attorney - King Abdullah University of Science and Technology), Guillaume HENRY (conférencier et chargé de TD - avocat), Ghislain DEMONDA (conférencier et chargé de TD - Ingénieur brevets - IPSILON)

Finance : Maxime GUYMARD (cours magistraux), Jean-Baptiste MONLOUIS (conférencier et chargé de TD – KPMG), Selma ELMADHI (conférencière et chargée de TD – KPMG),

- **Nombres d'élèves** : maximum 105 pour le cours, répartis en 3 groupes de TD de 35 élèves



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

En Finance :

- Savoir lire et interpréter les états financiers d'une entreprise (Bilan, Compte de Résultat, Tableau de Flux de trésorerie)
- Evaluer la rentabilité et la solvabilité d'une entreprise
- Connaître les critères financiers de décision d'un investissement
- Comprendre les notions de bases de la Finance de Marché (actions, obligations, produits dérivés)
- Connaître les différents métiers de la Finance

En Droit :

- Droit du travail : connaître les éléments de base en tant qu'employeur et en tant que salarié (**cette séance de 3 heures de cours + TD sera exceptionnellement en français - un abrégé en anglais sera fourni pour les étudiants non-francophones**)

- Brevetabilité, procédures brevets, coûts associés : évaluer les sujets susceptibles d'être protégés par brevets, l'état de la technique pour comprendre si un sujet est brevetable ou pas, connaître les procédures du dépôt à la délivrance du brevet, et les coûts associés

- RGPD : comprendre les tenants et les aboutissants de cette directive qui touche à de nombreuses activités dans lesquelles les ingénieurs et entrepreneurs sont impliqués

- Logiciels : connaître les principes fondamentaux et les différentes voies de protection, et les avantages et inconvénients de chacune d'entre elles ainsi que les écueils correspondants

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C 1.1 - Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

C 3.7 - Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles

C 4.1 - 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.

C 7.1 - 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.

Convaincre en travaillant sur la relation à l'autre.

C 9.4 - Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques



2EL2160 – Economie de l'environnement, énergie et développement durable

Responsables : Vincent RIOUS, Pascal DA COSTA

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif du cours d' "Economie de l'Environnement, de l'Energie et du Développement Durable" est d'aborder à la fois :

- i) les grands enjeux environnementaux du XXI^e s. et les facteurs humains les structurant (démographie, économie, développement, etc.) ;
- ii) les théories dans le domaine qui ont notamment fondé les principes économiques adoptés face à ces enjeux (taxe carbone optimale et fiscalité environnementale, lutte contre les externalités négatives, etc.) ;
- iii) les politiques économiques et de régulations dans les faits, tant aux niveaux environnemental qu'énergétique (paquets énergie-climat européens, mix électriques décarbonés, etc.).

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

SG8

Prérequis

Cours commun d'économie.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Origines de la croissance économique et effet sur l'"indisponibilité" des ressources naturelles (fin du pétrole bon marché, etc.)
- Modèles économiques de gestion optimale des ressources naturelles renouvelables et non-renouvelables
- Démographie : évolution des populations mondiales
- Climat : effet de serre et changement climatique, enjeux liés à la mitigation et l'adaptation...



- Les enjeux de la gestion des ressources naturelles (réserves, répartition, prix) : ressources pour l'énergie (pétrole, gaz, charbon, uranium), matières premières (minerais), l'eau...
- Etat de l'art et nouvelles technologies pour l'énergie

Déroulement, organisation du cours

Amphi / TD

Organisation de l'évaluation

Contrôle intermédiaire (CI), 1h30 / Contrôle final (CF), 2 heures : note finale = moyenne CI (20%) et CF (80%) En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Support de cours, bibliographie

Diaporamas, ouvrages pluridisciplinaires et économiques (à venir).

Moyens

Cours en français.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Connaître les chiffres clés (état des lieux et prévisions scientifiques) qui font tant débat dans les médias lorsqu'ils opposent des parties prenantes d'un conflit environnemental, par exemple les industriels aux écologistes.
- Comprendre les hypothèses et les modèles sur lesquels reposent ces chiffres.
- Sensibiliser au couplage ressources, énergie, environnement, climat, économie, géopolitique, démographie
- Sensibiliser aux différentes échelles : locale à mondiale

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 Examiner un problème dans toute son ampleur et sa profondeur, dans et au-delà de ses paramètres immédiats, afin de le comprendre comme un tout. Cet ensemble relie les dimensions scientifique, économique et sociale du problème.

C2.1 Maîtriser un domaine ou une discipline fondée sur les sciences fondamentales ou les sciences de l'ingénieur.

C4.1 Penser en termes de clients, identifier et analyser les besoins des clients, les contraintes des autres parties-prenantes ainsi que les défis sociétaux.

C9.4 Faire preuve de rigueur et de pensée critique en abordant les problèmes sous tous leurs angles, scientifique, humain et économique.



2EL2170 – Economie de la croissance et de l'innovation

Responsables : Mehdi SENOUCI
Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

La croissance économique, au sens large, est un concept qui désigne l'ensemble des changements économiques au cours du temps. Un des consensus les plus forts en sciences économiques est celui qui lie la croissance à l'innovation. Le premier objectif du cours est de sensibiliser les étudiants à l'étude de la croissance économique, sur le long comme sur le plus court terme, en essayant de les convaincre que les régularités de même que les paradoxes de la croissance justifient une approche analytique mêlant exploration des faits, analyses empiriques et construction de théories. Le second objectif est de présenter les grandes évolutions économiques du monde depuis les origines jusqu'à nos jours, avec une plus grande importance donnée à l'époque moderne, ainsi que les grandes théories afférant à chaque époque et chaque transition. Le troisième objectif, plus diffus, est de pousser les étudiants à s'interroger sur les conséquences futures des innovations actuellement en cours ou en gestation. Le cours mêlera donc théorie et études empiriques en suivant le fil rouge de l'Histoire.

Le cours, exigeant et tourné vers la recherche, est à réserver à un public désireux de s'investir. A part l'examen final, deux rendus seront attendus (dont l'un en TD) qui impliqueront la lecture critique d'articles de recherche.

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

SG6

Prérequis

Cours commun d'économie. Rudiments d'économétrie (moindres carrés



ordinaires).

Plan détaillé du cours (contenu)

- 1 - La croissance économique comme phénomène historique : les grandes tendances
- 2 - Un détour : le modèle néoclassique des marchés parfaits
- 3 - Analyse néoclassique de la croissance : succès et échecs
- 4 - Croissance, énergie et environnement
- 5 - Croissance, marché du travail et inégalités
- 6 - La croissance de très long terme
- 7 - Le futur de la croissance

Déroulement, organisation du cours

CM (24h), TD (9h), Examen (2h)

Organisation de l'évaluation

Un rendu en TD obligatoire : 1/4

Un second rendu obligatoire : 3/8

Examen final obligatoire : 3/8

Support de cours, bibliographie

- Slides et notes de cours
- Le cours ne s'appuiera pas sur un manuel spécifique, mais les étudiants peuvent se référer à :
 - Hal R. Varian (2014) *Intermediate microeconomics - A modern approach*, W. W. Norton & Company, 9th edition
 - Robert J. Barro & Xavier Sala-i-Martin (2003) *Economic Growth*, MIT Press, 2nd Edition
 - David N. Weil (2012) *Economic Growth*, Pearson Education
 - Charles I. Jones & Dietrich Vollrath (2013) *Introduction to economic growth*, W. W. Norton & Company, 3rd edition
- De nombreux articles et livres seront abordés, parmi lesquels :
 - Acemoglu, Johnson, and Robinson (2001) "The Colonial Origins of Comparative Development: An Empirical Investigation." *American Economic Review*.
 - Acemoglu, Johnson, and Robinson (2002) "Reversal of Fortune: Geography and Institutions in the Making of the Modern World Income Distribution." *Quarterly Journal of Economics*.
 - Aghion, Dechezleprêtre, Hémous, Martin and Van Reenen (2016) "Carbontaxes, path dependency, and directed technical change: Evidence from the auto industry," *Journal of Political Economy*.



- Ashraf and Galor (2013) "The 'Out of Africa' Hypothesis, Human Genetic Diversity, and Comparative Economic Development," *American Economic Review*.
- Clark (2007) *A Farewell to Alms: A Brief Economic History of the World*, Princeton University Press.
- Comin and Mestieri (2014) "Technology Diffusion: Measurement, Causes and Consequences," *Handbook of Economic Growth*.
- Diamond (1997) *Guns, Germs and Steel: The Fates of Human Societies*, W. W. Norton & Company.
- Galor (2005) "From Stagnation to Growth: Unified Growth Theory," in *Handbook of Economic Growth*.
- Galor and Ozak (2016) "The Agricultural Origins of Time Preference," *American Economic Review*.
- Greenwood Hercowitz and Krusell (1997) "Long-Run Implications of Investment-Specific Technological Change," *American Economic Review*.
- Habakkuk (1962) *American & British Technology in the 19th Century: The Search for Labour-Saving Inventions*; Cambridge University Press [2nd edition: 1967].
- Kaldor (1961) "Capital Accumulation and Economic Growth," in *The Theory of Capital* (F. A. Lutz & D. C. Hague, eds.); Macmillan, St. Martin's.
- Mankiw, Romer, and Weil (1992) "A Contribution to the Empirics of Economic Growth." *Quarterly Journal of Economics*.
- Nordhaus (1973) "The Allocation of Energy Resources," *Brookings Papers on Economic Activity*.
- Piketty and Zucman (2014) "Capital is Back: Wealth-Income Ratios in Rich Countries 1700-2012," *Quarterly Journal of Economics*.
- Romer (1990) "Endogenous Technological Change." *Journal of Political Economy*.
- Solow (1956) "A Contribution to the Theory of Economic Growth," *Quarterly Journal of Economics*.
- Solow (1957) "Technical Change and the Aggregate Production Function," *Review of Economics and Statistics*.

Moyens

Cours magistraux (Mehdi Senouci)

TD

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de :



- Modéliser la consommation, la production, l'échange et le changement technique avec les modèles néoclassiques ;
- Connaître, manipuler et interpréter différents modèles théoriques de croissance économique ;
- Débattre des enjeux de la croissance dans une logique analytique et en connaissance de l'histoire et des faits de la croissance économique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Modéliser la consommation, la production, l'échange et le changement technique avec les modèles néoclassiques, s'inscrit dans **C1.3 "Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation"**, et dans **C2.3 "Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres"**.

Connaître, manipuler et interpréter différents modèles théoriques de croissance économique, s'inscrit dans **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"**, et dans **C2.3 "Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres"**.

Débattre des enjeux de la croissance dans une logique analytique et en connaissance de l'histoire et des faits de la croissance économique, s'inscrit dans **"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"**.



2EL2190 – Management de l'innovation et création d'entreprise

Responsables : Éléonore MOUNOUD, Jean-François GALLOUIN

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ces vingt dernières années ont vu l'apparition de nombreuses startups, venues disrupter des marchés établis et parfois remettre en cause la survie même de grands acteurs. Nous avons tous en têtes les Uber, Amazon, AirBnB, BlaBlaCar, et bien d'autres. Menace pour certains, opportunité pour d'autres, le « phénomène startup » ne peut laisser aucun futur manager de ce début du XXIème siècle indifférent. Les startups ont remis en cause les modèles classiques d'innovation en place, et obligent les grandes entreprises à réinventer une manière d'innover. Les grands groupes et ETI déploient toutes des dispositifs d'open innovation (incubateurs, accélérateurs, fonds de corporate venture capital) pour mieux comprendre et/ou tirer profit de ce nouveau phénomène. Des Directions Innovation ont été créées au sein de ses grandes organisations, se positionnant à côté des Directions R&D, Marketing, ou Stratégie, avec pour objectif de définir puis d'implémenter une stratégie d'innovation.

Le cours a pour objectif d'explorer de manière concrète ce qu'est une startup, son mode de développement, les principaux cadres méthodologiques qui y sont déployés (Business Plan, Business Model Canvas, Lean startup), ces modes de financement.

Nous exploreront également comment les grandes entreprises s'organisent pour innover, et tirer parti du phénomène startup.

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

SG8



Prérequis

Ce cours est un cours de sensibilisation, il n'y a donc pas de prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

Les différents thèmes abordés seront les suivants :

1 - Définition de l'innovation en entreprise ? Pourquoi innover ? Quels sont les enjeux ?

R&D, invention, innovation

Créativité, versus innovation

Différentes nature et intensité d'innovation

2 - Stratégies d'innovation – Portefeuilles d'innovation – ETUDE DE CAS

3 - Idéation – méthodes de créativité

4 - Management de l'innovation - ETUDE DE CAS

Innovation incrémentale, radicale, etc. Articulation R&D

5 - Design thinking

6 - Ecosystème de l'innovation : startup studio, incubateur, accélérateur, BPI, concours, Prêts d'honneurs, CIR, etc.

7 - Business Model : différents formalismes, dont le Business Model Canvas – ETUDE DE CAS

8 – Business Model quanti : l'équation économique du projet – ETUDE DE CAS

9 – Marketing de l'innovation – Lancement de produits nouveaux

10 – Lancement d'activités nouvelles (création d'entreprises, intrapreneuriat)

11 – Communication projet – pitch – Business plan / Slide deck

12 – Financement de l'innovation

13 - Les business modèles de l'innovation durable

14 - ESS Entreprise solidaires et sociale

Déroulement, organisation du cours

Cours / Conférences

Etude de cas (travaux à préparer et à rendre)

Mini projet

Le cours représente une trentaine d'heures de cours ou conférences (HPE) et demande à peu près l'équivalent en préparation des études de cas (à rendre).

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu - travaux à rendre Quiz en rattrapage La note est une note individuelle pour 100%



Support de cours, bibliographie

Lean Startup, Eric Ries

Business Model Canvas, Alexander Osterwalder

Startup Owners Manual, Steve Blank & Bob Dorf

Get Going, Guy Kawasaki

Guide pratique de la levée de fonds, Jean-François Galloüin

The Founder's dilemmas, Noam Wasserman

Moyens

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, les élèves seront capable de :

- comprendre ce que représente un projet de création d'entreprise,
- se projeter (ou non) en tant que startupper,
- identifier les enjeux, et les facteurs clés de succès ou d'échec des démarches d'innovation au sein d'une grande entreprise,
- se projeter (ou non) dans des métiers liés à l'innovation et à l'intrapreneuriat
- appliquer certaines méthodes de la création d'activités nouvelles : Lean startup, Business Model Canvas, LaunchPad Toolkit, etc.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Nous travaillerons principalement sur les compétences :

C3 - Agir, Entreprendre, Innover

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

En présentant de manière concrète des cas

En apportant des cadres méthodologiques



2EL2200 – Innover par les usages

Responsables : Bernard YANNOU
Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 180
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 108
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 7,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif du cours est de vous apprendre à innover sur des systèmes complexes (Produits-Services-Organisations et leurs Modèles Economiques) de manière professionnelle (la méthodologie RID est une véritable ingénierie de l'innovation) et d'apprendre à la mettre en pratique (à travers des projets industriels proposés par des Directeurs Innovation).

Au-delà des approches de Design Thinking, **Radical Innovation Design® (RID)** est une méthodologie de conception novatrice, complète et bien structurée qui donne la priorité à l'amélioration de l'expérience de l'utilisateur dans un domaine d'activité. Elle est délibérément axée sur les usages et centrée sur l'activité. RID guide les innovateurs qui veulent explorer systématiquement les problèmes et les besoins non exprimés des utilisateurs, et évaluer ceux qui sont les plus pressants en termes d'innovation, en tenant compte de l'efficacité des solutions existantes du marché. RID révolutionne la manière de définir les objectifs d'innovation grâce à son concept unique de périmètre d'ambition, composé de poches de valeur sélectionnées en adéquation avec la stratégie de l'entreprise. En mettant l'accent sur l'exploration des problèmes, la gestion de projet, les cadres décisionnels, la traçabilité du processus et les fonctionnalités de reporting, RID se distingue des approches de type « quick and dirty ». La méthodologie RID a été validée dans divers secteurs industriels et commerciaux.

Les projets industriels vous permettront de collaborer par groupes de 5 afin d'obtenir les résultats d'innovation les plus pertinents pour une future activité d'utilisateur. Les projets d'innovation seront menés selon la méthodologie *Radical Innovation Design®*, à travers un processus d'innovation intense. Au cours de ce processus, vous êtes encadré par un coach professionnel en innovation, vous gérez des revues de conception avec les dirigeants de l'entreprise, et vous livrez progressivement des



résultats intermédiaires qui sont enregistrés sur la plate-forme informatique RID. L'année dernière, en 2020, trois projets industriels ont été menés pour SAFRAN "*Capture d'informations et gestion des conditions de piste d'atterrissage*", SAIPEM "*Exploration de solutions portuaires pour la maintenance des éoliennes flottantes*" et RATP "*Signaux de chantier et sécurité / Pétards de voie*", alors que nous étions tous en confinement.

Deux rapports sont livrés pour le projet : le rapport de Problem Setting après 6 semaines, le rapport de Problem Solving deux semaines plus tard (travail en mode *Hackathon* ou *Innovation Camp*).

Un simple savoir-faire méthodologique serait inefficace sans les **compétences relationnelles** appropriées pour co-innover avec vos coéquipiers. Trois modules de formation de 6 heures sont proposés pour, dans l'ordre, (1) Devenir un leader fort en matière d'innovation et apprendre à travailler avec vos coéquipiers (2) Co-créer en groupe avec des techniques théâtrales (3) Présenter votre projet d'innovation avec plus d'assurance et de persuasion.

De plus, l'acte d'innover ne guide pas seulement les entreprises vers de nouvelles technologies et de nouveaux marchés, mais il consiste en fait à concevoir notre vie et notre société futures. L'innovation est une discipline déterminante que vous utiliserez dans votre vie professionnelle d'ingénieur pour changer le monde. C'est pourquoi 9 experts hautement qualifiés vous délivreront des **tutoriels sur les enjeux et les défis de l'innovation**.

"Comment esquisser un avenir souhaitable ? Comment mettre l'innovation au service du bien commun ? Comment utiliser intelligemment l'IA pour une meilleure organisation des systèmes de santé (un sujet d'actualité)" font partie d'une série de questions que nous souhaitons aborder et débattre.

Par conséquent, le cours RID 2021 (108 h), qui est **seulement donné en Anglais**, est composé de **5 modules (A, B, C, D, E)** :

- A. 9 tutoriels sur l'innovation
- B. Le cours et les exercices sur la méthodologie Radical Innovation Design®
- C. Les compétences relationnelles
- D. Problem Setting de votre projet industriel
- E. Problem Solving de votre projet industriel

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

SG8

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

Tutoriels sur l'innovation (27 HPE - 33 HEE)

L'innovation est une discipline déterminante que vous utiliserez dans votre



vie professionnelle d'ingénieur pour changer le monde, la société et la vie quotidienne. C'est pourquoi neuf experts vous délivreront des tutoriels sur les enjeux et les défis de l'innovation, pour élargir votre perspective sur l'innovation :

- "Comment mettre l'innovation au service du bien commun ? Nouvelles pratiques de recherche et d'innovation", **Mélanie Marcel et Roxane Bibard, SoScience**
- "Transformations dans les industries technologiques", **Michel Guiga, vice-président de Capgemini Invent**
- "L'art d'imaginer le futur", **Mathieu Baudin, directeur de l'Institut des futurs désirables**
- "Innovation pour l'organisation des soins en santé", **Dr Romain Farel, responsable du programme Data Intelligence chez DocteGestio**
- "La Blockchain : une promesse d'innovations utiles et disruptives", **Jérémy Sintès**
- "Des bâtiments intelligents, des bâtiments utiles", **Olivier Sellès, responsable des solutions de construction intelligente chez BNP Paribas Real Estate**
- "Une approche systémique de la mobilité dans la ville intelligente : quelques domaines de recherche et d'innovation liés au numérique", **Dominique Barth, professeur d'informatique à l'Université de Versailles-SQ/Université Paris-Saclay**
- "Platform design for the future of Enterprise & Industry automation", **Nicolas Rebierre, responsable de l'équipe d'innovation des plates-formes logicielles chez Nokia Bell Labs**
- "Innover, c'est penser à côté", **Philippe Costard, PDG de Synergie Design**

Un rapport personnel de 4 pages sur les tutoriels (**coeff. 3**) est demandé, en vous concentrant sur les points que vous avez aimés, ou qui vous ont interrogé, et en approfondissant les points que vous trouvez intéressants.

Méthodologie Radical Innovation Design® (24 HPE - 39 HEE) - Bernard Yannou, assisté de François Cluzel

Radical Innovation Design® (en abrégé RID) est une méthodologie d'innovation plus structurée que les approches traditionnelles dites de *Design Thinking* adoptées dans les entreprises. RID repose sur l'idée que, lors de la conception d'expériences, de produits et de services innovants, il faut commencer par les problèmes rencontrés par les utilisateurs et ce qu'ils cherchent à réaliser, plutôt que de se concentrer sur les produits ou les technologies. Pour ce faire, RID préconise la modélisation systématique de classes de profils d'utilisateurs, de situations d'usage, de



problèmes/douleurs et de solutions existantes du marché. Les études RID sont divisées en deux périodes. La première période de Problem Setting correspond aux étapes préliminaires d'un processus d'innovation radicale où le problème est généralement mal défini ; dans la littérature, on parle alors de "zone floue de l'innovation". Dans la seconde de Problem Solving, la conception de la solution de Produit-Service-Organisation et celle du modèle d'affaires se font en parallèle. Beaucoup de soin et d'efforts sont consacrés à la conception d'un problème dont les solutions peuvent créer une valeur maximale.

Radical Innovation Design® a été inventé et développé à CentraleSupélec ; c'est une marque de CentraleSupélec. Une spin-off de CentraleSupélec, HyB'RID (<https://hyb-rid.com/>), est chargée de former les cadres des entreprises et de déployer l'utilisation de la méthodologie.

L'enseignement de la méthodologie *Radical Innovation Design*® apportera aux étudiants rigueur et méthode dans un cadre permettant d'innover dans les conditions de l'entreprise ou de la start-up. Le cours est dispensé à travers 8 sessions de cours et d'exercices, suivant le déroulement d'un processus RID typique. Les cours sont illustrés par de nombreuses vidéos et des innovations connues et inconnues. Les exercices proviennent de projets récents d'entreprises (<http://rid.centralesupelec.fr>). Chaque élève remplit un cahier numérique au fur et à mesure des séances d'exercices et le renvoie au professeur à la fin pour obtenir une note (**coeff. 4**). Des jeux sérieux sont également expérimentés et une plateforme informatique RID est utilisée lors de certaines sessions de cours.

Compétences relationnelles pour l'innovation (18 HPE - 18 HEE)

Un seul savoir-faire méthodologique serait inefficace sans les compétences relationnelles appropriées pour co-innover. Trois compétences non techniques en matière d'innovation sont enseignées par la pratique.

(1) Pensée Disruptive pour un projet RID réussi - Nathalie Delmas, fondatrice de Connexion TIP

L'objectif des modules « Pensée Disruptive pour un projet RID réussi » est de vous donner accès à l'expérience de la méthodologie Performance CO TM vous permettant d'atteindre des résultats "disruptifs" et de vous libérer pour oser être, faire et réaliser ce que vous voulez vraiment en tant qu'individu et en tant qu'équipe - principalement en apprenant le pouvoir d'être connecté à soi-même, aux autres et à ce qui est en jeu.

(2) Créativité théâtrale - Valérie Lejeune, maître de conférences à l'UCO BN

La créativité est un état d'esprit critique qui nous permet de surmonter des schémas de pensée obsolètes et d'aller plus loin. Depuis 1950, différentes écoles de pensée ont illustré la logique de la co-création. Dans chaque cas, un processus spécifique (utilisant soit l'empathie, l'intellectualisation ou, la sensibilité...) est proposé pour établir une dynamique de groupe, et pour produire des idées valables. Dans cet atelier, nous utilisons le support du théâtre pour favoriser la créativité du groupe, en abordant les phases d'idéation de la méthode RID sous un angle humain. La méthode de



créativité A.C.T.I.N.G© (Attitudes for Creative Thinking in Group), inventée par le Dr Lejeune, est le résultat de 10 ans de recherches appliquées récentes au sein de diverses entreprises. ACTING© utilise essentiellement des techniques théâtrales (sensibilisation à l'espace, mise à profit d'émotions sincères, narration d'histoires) pour défixer et produire des éléments linguistiques et imaginaires générateurs d'idées nouvelles.

(3) RID Pitching Workshops - Steve Brown, maître de conférences à CentraleSupélec

Nos ateliers auront un objectif simple : vous donner les outils linguistiques, rhétoriques, conceptuels et organisationnels pour présenter vos arguments en anglais avec plus de confiance et de persuasion. Vous vous inspirerez des enseignements clés des deux autres ateliers et les intégrerez. Les présentations se concentreront sur la présentation RID que vous devrez donner lors de la session finale.

Problem Setting de votre projet industriel (15 HPE, 50 HEE)

Une série de projets d'innovation sont proposés par de grandes entreprises, des startups, éventuellement des associations ou des ONG. Les étudiants expriment leurs souhaits et sont affectés, dans la mesure du possible, à leur premier choix dans un groupe de 5 étudiants. Les entreprises ont accepté de travailler avec une philosophie et un processus *Radical Innovation Design*®. En effet, la question initiale de l'innovation est rapidement élargie pour examiner l'activité d'un utilisateur dans son ensemble, de manière à capter les poches de valeur. Celles-ci sont des problèmes dont les conséquences sont dramatiques, arrivant dans des situations d'usage fréquentes et pour lesquels il n'existe pas de solution satisfaisante.

Au cours de ce processus, vous êtes encadré par un coach professionnel en innovation, vous gérez les revues de conception avec les dirigeants de l'entreprise, et vous obtenez progressivement des résultats intermédiaires qui sont enregistrés sur la plate-forme informatique RID. Vos résultats d'étude sont synthétisés dans un premier rapport de Problem Setting.

Problem Solving de votre projet industriel (24 CRH, 46 WLH)

La seconde partie du projet se déroule pendant les 5 à 10 derniers jours de la Séquence Thématique (consacrés à cela). Pendant cette courte période, vous devez trouver :

- le scénario d'usage rêvé de l'activité future
- le concept d'un produit-service-organisation (PSO)
- la conception détaillée de ce PSO
- un prototype de ce PSO qui démontre que l'activité de l'utilisateur est effectivement augmentée
- un modèle d'affaires adapté
- éventuellement un plan industriel et de lancement



Ces éléments sont synthétisés dans un rapport de Problem Solving (la plate-forme RID génère le squelette du rapport) et un prototype. En outre, les étudiants sont invités à fournir un poster illustré, une vidéo de 5 minutes sur le processus et les résultats, ainsi qu'une présentation finale. Enfin, les étudiants participent au défi "Go for a RIDe !" où ils présentent leur projet dans un temps limité devant un jury d'environ 30 enseignants et experts en innovation. Un prix de l'innovation est décerné au meilleur projet, et la plupart des élèves reçoivent la certification de méthodologie RID de niveau 2 "Easy RIDer".

Les coachs de projet sont : Flore Vallet, Hanen Kooli-Chaabane, Aurélie Randazzo, François Cluzel, Bernard Yannou

Déroulement, organisation du cours

Fondamentalement axée sur la pédagogie par projet et la mise en situation d'innovations industrielles et sectorielles (domaines des transports et des bâtiments, des systèmes connectés et industriels, de la santé et de la société), cette Séquence Thématique permet de développer avec et pour des partenaires industriels des solutions innovantes qui ont réellement pour but d'être par la suite industrialisées et lancées sur le marché.

Organisation de l'évaluation

La note finale est calculée comme suit :

- Le rapport personnel de 4 pages sur les tutoriels d'innovation (coefficient 3)
- Le cahier d'exercices personnel (coefficient 4)
- Le rapport sur le Problem Setting par groupe de 5 (comprenant les livres de la connaissance) et la présentation mi-parcours (coefficient 5)
- Le rapport sur le Problem Solving par groupe de 5, le prototype, le poster, la vidéo de 5 minutes, et la présentation finale (coefficient 5)

Pour les deux étapes de réalisation du projet, la note prend en compte la qualité et la pertinence du processus (application soignée et intelligente des étapes du processus RID, investissement dans le projet, organisation), la qualité et la pertinence des résultats du projet dans le contexte de l'entreprise, la pertinence du pitch.

Support de cours, bibliographie

Un " RID guidebook" est fourni aux étudiants. C'est un recueil de 100 pages reliées entre elles par des liens hypertextes au format pdf sous licence Creative Commons non commerciale pour une éventuelle diffusion. Il s'agit du glossaire et du manuel officiels du cours. Chaque page contient une



définition, une partie méthodologique, des illustrations et des liens vers des pages intérieures, des documents extérieurs et des ressources web. En outre, la lecture des articles de journaux (fournis aux étudiants) et des manuels suivants est recommandée.

Ouvrages recommandés

- Gardoni M., Navarre A., 2017. Pratiques de gestion de l'innovation - Guide sur les stratégies et les processus, Québec, Canada: Presses de l'Université du Québec.
- 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.
- Christensen C., 2011. The Innovator's Dilemma: The Revolutionary Book That Will Change the Way You Do Business HarperBusiness.
- Osterwalder A., Pigneur Y., Bernarda G., Smith A., Papadacos P., 2014. Value Proposition Design, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Osterwalder A., Pigneur Y., 2010. Business Model Generation, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Kim C.W., Mauborgne R., 2005. Blue ocean strategy - How to create uncontested market space and make the competition irrelevant, Boston, USA/MA: Harvard Business School press.
- 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., 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.
- 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.



Articles scientifiques recommandés (voir aussi <https://hybrid.com/publications-rid/>)

- Lamé G., Yannou B., Cluzel F., 2018. Usage-Driven Problem Design for Radical Innovation in Healthcare. *BMJ Innovations*, 4 (1), 15-23, doi: 10.1136/bmjinnov-2016-000149.
- Yannou B., Cluzel F., Farel R., 2016. Capturing the relevant problems leading to pain and usage driven innovations: the DSM Value Bucket algorithm. *Concurrent Engineering - Research And Applications (CERA)*, 1-16.
- Yannou B., Farel R., Cluzel F., Bekhradi A., Zimmer B., 2016. The UNPC innovativeness set of indicators for idea or project selection and maturation in healthcare. *International Journal of Design Creativity and Innovation*, 5 (3-4), 205-221.
- Bekhradi A., Yannou B., Cluzel F., Vallette T., 2017. Categorizing users pains, usage situations and existing solutions in front end of innovation: The case of smart lighting project, In 21st International Conference on Engineering Design (ICED), August 21-25, Vancouver, Canada.
- Lamé G., Leroy Y., Yannou B., 2017. Ecodesign tools in the construction sector: analyzing usage inadequacies with designers' needs. *Journal of Cleaner Production*, 148, 60-72.
- Bekhradi A., Yannou B., Cluzel F., Chabbert F., 2016. Importance of problem-setting before developing a business model canvas, In International Design Conference, May 16-19, Dubrovnik, Croatia.
- Jaruzelski B., Loehr J., Holman R., 2012. The Global Innovation 1000: Making Ideas Work. Available at: <http://www.strategy-business.com/article/00140?gko=f41fe>.
- Lamé G., Yannou B., Cluzel F., 2018. Analyzing RID methodology through the lens of innovative abduction, In International Design Conference, May 21-24, Dubrovnik, Croatia.
- Yannou B., Lamé G., Cluzel F., 2018. Adapting the FBS model of designing for usage-driven innovation processes, In IDETC/CIE 2018: International Design Engineering Technical Conferences / CIE: Computers and Information in Engineering, August 26-29, Quebec City, Quebec, Canada.

Moyens

- *Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) :* Bernard Yannou (professeur principal), François Cluzel, Flore Vallet, Hanen Kooli-Chaabane, Aurélie Randazzo, Nathalie Delmas, Valérie Lejeune, Stephen Brown, Mélanie Marcel, Roxane Bibard, Philippe



Costard, Michel Guiga, Mathieu Baudin, Dominique Barth, Olivier Sellès, Jérémy Sintès, Nicolas Rebierre, Romain Farel

- *Taille des TD* : 23 à 33 étudiants en fonction du nombre total d'étudiants
- Plateforme informatique RID

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Cette séquence thématique répond au défi de l'**innovation systématique centrée sur les usages**. Il fournira aux étudiants des connaissances, des méthodes et des pratiques permettant à la fois de se concentrer sur des problèmes importants pour les utilisateurs dans leur vie quotidienne et de proposer des solutions et des modèles d'affaires innovants. **Ce cours est conçu pour les ingénieurs qui souhaitent devenir des experts des processus d'innovation dans le contexte d'une entreprise ou d'une startup.**

Au terme de cette séquence thématique, l'élève sera capable de :

- Connaître le vocabulaire, les grands principes et les stratégies d'innovation
- Comprendre l'intérêt supérieur de la stratégie d'innovation need seeker
- Comprendre les limites de la pratique actuelle du Design Thinking dans les entreprises et l'intérêt d'adopter une ingénierie de l'innovation
- Comprendre l'intérêt de l'innovation pilotée par les usages et l'activité (des usagers) pour les entreprises
- Connaître et mettre en œuvre les principes, le processus et les résultats de la méthodologie Radical Innovation Design®
- Développer un état d'esprit et un comportement propices à l'innovation
- Remettre en question une idée innovante
- Mettre en œuvre la méthodologie RID sur un cas réel d'entreprise
- Être des acteurs et/ou des gestionnaires efficaces et participatifs de projets d'innovation
- Savoir définir et réaliser les étapes des projets d'innovation : reformulation de la problématique initiale dans le cadre d'une activité d'un usager à améliorer ; développement de l'expertise en début de projet ; définition des objectifs d'innovation qui méritent d'être atteints ; génération de scénarios d'usage nouveaux, de concepts de solutions et de modèles d'affaires pertinents et augmentés ; gestion du prototypage, de l'expérimentation, de l'évaluation et de la validation
- Construire une connaissance large et multidisciplinaire autour de l'innovation (histoire des innovations, design, recherche, stratégie



d'entreprise, économie, éthique, droit et protection de l'innovation, prospective, progrès humain)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

De manière générale, à partir du référentiel de compétences de CentraleSupélec :

- C1 : Jalon 2 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C2.3 : Jalon 2 : Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres
- C3.6 : Jalon 2 : Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées
- C4 : Jalon 2 : Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- C6.2 : Jalon 2 : Pratiquer la conception collaborative au travers d'outils de conception et de prototypage de produits (CAO, imprimante 3D...)
- C8.1 : Jalon 1 : Travailler en équipe/en collaboration



2EL2210 – Operations and supply chain management

Responsables : Guillaume LAMÉ
Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours initie les élèves aux problématiques de Gestion des Opérations et Supply Chain Management en approfondissant les décisions liées aux problèmes de conception, planification et pilotage rencontrés dans les systèmes de production et distribution de biens et de services. L'enjeu principal pour la Gestion des Opérations étant, dans ces systèmes, de s'assurer que les produits/services commercialisés par l'entreprise soient au bon endroit, au bon moment, avec la qualité et quantité demandées par le client, tout en utilisant de manière efficace les ressources.

Il s'agit donc de comprendre le fonctionnement d'un système de production à différentes échelles (au niveau de la supply chain, de l'usine, de l'entrepôt, des ateliers, des machines), ses processus, les enjeux économiques et environnementaux associés et de développer des approches, méthodes et outils (qualitatifs et quantitatifs) permettant d'en améliorer les performances.

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

SG8

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours abordera en particulier :

- les dimensions organisations et processus des systèmes de production et distribution de biens et de services



- la performance d'un système de production au travers de l'organisation du travail, l'organisation physique, les processus et moyens en place (Vision client, Objectifs et KPIs du système, Processus et Organisations, Moyens techniques, Sécurité des Hommes, Fiabilité/Maintenance, Lean et système d'amélioration, etc)
- les approches et méthodes qualitatives et quantitatives pertinentes permettant d'optimiser les performances des systèmes de production et distribution
- la mise en œuvre de ces approches en insistant sur les aspects faisabilité, adaptation, limites et conduite de changement

Déroulement, organisation du cours

Cours et TDs. Une partie des contenus sera sous la forme de lectures et vidéos à étudier individuellement avant les cours.

Organisation de l'évaluation

un travail à rendre et un examen final écrit de 2 heures

Support de cours, bibliographie

Sujets de TDs, vidéos, diapositives de cours et notes de cours.

Moyens

- Cours, cas pratiques, témoignages de professionnels

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Diagnostiquer les problèmes et la performance d'un système d'opérations industrielles.
- Mobiliser des outils et concepts fondamentaux pour améliorer la performance des opérations et des chaînes logistiques.



2EL2220 – Théories des organisations et des marchés

Responsables : Yannick PEREZ

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objet de ce cours est l'analyse des organisations, en s'appuyant sur les outils de la microéconomie élargie. A l'instar d'autres domaines d'application des sciences économiques, l'économie des organisations (Organizational economics) a connu un développement soutenu lors des 20 dernières années. L'économie des organisations implique le recours à l'analyse économique et à ses méthodes pour comprendre l'existence, la nature, le 'design' et la performance des organisations. L'analyse économique des organisations est menée en comparaison avec les marchés et elle porte, au-delà de la firme, sur des formes organisationnelles d'une grande diversité (syndicats, mouvements sociaux, agences, écoles, ...).

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

SG6

Prérequis

Ce cours ne suppose pas de prérequis pour les étudiants parfaitement francophones

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction
2. Chapitre 1 : Diversité des modes d'organisation en économie de marché
 - a. Les marchés comme mode structurant de la production et des échanges
 - b. Les organisations intégrées et la nature de la firme.
 - c. Les formes hybrides
 - d. Le problème de l'arbitrage entre les modes d'organisation



3. Chapitre 2 : Les modes de coordination
 - a. Les processus d'information
 - b. Le rôle des contrats
 - c. Nature et fonction de la hiérarchie
4. Chapitre 3. Incitations et motivations
 - a. Incitations : modèles de base
 - b. Incitations liées aux propriétés des modes d'organisation
5. Conclusion

Déroulement, organisation du cours

Le cours est composé de deux parties :

Une première où les outils de la théorie économique des organisations sont présentés.

La seconde où ils sont mis en applications par l'analyse en groupe d'étudiants de cas typiques de la théorie des organisations.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est composée de deux exercices.

Le premier est une présentation de situation typique en groupe d'étudiant. Ce travail représente 60% de la note finale.

Le dernier est un devoir sur table composé de 4 questions sur les notions essentielles du cours. Ce travail représente 40% de la note finale.

Support de cours, bibliographie

Ménard Claude, L'économie des organisations, Repères la découverte.

Saussier Stéphane et Anne Yvrande, L'économie des couts de transactions, Repères la découverte.

Chabaud Didier, Jean-Michel Glachant, Claude Parthenay et Perez Yannick (eds), 2008, « *Les grands auteurs en économie des organisations* », Ed. Management & Société. 13 chapitres.



Moyens

Les étudiants doivent venir équipés de leurs ordinateurs portables.
Un seul TD sera ouvert cette année universitaire pour 33 étudiants.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre les enjeux de création, de développement et du fonctionnement des organisations économiques.

Acquérir les outils de la théorie économique des contrats

Découvrir les modalités de construction des incitations et de la coordination des équipes

Comprendre les déterminants des choix des formes organisationnelles adaptées aux activités économiques.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Au terme de cet enseignement les étudiants comprendront pourquoi les organisations économiques fonctionnent ou pas.

Ils comprendront les problèmes de gestion hiérarchique, de principal agent, d'aléas moral et de sélection adverse. Ils auront analysé des systèmes d'incitation et de rémunération et auront des outils analytiques pour comprendre les relations inter-industries.



2EL2230 – Maintenance et industrie 4.0

Responsables : Anne BARROS

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

Langues d'enseignement : ANGLAIS

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

La maintenance prédictive est un des piliers de l'industrie 4.0. Elle repose sur l'utilisation de données collectées en ligne, leur traitement et leur intégration dans des processus de décisions dynamiques. Elle repose aussi sur la mise à disposition d'agents connectés susceptibles d'exécuter des tâches en temps réel et d'en optimiser leur gestion. Concrètement, il s'agit d'anticiper les défaillances, arrêts, accidents des processus de production ou des systèmes de services et de planifier au mieux les opérations de remplacement, renouvellement, remise en service, etc...

L'objectif de ce cours est de donner à de futurs décideurs, la culture nécessaire qui permet de concevoir, modéliser et recommander des stratégies de maintenance prédictive. L'accent est mis sur les approches guidées par les données et les modèles probabilistes ou statistiques qui s'appliquent à tout système industriel. Ce bagage doit permettre d'interagir efficacement avec des ingénieurs « métier » très proche des applications et des « data scientist » en charge du traitement des données

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

SG8

Prérequis

Connaissances de base en probabilité et statistique, analyse de données, modélisation et optimisation.

Plan détaillé du cours (contenu)



1. Maintenance et Industrie 4.0: concepts (3h)
2. Outils de modélisation et de quantification: Processus stochastique, Théorie du renouvellement, Simulation Monté Carlo, Machine Learning (3h)
3. Outils d'optimisation (3h)
4. Maintenance corrective et résilience (3h)
5. Optimisation de la maintenance corrective (8h)
6. Optimisation de la maintenance prédictive (12h)
7. Examen avec étude de cas (3h)

Déroulement, organisation du cours

15h de cours, 15h de travaux dirigés et mise en oeuvre pratique des modèles.

Possibilité d'évolution en classe inversée partiellement.

Organisation de l'évaluation

Cas d'étude sur 3 heures avec compte rendu (75% de la note finale)

Compte rendus de TD (25% de la note finale)

Support de cours, bibliographie

Bibliographie

- System Reliability Theory, Models, Statistical Methods and Applications, Marvin Rausand, Anne Barros, Arnljolt Hoyland, 2020, Third Edition, Wiley
- Degradation Processes in Reliability, Waltraud Kahle, Sophie Mercier, Christian Paroissin, John Wiley & Sons, 2016
- Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications, Second Edition (Mechanical Engineering) 2nd edition by Jardine, Andrew K.S., Tsang, Albert H.C. (2013) Hardcover
- Case Studies in Reliability and Maintenance, Wiley Series in Probability and Statistics, Wallace R. Blischke, D. N. Prabhakar Murthy, John Wiley & Sons, 2003
- Reliability and Optimal Maintenance, Hongzhou Wang Hoang Pham, 2006, Springer Science & Business Media
- Reliability and Maintenance Engineering, R C Mishra, New Age International, 2006
- Models of Preventive Maintenance (Study in Mathematics & Managerial Economics), Ilya B. Gertsbakh, North Holland, 1977

Supports de cours

Recueil de transparents, site Web, Jupyter notebook



Moyens

- Equipe pédagogique (Cours et TD): Anne Barros, Yiping Fang, Zhiguo Zeng
- Outils informatiques : Python, Matlab

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Concevoir une stratégie de maintenance dans un contexte d'application donné
- Effectuer le choix de modélisation adéquat pour évaluer les performances d'une stratégie de maintenance
 - Savoir définir et formaliser des variables d'états pertinentes
 - Savoir définir et formaliser un critère de performance
 - Savoir élaborer un modèle avec le bon niveau d'abstraction à partir de la description de scénarios ou d'un ensemble états-transition
- Quantifier des performances à partir de modèles probabilistes ou guidés par les données
 - Savoir identifier le bon cadre de modélisation à base de processus stochastiques (processus de renouvellement, processus de Markov, semi-markov, déterministes par morceaux)
 - Savoir calculer des lois de probabilités ou des grandeurs moyennes à partir d'un formalisme analytique ou en simulation de Monte Carlo
- Optimiser les performances d'une stratégie de maintenance
 - Savoir mettre en oeuvre des techniques d'optimisation paramétriques pour un critère de performance donné
 - Savoir formaliser un problème d'optimisation lorsque la stratégie de maintenance n'est pas fixée à priori

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences validées :

- Concevoir, modéliser et recommander des stratégies de maintenance prédictive (C1.1 et C1.2)
- Etre capable d'interagir avec des ingénieurs métiers et des data scientists sur ce sujet (C1.5 - jalon 2)



- Superviser la mise en oeuvre d'une stratégie de maintenance prédictive depuis la collecte des données jusqu'à la mise en oeuvre pratique des activités de maintenance (C1.5, jalon 2)
- L'étude de cas finale s'inscrit dans C1.3 (jalons 1B, 2B, 3B), C6.5 et C7.1

Mode de validation

- Les compétences C1.1 (jalons 1 et 2) et C1.2 sont validées lors des séances de TD. La compétence C1.1 est validée lors de l'étude de cas finale pour le jalon 3.
- La compétence C1.5 est validée lors de l'étude de cas finale.



2EL2240 – Mobility issues

Responsables : Yannick PEREZ

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

Langues d'enseignement : ANGLAIS

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences fondamentales

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours consistera à étudier trois innovations qui sont en passe de transformer profondément l'industrie associée à la mobilité individuelle. Les deux premières sont d'abord de nature technologique, il s'agit du véhicule autonome et du véhicule électrique - à batterie ou hydrogène. La troisième est liée à la pénétration et la généralisation des nouvelles technologies de l'information et la communication et l'IoT dans la mobilité qui permette la mise en œuvre des principes de l'économie du partage.

La motivation pour étudier la combinaison de ces trois innovations est de déterminer les conditions de passage d'un modèle de propriété individuelle des biens de mobilités avec des externalités négatives considérables en termes de pollution, de congestion, de d'accidentologie vers des usages de services de mobilité autonomes, électriques et/ou partagés qui pourraient apporter des solutions aux problèmes susmentionnés.

Cette transformation des moyens de la mobilité est donc au croisement des approches de l'ingénieur (comment mettre en place de la mobilité autonome, quels usages de la 5G pour la mobilité, comment utiliser l'intelligence artificielle, comment inclure des véhicules électriques dans les réseaux électriques pour des recharges intelligentes à base de renouvelable...), de l'économiste industriel (quels modèles économiques sous-jacents, quelle réglementation des usages, quels jeux d'acteurs dans une industrie en profonde réorganisation) et des analyses des besoins de mobilités et des comportements des consommateurs (quelles incitations pour l'adoption des comportements, acceptation de l'auto-partage, nouveaux comportement et micro-mobilité, transferts multimodal...).



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

SG8

Prérequis

Pas de prérequis nécessaire.

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours 1: Introduction à la transition énergétique et à la mobilité.

Cours 2: Véhicule électrique pour tout: cadre des flux de revenus

Cours 3: Tarif de conception pour les VE et les énergies renouvelables.

Cours 4: Théories et applications des déploiements d'infrastructures

Cours 5: Économie de l'autopartage

Cours 6: Economie de l'autopartage une application en région parisienne

Cours 7: Véhicules électriques autonomes et partagés: définitions, coût des technologies, mobilité partagée

Cours 8: Explorer l'impact système des taxis automatisés via la simulation

Cours 9: Nouvelles technologies pour les livraisons urbaines et sur le dernier kilomètre

Cours 10: Mobilité en tant que service

Cours 11: Nouvelles perspectives de la mobilité urbaine

Déroulement, organisation du cours

Pendant la session de 3h, la première heure et demie sera animée par un intervenant (professeur, chercheur, urbaniste, économiste...) spécialiste du thème. Les TDs seront organisés pendant l'heure et demie suivante. Dans les TDs, les étudiants, en groupe de 3, présenteront les des exposés sur des articles de recherches mis à leurs dispositions par les intervenants.

Organisation de l'évaluation

Le cours sera évalué sur les travaux de groupes réalisés pendant les TDs pour 60% de la note finale.

L'examen final en 2 h portera sur 10 questions, une par cours, comptera pour 40 % de la note finale

Support de cours, bibliographie

Sperling, Daniel (2018) Three Revolutions: Steering Automated, Shared, and Electric Vehicles to a Better Future. Island Press/Center for Resource Economics

- Icaro Silvestre Freitas Gomes, Yannick Perez, Emilia Suomalainen 2020 Coupling small batteries and PV generation: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 126 (2020) 109835.



- Andrew Thompson and Yannick Perez 2020, Vehicle-to-Anything (V2X) Energy Services, Value Streams, and Regulatory Policy Implications, Energy Policy 137 (2020) 111136
- Quentin Hoarau & Yannick Perez, 2019, Network tariff design with distributed energy resources and electric vehicles, Energy Economics, Volume 83, September, Pages 26-39.
- Olfa Tlili Christine Mansilla David Frimat Yannick Perez, 2019 Hydrogen market penetration feasibility assessment: Mobility and natural gas markets in the US, Europe, China and Japan, International Journal of Hydrogen Energy Volume 44, Issue 31, 21 June 2019, Pages 16048-16068.
- Ramírez Díaz Alfredo, Marrero Gustavo, Ramos-Real Francisco, Perez Yannick, 2018 Willingness to pay for the electric vehicle and their attributes in Canary Islands, Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 98, December 2018, Pages 140-149.
- Ramírez Díaz Alfredo, Ramos-Real Francisco Javier, Perez Yannick, Barrera Santana Josue, 2018, Interconnecting isolated electrical systems. What is the best strategy for the Canary Islands? Energy Studies Review- Vol. 22 (2018) pp. 37–46.
- Hoarau Quentin and Perez Yannick, 2018, Interactions Between Electric Mobility And Photovoltaic Generation: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 94 (2018) 510–522.
- Rodríguez Brito Maria Gracia, Ramírez-Díaz Alfredo Jesús, Ramos-Real Francisco J., Perez Yannick, 2018, Psychosocial traits characterizing EV adopters' profiles: The case of Tenerife (Canary Islands), Sustainability 2018, 10, 2053.
- Codani Paul, Perez Yannick and Petit Marc 2018 Innovation et règles inefficaces : le cas des véhicules électriques, Revue de l'Énergie n° 638, Mai-Juin
- Borne Olivier, Yannick Perez and Marc Petit 2018, Market integration or bids granularity to enhance flexibility provision by batteries of Electric Vehicles, Energy Policy, Volume 119, August 2018, Pages 140–148.
- Borne Olivier, Korte Klaas, Perez Yannick, Petit Marc and Purkus Alexandra 2018, Barriers to entry in Frequency-Regulation Services Markets: Review of the status quo and options for improvements, Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 81, Part 1, January 2018, Pages 605–614.



- Codani Paul, Perez Yannick and Petit Marc 2016, Financial Shortfall for Electric Vehicles: economic impacts of Transmission System Operators market designs, Energy, Volume 113, pp 422-431.
- Eid Cherrelle, Codani Paul, Perez Yannick, Reneses Javier, Hakvoort Rudi, 2016, Managing electric flexibility from Distributed Energy Resources: A review of incentives for market design, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 64, pp 237–247.

Moyens

Un amphi et 4 salles pour les TDs

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Analyser les potentialités techniques, économiques et sociales de la mobilité électrique, autonome et partagée. Mettre en évidence les limites des solutions proposées, des business models en cours de développement et des besoins à pourvoir pour mettre en œuvre cette nouvelle mobilité décarbonnée dans des villes plus intelligentes.

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

C1.5 Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche

transdisciplinaire.

C2.4 Créer de la connaissance, dans une démarche scientifique

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

C4.1 Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socio-économiques.

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.

C8.1 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



2EL2410 – Compression et débruitage des signaux

Responsables : Gilles CHARDON
Département de rattachement : SIGNAL ET STATISTIQUES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est une introduction à la représentation, l'analyse, la compression et le débruitage des signaux et des images. Ces notions forment le socle des traitements modernes utilisés pour le stockage de musique, de vidéos, l'amélioration des images photographiques dans les téléphones portables, le traitement des images médicales ou issues de l'astrophysique...

On retrouve également ces notions en ingénierie, notamment en radar/sonar et en sismologie pour la prospection minière et pétrolière, etc....

Après un rappel des notions fondamentales d'analyse fonctionnelle et de traitement signal (espaces de Sobolev, transformée de Fourier, distributions...), le cours s'attachera à construire les notions de bases hilbertiennes multi-résolution/temps-fréquence, qui sont particulièrement adaptées à la représentation des signaux non-stationnaires.

Muni de ces représentations, nous examinerons les principes généraux d'approximation de fonctions/signaux avec application à la compression (formats MP3, JPEG, MPEG...). Puis, nous adopterons un point de vue statistique pour comprendre comment ces représentations permettent d'estimer des signaux corrompus par du bruit. Ce cours sera illustré par de nombreux exemples, traités sous formes de mini-projets/travaux pratiques.

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

SG6



Prérequis

1SL1000 CIP-EDP

1CC4000 Traitement du signal

Plan détaillé du cours (contenu)

1- Introduction

- Théorème d'échantillonnage de Shannon, bases orthonormées des espaces de fonctions à bande limitée
- Généralisation : problème de représentation des signaux dans des bases
- Bases splines

- Compression et approximation : erreur d'approximation linéaire vs non-linéaire d'un signal

2- Approximations multi-résolution / temps-fréquence

- Bases de Riesz, multirésolutions, fonctions d'échelle
- Ondelettes et bancs de filtre
- Bases locales par blocs, orthonormées à recouvrement, bases de cosinus locaux
- Cas des signaux audio, cas des images

3 - Compression des images et des sons

- Compression sans perte (PNG, FLAC)
- Compression de signaux de parole (LPC)
- Compression/approximation dans des bases orthonormées
- Codage entropique, quantification
- Approximations creuses
- modèles perceptifs
- JPEG, MP3...

4- Débruitage

- Méthode classiques : Wiener, filtre médian
- Estimation de signaux corrompus par un bruit additif
- Estimation bayésienne vs minimax
- Estimation diagonale dans des bases
- Seuillage, oracles
- Variation totale (ROF)
- Introduction aux problèmes inverses



Déroulement, organisation du cours

18h Cours

15h TD/TP

2h Contrôle final

Organisation de l'évaluation

Compte rendus des TP 30% Absence à un TP = 0 points pour le TP Examen final écrit 2h avec documents 70% Rattrapage : examen écrit 2h avec documents

Support de cours, bibliographie

A Wavelet Tour of Signal Processing, Stéphane Mallat, Academic Press

Moyens

Ordinateurs personnels des étudiants, Matlab ou Python.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin du cours, les étudiants pourront :

- Connaître les bases mathématiques de la représentation des signaux non stationnaires
- Analyser des signaux à l'aide de représentations temps-fréquence
- Choisir la représentation adaptée pour un modèle donné de signal.
- Mettre en oeuvre des techniques de compression de signaux.
- Connaître les limites des techniques de compression
- Concevoir, analyser, et mettre en oeuvre des méthodes d'estimation de signaux.

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
- C6.5 Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.
- C6.7 Comprendre la transmission de l'information



2EL2420 – Traitement d'images numériques

Responsables : Elisabeth LAHALLE, Charles SOUSSEN
Département de rattachement : SIGNAL ET STATISTIQUES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de former les étudiants aux concepts de base nécessaires au traitement d'images. Il s'agit à la fois d'introduire les fondements théoriques et les principaux algorithmes associés. Les étudiants seront amenés à illustrer les concepts et à mettre en oeuvre certains algorithmes à l'aide d'un outil de simulation et de traitement de données de type Matlab.

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

SG8

Prérequis

- Traitement du signal
- Convolution
- Transformée de Fourier et ses propriétés
- Probabilités et statistiques

Plan détaillé du cours (contenu)

Systèmes d'acquisition d'images numériques et processus de formation de l'image.



Exemples de traitement d'images : reconnaissance de formes, recalage d'images, segmentation d'images, restauration et reconstruction d'images.

Format d'images et analyse élémentaire : histogramme, seuillage des niveaux de gris, transformée de Fourier.

Echantillonnage.

Quantification d'image.

Amélioration de contraste : notion d'égalisation d'histogramme.

Analyse d'images couleurs : format d'images (RGB, HSV, etc.) et traitements simples.

Filtrage linéaire, notion de séparabilité dans le domaine spatial.

Filtrage dans le domaine fréquentiel.

Exemples de filtres de lissage et de contraste : filtres moyenneur, gaussien, dérivateurs, laplacien, filtres de Prewitt et Sobel, etc.

Filtrage non linéaire : filtre médian, filtrage d'ordre.

Détection de contours et segmentation : approche par contours actifs et approche par croissance de région.

Approche variationnelle (basée optimisation numérique) pour le débruitage et la déconvolution d'images.

Analyse d'images 3D et hyperspectrales : exemples de recalage d'images et restauration / séparation d'images hyperspectrales.

Reconnaissance d'objets en utilisant les « eigenimages » en vision par ordinateur.

Déroulement, organisation du cours

Traitements d'image élémentaires

cours 3h, TD 2h :

Systèmes d'acquisition d'images, et processus de formation d'une image.

Exemples de traitements d'images dans différents cadres applicatifs : recalage, segmentation, reconstruction.

Formats d'images et analyse élémentaire : seuillage, histogramme. Echantillonnage et quantification d'une image en niveau de gris.

Interpolation d'image.



Analyse élémentaire d'une image couleur.

cours 3h, TD 2h :

Filtrage linéaire, notion de séparabilité dans le domaine spatial.

Filtres de lissage et filtres dérivateurs : filtre gaussien, filtres gradients, Laplacien, filtres de Prewitt et de Sobel, etc.

Filtrage non linéaire: filtre médian, filtrage d'ordre.

cours 2h, TD 1h :

Filtrage et analyse de Fourier. Transformée de Fourier d'une image continue et discrète. Propriétés. Théorème de Shannon. Filtrage d'image dans le domaine fréquentiel

Traitements d'image avancés

cours 3h :

Modèles géométriques pour l'image : voisinage entre pixels, connexité, notions de régions et frontières.

Algorithmes de suivi de contours et d'étiquetage de régions.

Segmentation d'images : approches par partitionnement de régions, par détection de frontières, et par contours déformables

cours 3h :

Approche variationnelle (basée optimisation) pour la restauration d'images : régularisation de Tikhonov, régularisations préservant les contours

cours 3h :

Analyse d'images multidimensionnelles : images spatiales 3D et images hyperspectrales 2D + longueur d'onde. Cas de la séparation d'images hyperspectrales : algorithmes de démixage basés sur la factorisation en matrices non-négatives.

projet long : 11h



Organisation de l'évaluation

L'évaluation consistera en :

- un QCM à mi-parcours (contrôle continu), 25 % de la note finale
- une évaluation par mini-projet, 75 % de la note finale

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.

Moyens

salle équipée de PC et logiciel Matlab pour les TD

enseignants supplémentaires (un 3ème chargé de TD) pour les TD si le nombre d'étudiants atteint 50 (plus de 2 groupes de 25).

Les supports de cours sont en anglais. Les cours magistraux sont en français.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Posséder quelques notions sur le fonctionnement des systèmes d'acquisition d'images numériques (caméras, microscopes, ...) et le processus de formation de l'image.

Etre capable d'analyser une image numérique.

Etre capable de mettre en oeuvre des traitements numériques élémentaires d'images



Description des compétences acquises à l'issue du cours

Posséder quelques notions sur le fonctionnement des systèmes d'acquisition d'images numériques (caméras, microscopes, ...) et le processus de formation de l'image.

Savoir caractériser le format d'une image numérique.

Savoir analyser le contenu d'une image numérique.

Maîtriser les traitements élémentaires d'images numériques : détection de pixels dans l'image par seuillage des niveaux de gris, calcul d'histogramme, filtrage linéaire ou non linéaire, lissage et détection de contours.

Assimiler des notions plus avancées comme la segmentation basée sur les modèles géométriques de l'image (contours et régions), la reconstruction d'images basée sur l'approche variationnelle, et l'analyse d'images 3D.



2EL2510 – Architecture et conception des systèmes numériques

Responsables : Anthony KOLAR

Département de rattachement : SYSTEMES ELECTRONIQUES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences fondamentales

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans une approche top-down, les élèves vont apprendre à spécifier et concevoir des systèmes de traitement numérique dédiés, dans un objectif d'intégration dans un FPGA ou un ASIC.

L'aspect back-end microélectronique (placement routage) sera réservé aux étudiants souhaitant se spécialiser dans le domaine et étudié en mention de troisième année.

Le cours aboutira à la création d'une application, par exemple un petit processeur de traitement, et permettra ainsi de comprendre les différents concepts utilisés dans celui-ci.

De façon globale à l'issue de ce cours, les élèves seront capables de :

- Définir et concevoir l'architecture d'une chaîne de traitement numérique
- Décrire un modèle de ce traitement en langage VHDL.
- Concevoir un processeur simple et savoir le programmer

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

SG6

Prérequis

Notions de base en Électronique Numérique

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours 1 : Architecture des unités de traitement : chemin de donnée et séquenceur – part. 1



Cours 2 : Architecture des unités de traitement : chemin de donnée et séquenceur – part. 2

Cours 3 : Description VHDL

Cours 4 : Analyse temporelle des systèmes synchrones

Cours 5 : Les GPUs : Architectures et chemin de données part. 1

Cours 6 : Les GPUs : Architectures et chemin de données part. 2

Cours_PC 1 : Les Unités Logiques Algorithmiques part. 1

Cours_PC 2 : Les Unités Logiques Algorithmiques part. 2

Cours_PC 3 : Registres, mémoires et pipeline part. 1

Cours_PC 4 : Registres, mémoires et pipeline part. 2

Cours_PC 5 : Le jeu d'instruction

Cours_PC 6 : Le décodage d'instruction part. 1

Cours_PC 7 : Le cache et ses stratégies

Cours_PC 8 : Le décodage d'instruction part. 2

Cours_PC 9 : Exécutions et sauts conditionnel

Cours_PC 10 : Le compilateur

Déroulement, organisation du cours

Définition de la notion d'un Cours PC :

Il s'agit d'une interaction très forte entre un cours classique et sa mise en application quasi immédiate, bien qu'ici la démarche soit inversée : les exercices ont pour objectifs de faire réaliser où sont les points critiques sans connaître la solution pour y remédier. Une fois conscient du problème, le cours apporte la solution aux étudiants qui y sont alors beaucoup plus sensible. Cette démarche n'est possible que sous la condition qu'il n'y est pas de coupure franche entre le cours et le PC, d'où cette notion de Cours_PC.

1 projet à réaliser partiellement en homework et en équipe:

- 4 séances de projet (EL) de 1h30 en présence d'un encadrant
- 24h de homework (intercalées avec les séances de projet précédentes).
- 1 séance de 3H avec exposé oral puis démonstration devant le groupe du résultat

Le département fournira à chaque binômes d'élèves une carte de type FPGA (les mêmes que celles utilisées pour le cours de première année) qu'ils garderont jusqu'à la fin de leur projet.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit - 2h - conception d'architecture de processeur



Rapport du projet

Moyens

DEO FPGA Board From Altera

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le cours «Architecture des systèmes Numériques» apportera plus précisément aux élèves les notions nécessaires pour :

- Définir une architecture de traitement
 1. Architecture des unités de traitement : chemin de donnée et séquenceur
 2. Description de chacune des fonctions précédentes en langage VHDL
 3. Analyse temporelle des systèmes synchrones
- Conception d'un processeur (Approche de type projet)
 1. ALU, registres et pipeline
 2. Construction d'un cœur de processeur
 3. Jeu d'instruction
 4. Décodage d'instruction, Sauts et pipeline
- Traitement de donnée sur processeur Graphique
 1. Architecture des GPU: chemin de donnée
 2. Langage de programmation parallèle via librairie de type CUDA

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.

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).

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

C6.3 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel.



2EL2520 – Du transistor au système analogique complexe

Responsables : Emilie AVIGNON-MEELDZIJA

Département de rattachement : SYSTEMES ELECTRONIQUES

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les systèmes électroniques analogiques sont présents dans tous les objets de la vie courante (Smart Phone, dispositifs biomédicaux, capteurs/lecteurs RFID), mais aussi dans des applications plus pointues (applications spatiales, radar/téledétection, aéronautique...). Le but de ce cours est de former des ingénieurs capables de concevoir des circuits analogiques réalisant une fonction définie par un cahier des charges, et d'analyser des circuits déjà existants.

L'approche proposée est du type bottom-up. L'élève apprend comment fonctionne le transistor, puis comment construire les blocs de base à base de transistors (amplification, filtrage, transposition...), puis comment assembler de façon pertinente les blocs de base. Dans cette démarche ascendante l'élève prendra en main les modèles de transistors, les techniques de dimensionnement et de simulation.

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

SG8

Prérequis

Il est utile pour suivre ce cours d'avoir les bases de calculs de circuits (lois des nœuds, loi des mailles, loi d'ohm...). C'est pourquoi avoir suivi le cours de 1A systèmes électroniques serait un plus. Certaines filières, comme la filière PSI, donnent un niveau suffisant en électronique suffisant pour suivre le cours.



Plan détaillé du cours (contenu)

CM = Cours Magistral

PC = Petite Classe = travaux dirigés en petit effectif

Cours PC = à mi-chemin entre PC cours magistral

CM1 : initiation aux technologies intégrées

Introduction aux technologies CMOS, vue en coupe du transistor et compréhension des phénomènes physiques des différents régimes « avec les mains »

CM2 : Modèles de composants intégrés

Modèles de composants passifs et modèles de transistors MOS déclinés avec les régimes de fonctionnement.

CM3 : Montages fondamentaux pour l'amplification

Analyse des circuits fondamentaux pour les transistors MOS en régime de saturation (source commune, drain commun, grille commune).

Compréhension haut niveau de leur fonction.

Cours PC1 : Etude de cas de circuits à 1 ou deux transistors

PC1 : première étude de circuit à base d'un ou deux transistors

CM4 : Association de montages fondamentaux

Création des blocs fondamentaux de l'électronique analogique : source de courant de polarisation, miroir de courant, référence de tension....

Cours PC2 : Etude de cas de circuits à base d'association

PC2 : Etude d'un amplificateur opérationnel à transconductance

CM5 : Montages fondamentaux commutés

Transistor en commutation. Applications du transistor en commutation (mixage, filtrage à capacités commutées, échantillonneur bloqueur).

Cours PC3 & cours PC4 : Etude de cas de circuits en commutation

PC3 : Etude d'un circuit échantillonneur bloqueur, filtres à capacités commutées.

CM6 : Conception de circuits analogiques complexes

Conception de systèmes analogiques complexes (exemples : comparateur synchrone/asynchrone, synthèse de blocs de Laplace à base de Gm-C..., cellule de Gilbert...).

Cours PC5 & cours PC6 : Etude de cas de circuit analogiques complexes

PC4 : Conception d'un circuit analogique complexe pour les systèmes communicants

Il y a en plus 4 séances d'1h30 de projet et 2h d'examen.

Déroulement, organisation du cours

L'électronique étant une matière pratique, l'apprentissage se fera par des démonstrations de raisonnement sur des cas typiques.

L'objectif étant que l'étudiant soit suffisamment familiarisé et entraîné pour pouvoir reproduire ces raisonnements sur d'autres cas.



Organisation de l'évaluation

Examen écrit

Support de cours, bibliographie

Tony Cahn Carusone, David A. Johns, Kenneth W. Martin "Analog Integrated Circuit Design" Wiley

R. Jacob Baker « CMOS Circuit Design, Layout and Simulation" IEEE Series on Microelectronics Systems and Wiley

Moyens

L'électronique analogique étant une matière difficile à maîtriser sans être confronté à des circuits, ce cours présente la particularité de mêler entre chaque série de cours et les PC un cours-PC. A mi-chemin entre le cours et la PC le cours-PC permet sur des études de cas classiques de voir la bonne façon de raisonner.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours les étudiants l'ayant suivi seront capables de:

- concevoir un schéma électronique réalisant une chaîne de traitement de signal de type analogique
- analyser un schéma électronique combinant transistors et éléments passifs

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

C6.2 Pratiquer la conception collaborative au travers d'outils de conception ou de prototypage (CAO, imprimantes 3D...)

C8.1 Travailler en équipe/en collaboration

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



2EL2530 – Capteurs intégrés MEMS

Responsables : Jerome JUILLARD

Département de rattachement : SYSTEMES ELECTRONIQUES

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans de nombreux domaines applicatifs - automobile, médecine, aéronautique et défense, télécommunications ou électronique de grande consommation (smartphone, tablettes) - le développement ou l'intégration de capteurs miniaturisés MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) constitue désormais un passage obligé du déploiement d'applications connectées. Ces dispositifs sont utilisés comme capteurs (accéléromètres, gyroscopes, capteurs de pression, microphones, etc.), actionneurs (imprimantes jet d'encre, displays optiques) ou dans la conversion d'énergie. Ils présentent de tels avantages en termes de fiabilité, de consommation, de métrologie, de dimensions et de coût, qu'ils sont rapidement devenus, depuis les années 90, des éléments essentiels (mais invisibles) de notre quotidien, et sont appelés à jouer un rôle croissant dans notre avenir.

Ce cours couvre des aspects théoriques et pratiques, du point de vue de la modélisation (modélisation multi-physique / multi-domaine, réduction d'ordre de modèle), de la physique (mécanique, électrostatique, fluide, limites métrologiques fondamentales), de la technologie (techniques de micro-fabrication, intégration, packaging), et de l'économie (rentabilité). Il a pour ambition de proposer un tour d'horizon complet du domaine, qui intéressera à la fois les étudiants amoureux de "belle physique" et de conception de systèmes complexes, ou encore ceux qui souhaitent appréhender l'industrialisation à grande échelle de dispositifs intégrés.

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

SG6

Prérequis



Notions de base d'électronique (amplificateur opérationnels) - Anglais scientifique

Plan détaillé du cours (contenu)

CM = 12h

CM1 – Panorama des MEMS (applications : capteurs, actionneurs, transducteurs, acteurs principaux)

CM2 – MEMS et mécanique

CM3 – Détection et interface élec

CM4 – Actionnement et interface élec

CM5 – Résonance et dissipation

CM6 – Fabrication

CM7 – Intégration et packaging

CM8 – Grandeurs d'influences, calibration et test

TD = 9h

PC1 et PC2. Accéléromètre pendulaire (optimisation sensibilité / instabilité / étendue dynamique) - modélisation et simulation Coventor (3h)

PC3 et PC4. Gyroscope résonant (résolution / asservissement / détection résonante) - modélisation et simulation Coventor (3h)

PC5 et PC6. Simulation de process et packaging - modélisation et simulation Coventor (3h)

Séminaires = 3h (exemples)

S1 - Focus sur une application / un process

S2 - Focus sur une entreprise

Projets = 9h (exemples)

Optimisation (mécanique, électronique) et conception de dispositifs MEMS

Réduction d'ordre de modèle de phénomènes multi-physiques

Caractérisation / test / reverse engineering de capteurs MEMS

Fabrication de dispositifs MEMS (au C2N)

Bibliographie / état de l'art / étude de marché sur des applications MEMS

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux (12h), PC (9h), séminaires (3h), projets (9h)

Cours et supports en anglais

Organisation de l'évaluation

QCM sur cours magistraux / PCs (50%) Rapport de projet (50%). En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.



Support de cours, bibliographie

Practical MEMS, V. Kaajakari, Small Gear Publishing, 2009
Inertial MEMS, principles and practice, V. Kempe, Cambridge University Press, 2011
Micro Mechanical Transducers, Pressure sensors, Accelerometers and Gyroscopes, M.-H. Bao, Elsevier, 2000
Micromachined Transducers Sourcebook, G. T. A. Kovacs, McGraw-Hill, 1998

Moyens

Logiciel MEMS+ Coventor (accès à 50 licences gratuites accordé par l'entreprise)
Composants MEMS, salle et matériel (test notamment) pour projets
Accès salle blanche C2N
1 Run MEMS (techno SOIMUMPS)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Connaître les principaux types de capteurs / actionneurs MEMS et leurs applications
Connaître les principaux procédés de fabrication, d'intégration et de packaging des dispositifs MEMS
Connaître les principaux phénomènes physiques mis en jeu à l'échelle micro (mécanique, transduction, dissipation, bruit)
Comprendre globalement le fonctionnement des capteurs inertiels MEMS (accéléromètres, gyroscopes), de la physique, à l'électronique et aux lois de commande.
Etre capable de dimensionner un tel système, et de le simuler à l'aide d'un outil de conception métier

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



2EL2610 – Théorie des communications

Responsables : Sheng YANG
Département de rattachement : TÉLÉCOMMUNICATIONS
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les communications numériques entre les personnes étendues aux capteurs, machines, véhicules ou objets sont des vecteurs de transformation pour un grand nombre de secteurs avec des cas d'usages et des besoins spécifiques (télécommunications, spatial, transports, énergie, santé, industrie, villes..). Les quantités d'informations échangées et les besoins de connectivité augmentent de façon vertigineuse et les réseaux sont en grande mutation pour permettre l'échange d'informations dans des conditions reconfigurables et adaptables à de multiples scénarios applicatifs.

Ce cours donne les outils théoriques et méthodologiques pour modéliser, analyser, concevoir, évaluer et optimiser les éléments constitutifs d'une communication ou d'un système de communication. La théorie des communications permet de comprendre les limites asymptotiques de ce qui est possible. Elle donne également des outils méthodologiques pour construire des traitements tels que coder, protéger, transmettre un message via un canal physique et les restituer avec une qualité requise (fiabilité, latence...), en tenant compte des propriétés intrinsèques de la source, des propriétés intrinsèques du canal (distorsions, bruits, capacité...) et des limitations technologiques ou réglementaires (efficacité spectrale, complexité, capacité de stockage, coût, puissance, consommation...). De nombreux exemples d'application permettent de comprendre les paramètres à optimiser pour de multiples usages : maximiser l'efficacité spectrale de la diffusion sur câble pour par radio de contenus multimédias, obtenir du très haut débit sur fibre optique ou sur des liens radio, garantir une grande fiabilité, garantir une faible latence, privilégier une très faible consommation énergétique...



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

SG6

Prérequis

- Modélisation
- Traitement du Signal
- Statistiques et apprentissage

Plan détaillé du cours (contenu)

1- Vue d'ensemble d'un système de communication

Éléments constitutifs d'une chaîne de communication numérique (source, émetteur, canal, récepteur, destinataire).

Interfaces et protocoles de communication.

2- Représentation des signaux, information et codage (compression)

Représentation de signaux à temps continu. Théorème de l'échantillonnage et quantification.

Espaces des signaux, formes d'onde et séquences numériques. Modèles de sources et propriétés.

Information, entropie et codage de source. Méthodes de construction de codes de source.

Exemples d'algorithmes de compression de données, images et sons (Lempel-Ziv, JPEG, MP).

3- Communications numériques

Modèles de canaux de transmission à temps continu et propriétés.

Canal à bruit blanc additif gaussien.

Modulations numériques. Critère de Nyquist. Signaux modulés et équivalents en bande de base.

Règles de décision optimales. Architecture des émetteurs-récepteurs.

Analyse des performances : occupation spectrale, rapport signal à bruit, débit d'information et probabilité d'erreur.



4- Canaux de communication et codage canal (protection)

Modèles de canaux à temps discrets et équivalences.

Information mutuelle. Capacité d'un canal de communication au sens de Shannon.

Codes linéaires algébriques, codes convolutifs, codes LDPC, codes polaires.

Décodage à décisions dures ou souples. Algorithme de Viterbi.

Analyse des performances des codes (rendement, probabilité d'erreurs de décision résiduelles).

5- Optimisation d'un système de communication

Conception d'une chaîne de communication par blocs.

Optimisation des paramètres pour un objectif de performance cible.

Simulation et évaluation de performance de bout en bout.

Déroulement, organisation du cours

Cours (19,5 H)

TD (7,5 H)

TP (6H)

Contrôle final (2H)

Organisation de l'évaluation

Compte Rendu TP (30%) Contrôle final : examen écrit (70%) En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Support de cours, bibliographie

- R.G. Gallager. Principles of digital communication. Cambridge University Press; 2008.
- A. Lapidoth. A foundation in digital communication. Cambridge University Press; 2017.
- T.M. Cover, J.A. Thomas. Elements of information theory, Wiley, 2nd edition, 2005.



Moyens

Equipe enseignante:

- Sheng Yang pour les cours magistraux
- Sheng Yang, Richard Combes, Koen De Turck pour les TD
- Sheng Yang pour les TP

Taille des TD : 25-35 élèves par groupe (max. 3 groupes)

Outils logiciels : Matlab, Python

Salles de TP : Département Télécommunications

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, les élèves apprendront les principes mathématiques des systèmes de communication modernes, importants à la fois pour continuer leurs études dans le domaine et pour leurs carrières en tant qu'ingénieurs. En particulier, les élèves seront capables de

- modéliser, analyser, concevoir et optimiser les composants clés d'un canal de communication point à point,
- construire des codes simples avec des méthodes de codage de source et de canal dans diverses situations,
- construire un décodeur / détecteur optimal pour le récepteur,
- manipuler l'espace vectoriel des sources d'informations et des signaux de communication.

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



2EL2620 – Réseaux de communication mobiles et services

Responsables : Mohamad ASSAAD
Département de rattachement : TÉLÉCOMMUNICATIONS
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les réseaux de communication se sont déployés à l'échelle du globe en moins d'un demi-siècle. La mobilité est un élément important pour les besoins de connectivité croissante (*any where, any how, any time*). Traditionnellement spécialisés, les réseaux sont en grande (r)évolution pour accompagner la transformation de nombreux secteurs dits verticaux (télécommunications, transports, énergie, santé, agriculture, industrie...). En grande mutation, les réseaux évoluent vers des réseaux logiciels programmables, une convergence cloud et réseaux et une virtualisation des fonctions réseaux.

L'objectif de ce cours est comprendre les architectures des réseaux actuels et une vision prospective des évolutions, les procédures pour gérer la mobilité et le partage des ressources d'un accès radio. Ce cours présente les fondements théoriques et les outils utilisés pour la conception, l'optimisation, le déploiement et la gestion des systèmes et réseaux de communication.

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

SG6

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)



- Introduction générale et architectures des réseaux mobiles
 - Normes et organismes de régulation. Allocation du spectre.
 - Services (téléphonie, VoIP, diffusion de contenus multimédia). Nouveaux services (IoT, usine du futur, etc.
 - Introduction aux réseaux cellulaires (GSM, UMTS, LTE, 5G).
- Concept Cellulaire
 - Concept Cellulaire : Modèles de propagation. Techniques d'accès radio
 - Gestion des ressources Radio: Contrôle de puissance. Gestion des interférences. Optimisation.
 - Dimensionnement de réseau, déploiement, optimisation.
- Gestion de la mobilité et Qualité de service
 - Trafic et Qualité de service. Qualité d'expérience. Qualité de la couverture et de la connectivité.
 - Modèles de trafic et dimensionnement : loi d'Erlang, modèle de file d'attente, etc.
 - Gestion de la mobilité : Transfert des communications (Handover), adressage et routage, Itinérance (Roaming).

Déroulement, organisation du cours

Déroulement, organisation du cours (séquençage CM, TD, EL/TP...) :

- Introduction générale aux réseaux sans fil : 3h (CM)
- Concept Cellulaire et accès radio: 6h (CM) – 3h (TD) – 3h (TP)
- Gestion de la Mobilité et Qualité de Service : 9h (CM) – 3h (TD) – 6h (TP)

TP 1 : Performance des techniques d'accès radio

TP 2: Capacité et couverture d'un réseau sans fil (3h)

TP 3 : Ingénierie de trafic et dimensionnement des réseaux (3h)

Organisation de l'évaluation

Examen écrit (évaluation des acquis 1 à 4): 2h – 70% de la note finale TP

(évaluation des acquis 2, 3 et 5): 30% de la note finale

Support de cours, bibliographie

1- Harri Holma, Antti Toskala, LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2011.

2- S. Stanczak, M. Wiczanowski and H. Boche, Fundamentals of Resource Allocation in Wireless Networks, Second edition, Springer 2009.

3- H. Holma and A. Toskala, WCDMA for UMTS, John Wiley & Sons, 2004.



- 4- R. Van Nee and R. Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communications, 2000.
- 5- T. Bonald, M. Feuillet, Network Performance Analysis, Wiley, 2011.
- 6- 3GPP Specifications.

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Mohamad Assaad, Salah Eddine Elayoubi
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) :25
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Matlab
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) :

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

1. connaître l'architecture et les différentes fonctions des réseaux sans fil
2. modéliser un réseau cellulaire avec ses fonctions principales.
3. dimensionner un réseau cellulaire
4. connaître les principes de la gestion de mobilité et de la qualité de service dans un réseau sans fil
5. implémenter des modèles de réseaux cellulaires et de gestion de mobilité sous Matlab

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les acquis d'apprentissage 1, 2 et 4 permettent d'atteindre le jalon 1 de la compétence C1.1, c'est-à-dire « Savoir faire la liste des paramètres influents sur le système étudié, la liste des éléments avec lesquels il est en relation » et « Savoir identifier les paramètres importants vis-à-vis du problème posé ». Les acquis d'apprentissage 3 et 5 permettent d'atteindre le jalon 1 de la compétence C1.2, c'est-à-dire « Savoir utiliser un modèle présenté en cours de manière pertinente. Faire le choix d'hypothèses simplificatrices adaptées au problème étudié ». L'acquis d'apprentissage 5 permet aussi d'atteindre le jalon 2B de la compétence C1.3, c'est-à-dire « Connaitre les limitations des simulations numériques et ce qu'on peut en attendre, savoir critiquer des résultats de simulations numériques ».



2EL2630 – Applications de la physique statistique et quantique aux sciences de l'information

Responsables : Zeno TOFFANO

Département de rattachement : PHYSIQUE, TÉLÉCOMMUNICATIONS

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences fondamentales

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours constitue une ouverture aux théories et techniques mathématiques, informationnelles et statistiques issues de la physique statistique et quantique utilisées dans les sciences de l'information.

Ces techniques sont aujourd'hui couramment appliqués dans de nombreux domaines liés au traitement de l'information, les réseaux de neurones et l'apprentissage profond, le traitement d'images, les télécommunications, le web sémantique, l'intelligence artificielle, la biologie computationnelle... mais aussi d'une façon plus générale dans les sciences humaines et sociales avec par exemple des applications dans le traitement du langage naturel et en finance.

Les notions d'entropie et d'information sont centrales dans cette approche. Par exemple l'étude des systèmes désordonnés de spin est appliquée au traitement de l'information discrète et à l'inférence statistique avec des applications importantes par exemple en télécommunications. Plus récemment les techniques opérationnelles utilisant l'information quantique ont montré leur avantage par rapport aux méthodes classiques, l'exemple emblématique étant l'ordinateur quantique.

Le cours proposé, par nature transdisciplinaire, a pour but d'établir des connexions entre la formation en mathématique et en physique et les applications technologiques de pointe, tels que les communications numériques, le traitement des données, l'apprentissage algorithmique ou encore le calcul et l'information quantique.

Il est destiné aux étudiants désireux de se familiariser au travail de



recherche et d'ingénieur dans des domaines scientifiques et technologiques de pointe dans un environnement numérique.

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

SG8

Prérequis

analyse et probabilités, algèbre linéaire, physique quantique et statistique et modélisation.

Notions souhaitées en théorie de l'information, apprentissage, théorie des communications, algorithmique et complexité.

Plan détaillé du cours (contenu)

Panorama et concepts généraux

- Panorama scientifique, historique et applicatif autour de l'évolution du concept d'entropie en physique et en théorie de l'information.
- Evolutions récentes : de la physique aux sciences de l'information et des communications à l'intelligence artificielle en passant par les sciences sociales et du vivant.

Physique statistique, inférence, et calcul

- Equilibre thermodynamique comme instrument de calcul : champs et potentiels de Gibbs, machines de Boltzmann, moments et cumulants, graphes de Feynman, méthode des répliques.
- Modèles d'interactions locales (Ising et généralisations) et inférence bayésienne. Application à l'estimation d'images bruitées.
- Modèles dynamiques markoviens et graphes : algorithme de propagation de croyance, factor graphs, performances de modèles neuronaux, analyse des transitions de phases des systèmes complexes.

Physique statistique et théorie de l'information et de la communication

- Mesures d'information : entropie de Shannon, entropie relative, différentielle, information mutuelle, inégalités, autres formes d'entropie (Fisher, Renyi, Tsallis...).
- Théorie de l'information et communication : compression des données, entropie d'une source, théorème de capacité et du codage d'un canal de communication.
- Statistique et théorie de l'information : grandes déviations, physique des théorèmes de codage, interprétation par la physique statistique des mesures informationnelles, problèmes d'optimisation.

Information quantique

- Conséquences des postulats de la mécanique quantique : problème de la mesure quantique, superposition et composition quantique, entropie de von Neumann, non-clonage et intrication.
- Calculs quantiques : qubits et circuits quantiques, calculs parallèles et



probabilistes, algorithmes quantiques pour l'inférence et l'optimisation, marches aléatoires quantiques.

- Applications : communications et cryptographie-quantique, correction des erreurs quantiques, estimation et tomographie quantique, contrôle quantique, optimisation et apprentissage quantique.

Déroulement, organisation du cours

27 HPE de cours magistraux (18 cours de 1H30 chacun)

6 HPE de TD (4 TD de 1H30)

Organisation de l'évaluation

2 HPE examen de 2h00 (avec documents)

Support de cours, bibliographie

Nishimori H., "Statistical Physics of Spin Glasses", Clarendon 2001.

Chung F.K., Spectral Graph Theory, AMS 1991

Opper M., Saad D. (Eds.) Advanced Mean Field Methods, MIT 2001

Mézard M., Montanari A., "Information, Physics, and Computation", Cambridge, 2009.

Nielsen M., Chuang I., "Quantum Computation and Quantum Information", Cambridge, 2001

Jaeger G., "Quantum Information: An Overview", Ed. Springer 2007.

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours) :

A.O. Berthet , M. Pourmir , Z. Toffano

- Taille des TD (par défaut 35 élèves)
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Matlab, Python
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) :

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- 1) Comprendre dans un contexte pluridisciplinaire l'importance et l'impact du concept classique ou quantique d'Entropie
- 2) Interpréter grâce à l'aide des outils mathématiques de la Physique Statistique classique et quantique des cas concrets par exemple dans le domaine des télécommunications, du big data ou de la finance.
- 3) Proposer des solutions pour des problèmes innovants grâce aux moyens de l'inférence statistique, des différents critères d'optimisation et de l'information quantique appris pendant le cours.
- 4) Implémenter des modélisations dans un environnement informatique.



Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les acquis d'apprentissage 1 et 2 permettent d'atteindre le jalon 1 de la compétence C1.1, c'est à dire "Savoir faire la liste des paramètres influents sur le système étudié, la liste des éléments avec lesquels il est en relation" et "Savoir identifier les paramètres importants vis-à-vis du problème posé". les acquis d'apprentissage 3 et 4 permettent d'atteindre le jalon 1 de la compétence C 1.2, c'est-à-dire "Savoir utiliser un modèle présenté en cours de manière pertinente. Faire le choix d'hypothèses simplificatrices adaptées au problème étudié".

L'acquis d'apprentissage 4 permet aussi d'atteindre le jalon 2B de la compétence C 1.3, c'est-à-dire "Connaître les limitations des simulations numériques et ce qu'on peut attendre, savoir critiquer des résultats de simulations numériques".



2EL2710 – Design your way

Responsables : Catherine CHAPUIS, Fabienne BERGE
Département de rattachement : LEADERSHIP ET MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR
Langues d'enseignement : ANGLAIS, 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) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours aborde les fondamentaux de connaissance de soi (fonctionnement intellectuel et relationnel) et intègre les principes du Design Thinking au service de la construction de ses choix et de son parcours, en s'appuyant notamment sur les travaux du Life Design Lab de Stanford, bien apprécié des étudiants. Il permet de faire un travail sur l'estime de soi, et la préparation des choix importants à venir. Il offre également un cadre d'intégration de différents apprentissages réalisés à l'école (en cours, ateliers API et APP, associations, temps forts sportifs...). Ce cours aborde la question de la liberté et responsabilité de chacun dans son parcours à l'école, ses choix d'orientation, ou bien la façon d'exercer son futur métier d'ingénieur, à partir de temps d'introspection guidée/réflexion sur des situations concrètes exposées (témoins, vidéos, apports théoriques). Il mène à une prise de conscience et une capacité de questionnement individuel sur l'adéquation entre ses actes et décisions, et ses valeurs propres.

Il implique un engagement et travail individuel conséquent (lectures, et Travaux Inter Séances).

Objectifs de l'électif : prise de conscience de son propre fonctionnement individuel ainsi que celui des autres, pour une meilleure autonomie et résilience face aux choix et différentes étapes de la vie étudiante, puis professionnelle. Eveiller les étudiants sur ce qui influence leur prise de décision, ceci dès leurs choix de cursus et d'emploi. Avoir confiance et inspirer confiance.



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

SG6 (en semaine bloqué) et SG8

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1 – Mon passé et mon présent : Module connaissance de soi : Intro qui constate la difficulté de se relier à soi (ref à Edgard Morin, Henri Bergson) dans le monde actuel volatile, complexe, incertain - Questionnaire de préférences Myers Briggs Type Indicator qui permet de repérer nos préférences profondes (au quotidien, avec les autres, dans nos environnements de travail) – Cours sur les intelligences multiples : repérer ses ressources parmi les différentes formes d'intelligences recensées (8) afin de m'en servir au mieux – Temps de réflexion sur mes valeurs et leviers de motivation à mettre au cœur de mon projet de vie - temps d'intégration des différents apprentissages (cours, API, APP, associations, sports, rencontres entreprises, stage op...).

2 – Mon futur : Utilisation d'outils de Design Thinking pour découvrir et développer sa capacité à générer des nouvelles idées lorsqu'on est bloqués face à un choix, et pour adopter la bonne attitude face à la fin d'un cycle (fin des études, fin d'un job ou d'un stage) afin de préparer le rebond vers le cycle suivant - Exercice de rédaction (life view / work view) - Travail de réflexion sur 3 scénarios futurs possibles (tranche de 5 ans) – Temps d'intégration des différents apprentissages à l'école (cours, API, APP, associations, sports, rencontres entreprise, stage op..).

Organisation de l'évaluation

Présence – Implication – Productions personnelles et d'équipe (rédictions + video) entre chaque séance - lecture de livre et présentations

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Fabienne Bergé - Catherine Chapuis
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 35 élèves maxi

Acquis d'apprentissage visés dans le cours



A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de : mieux faire ses propres choix, se présenter à des recruteurs, être moins dépendant du regard des autres, être agile dans un monde volatile et incertain où il faut savoir se situer, mieux évaluer ses priorités et acquérir de bons réflexes pour gérer les ruptures ou rebonds à opérer au cours de la vie professionnelle, acquérir une meilleure capacité de recul, développer sa capacité à générer des idées.

Compétences travaillées : C3, C7.2, C7.3, C9

Description des compétences acquises à l'issue du cours

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

C7.2 : Comprendre les besoins et les attentes de ses interlocuteurs. En tenir compte de façon évolutive. Susciter des interactions. Créer un climat de confiance

C7.3 : Convaincre en travaillant sur soi. Etre à l'aise. Se montrer convaincu. Manifester de l'empathie. Gérer ses émotions; Convaincre en travaillant les techniques de communication

C9 : Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.



2EL2720 – Tutorat de jeunes en situation de handicap

Responsables : Lionel HUSSON

Département de rattachement : LEADERSHIP ET MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR

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) : 30

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le tutorat handicap est une action pédagogique et solidaire qui consiste à aider des jeunes handicapés (en collège, lycée ou université) à dépasser des obstacles et favoriser leur accès à la formation supérieure et à l'insertion professionnelle. Conduite avec la supervision et l'aide d'experts, c'est une situation d'apprentissage expérientiel qui prépare les tuteurs, élèves de l'école, aux sujets de la diversité, tout en développant plus globalement leurs capacités d'adaptation, de responsabilité et managériales.

Enseignement également accessible en 1A sans que cela ne donne lieu à un remplacement de module de sciences pour l'ingénieur

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

SG8

Prérequis

Pas de prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Comprendre le handicap et ses conséquences pour des élèves et sur la conduite de leurs études
2. Savoir définir le cadre et adopter la bonne posture pour engager et conduire un tutorat



3. Réaliser, vivre et adapter le tutorat avec un ou plusieurs jeunes en situation de handicap
4. Prendre du recul sur l'expérience vécue, formaliser les acquisitions des tutorés et du tuteur

Déroulement, organisation du cours

Le tutorat se décline en 2 dispositifs

- Tutorat collectif : en partenariat avec Sopra-Steria. Un groupe de tuteur accompagne un groupe de jeunes, pour les aider à préciser leurs projets de formation, prendre confiance en soi et s'épanouir dans un groupe.
- Tutorat individuel : en partenariat avec l'association Fedeeh . Un tuteur accompagne un jeune, sous la forme soutien scolaire. Les séances se déroulent selon les disponibilités des tuteurs-tutorés
- Formation préalable au tutorat :
 - E-learning : SPOC « handicap »
 - 1 journée (6h) de sensibilisation et de mise en situation sur le handicap
 - 1 séance (3 h) d'atelier de formation et de mise en situation sur la conduite de tutorat
- Environ 10 séances de tutorat (1h30 chacune) à réaliser au sein des établissements partenaires pendant l'année scolaire selon un rythme typiquement hebdomadaire et adapté aux besoins des tutorés
- 1 séance (3h) de suivi et de partage d'expériences à mi-parcours
- 1 séance (3h) de bilan et présentation des tutorats réalisés

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu (participation aux séances de formation ; réalisation des séances de tutorat et compte rendu) 50% + évaluation finale (rapport « journal d'apprentissage » et présentation orale) 50%

Pour le premier acquis d'apprentissage seules la connaissance ou l'application simples sont requises, il sera évalué sous forme de questions de cours, de QCM en contrôle continu.

Les deux acquis d'apprentissage suivants nécessitent que les élèves mettent en pratique des séances de tutorat et prennent du recul par rapport aux situations rencontrées. Ils seront évalués dans deux situations : en contrôle continu sur la base du déroulement des séances (CR de préparation-déroulement et bilan de séance) et en évaluation finale en produisant un rapport (« journal d'apprentissage » illustrant les acquis au regard de situations rencontrées et d'une analyse réflexive) complété d'une présentation orale



Support de cours, bibliographie

e-learning « handicap » et livret du tuteur

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Lionel HUSSON et formateurs de Sopra-Steria et de la Fedeeh
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : max 24
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : non
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : non

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Comprendre ce que recouvre le handicap : types de handicap, conséquences pour les personnes et les enjeux sociétaux pour l'école et le monde professionnel.
- Mobiliser des capacités pédagogiques, relationnelles et organisationnelles pour structurer et conduire une activité de travail efficace avec une ou plusieurs personnes
 - 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
 - en travaillant sur soi. Être à l'aide. Se montrer convaincu. Manifester l'empathie. Gérer ses émotions.
- Comprendre comment agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique
 - comprendre et analyser les conséquences possibles de ses choix et ses actes
 - percevoir le champ de responsabilité des structures auxquels on contribue, en intégrant les dimensions environnementales, sociales et éthiques
 - agir avec éthique, intégrité et dans le respect d'autrui
 - faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques



Description des compétences acquises à l'issue du cours

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

- Comprendre ce que recouvre le handicap : types de handicap, conséquences pour les personnes et les enjeux sociétaux pour l'école et le monde professionnel.

- Mobiliser des capacités pédagogiques, relationnelles et organisationnelles pour structurer et conduire une activité de travail efficace avec une ou plusieurs personnes
 - 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
 - en travaillant sur soi. Être à l'aide. Se montrer convaincu. Manifester l'empathie. Gérer ses émotions.

- Comprendre comment agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique
 - comprendre et analyser les conséquences possibles de ses choix et ses actes
 - percevoir le champ de responsabilité des structures auxquels on contribue, en intégrant les dimensions environnementales, sociales et éthiques
 - agir avec éthique, intégrité et dans le respect d'autrui
 - faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques



2EL2730 – Electif associatif

Responsables : Ludovic-Alexandre VIDAL, Guillaume MAINBOURG,
Géraldine CARBONEL

Département de rattachement : LEADERSHIP ET MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR

Langues d'enseignement :

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) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet électif a pour objectif de valoriser des compétences acquises par l'élève au travers de ses lourdes responsabilités et son engagement associatif. Il est donc spécifiquement pensé selon les compétences à valider par l'élève après avoir examiné au préalable le projet de l'élève. La sélection pour cet électif se fait par entretien préalable pour être certain de la validité du projet en terme de validations de compétences.

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

SG6

Prérequis

Appartenance à une association / à un projet associatif précis.

Plan détaillé du cours (contenu)

Travail sur la maîtrise de ces compétences / connaissances via l'établissement de livrables concrets définis au préalable avec les encadrants et relatifs à l'association / au projet, ceux-ci devant permettre de bien évaluer l'acquisition de compétences.

Déroulement, organisation du cours

Spécifique à chaque étudiant.

**Organisation de l'évaluation**

Etablissement de livrables précis présentés et validés sous le mode rapport / soutenance et délivrance des livrables.

Moyens

Encadrement / regard extérieur / conseils / mise en relation éventuelle avec des professionnels permettant d'augmenter le niveau de compétences.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Spécifique au cas de chaque étudiant.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Spécifique à chaque étudiant, mais les compétences C4, C6, C7, C8 et C9 sont a priori validables dans cet électif.



2EL5010 – Introduction à l'ingénierie des applications mobiles

Responsables : Virginie GALTIER
Département de rattachement : CAMPUS DE METZ
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le marché des applications mobiles est un de ceux présentant la plus forte croissance et les analystes prévoient que cette tendance se maintienne quelques années car les smartphones trouvent leur place dans deux domaines eux-mêmes en émergence : la réalité virtuelle et augmentée (grâce à leurs capteurs tels que le gyroscope ou les accéléromètres), et l'Internet des objets (IoT) et la domotique (grâce à leurs connexions WiFi ou Bluetooth).

Cet électif se concentre sur la phase de développement d'une application mobile, en aval de la spécification de ses fonctionnalités et avant son éventuelle publication sur un store. Deux stratégies principales seront présentées : l'application web, aux fonctionnalités limitées utilisable aussi bien sur Android que sur iOS, et l'application native, plus performante mais demandant des développements plus spécifiques. Le cours fait une large part à la mise en pratique, sur Android pour illustrer le développement d'applications mobiles natives et avec React (par exemple) pour illustrer le développement de progressive web apps. Optionnellement, les étudiants pourront aussi s'initier à la sécurisation des applications Android.

Les connaissances et savoir-faire acquis durant ce cours pourront être utiles à la réalisation de certains projets liés au cursus, aux associations des campus ou en entreprise.

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

SG6



Prérequis

1CC1000 –Systèmes d'Information et Programmation

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction

- Présentation des différentes stratégies de développement d'applications pour mobiles
- Présentation des concepts de la programmation orientée objets en Java

Développement d'applications Android

- Présentation du système Android
- Outils de développement
- Conception et implémentation d'applications à base d'Activities, Layouts et Services

Introduction au développement d'applications web

- Découverte d'HTML5, JavaScript et CSS
- Conception et implémentation d'une application web simple

Introduction à la sécurisation des applications Android

- Présentation de vulnérabilités classiques
- Mécanismes de protection

Déroulement, organisation du cours

Le cours est essentiellement constitué de séances de "learning by doing" animées par les enseignants et par des industriels. L'introduction à la sécurisation des applications android se fera sous forme d'un escape game.

Organisation de l'évaluation

Les compétences acquises par l'élève durant l'électif seront évaluées sur la base d'un court contrôle écrit individuel final de type "questions de cours" (1/4), sur la réalisation d'une application Android personnelle mais avec quelques éléments imposés (1/2) et sur l'analyse d'une application Android fournie (1/4). L'absence injustifiée au contrôle final donnera lieu à la note de 0 sur cette partie de l'évaluation, sinon elle sera rattrapée sous forme d'un examen oral de 20 minutes. Le retard dans le rendu du travail de développement ou du travail d'analyse sera pénalisé d'un point par jour de retard, la date limite pourra être étendue sur présentation de justificatifs.



Support de cours, bibliographie

- *Head First Android Development*. Dawn Griffiths, David Griffiths. O'Reilly. 2015
- *Building Progressive Web Apps: Bringing the Power of Native to the Browser*. Tal Ater. O'Reilly. 2017
- *HTML, CSS, and JavaScript All in One*. Julie C. Meloni. Pearson Education. 2014

Moyens

Equipe enseignante : Virginie Galtier, Michel Ianotto, Patrick Mercier et conférenciers extérieurs

Taille des TD : 24 élèves

Salles de TP : salles d'informatique du campus de Metz, 24 élèves/salle

Outils logiciels : libres et gratuits

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves devraient être capables de :

- comprendre et coder des programmes orientés objets en Java
- choisir une stratégie de développement selon les objectifs et les moyens
- développer une application web simple
- développer une application native Android simple
- appliquer quelques bonnes pratiques pour la sécurisation des applications Android

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

C3.8 : Savoir concevoir, réaliser et passer à l'industrialisation

C4.1 : Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socio-économiques.



2EL5020 – Introduction au développement d'applications basées sur les services

Responsables : Michel IANOTTO

Département de rattachement : CAMPUS DE METZ

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences fondamentales

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les applications sont de plus en plus construites en assemblant des services. L'objectif du cours est de présenter les architectures sous-jacentes et d'initier les élèves au développement de solutions exploitant, créant et déployant des services.

Les applications d'entreprise accèdent à des données locales ou distantes, leur appliquent une logique métier, avant de présenter ou transmettre les résultats. Pour faciliter leur conception, leur implémentation et leur exploitation, elles peuvent être découpées en couches et composants. La plate-forme JEE (Java Enterprise Edition) est destinée à faciliter le développement de ces applications et leur intégration dans des systèmes d'informations existants. Le cours présentera les principes d'une architecture 3-tiers, avec une mise en œuvre exploitant les principaux composants de la plateforme JEE. L'application sera ensuite déployée dans le Cloud.

L'application peut nécessiter l'accès à des données en ligne. Les pages web constituent une importante source de données mais sont conçues pour des interactions avec un humain. Un processus un peu fastidieux (« web scraping ») doit être mis en place au cas par cas pour qu'une machine (un programme) puisse récupérer les données exposées par des pages web. Heureusement, à l'instar d'Amazon ou eBay par exemple, de nombreux acteurs proposent une autre interface d'accès aux données, centrée sur les ressources ou les traitements et non sur leur présentation graphique. Ces « services web » simplifient la phase de collecte des données et permettent à leurs consommateurs de se concentrer sur leurs cœurs de métier. Ce cours présentera comment découvrir un service, comment l'invoquer, et



éventuellement comment construire une composition de plusieurs services. Il peut également être pertinent d'ouvrir l'application développée à des partenaires (clients, fournisseurs...). Le cours présentera comment leur offrir un tel service : comment concevoir un service, le développer et le déployer, le décrire et le faire connaître.

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

SG8

Prérequis

1CC1000 –Systèmes d'Information et Programmation

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction

- Les architectures n-tiers
- Les serveurs d'applications
- Le modèle MVC

La persistance des données en Java

- Les SGBD
- La spécification JPA
- Mapping objet-relationnel (ORM)

Implémentation de la couche métier

- Conteneurs d'Entreprise-Java-Beans (EJB)
- Implémentation de la couche présentation
- Les JSP et les Servlet

Présentation des services orientés traitement

- Principes architecturaux
- Introduction à XML
- Présentation du protocole SOAP
- Langage de description WSDL
- Mise en pratique : définition d'un contrat de service, développement d'un serveur, publication de l'interface sous forme d'un kit de développement fourni au client

Présentation des services orientés ressources

- Style architectural REST
- Introduction à JSON et OpenAPI



- Mise en pratique : développement d'un client exploitant des services en ligne, développement d'un service, test et déploiement sur le cloud

Déroulement, organisation du cours

Le cours comporte quelques présentations magistrales pour l'introduction des principaux concepts mais utilisera majoritairement des séances de "learning by doing". Un expert industriel viendra éventuellement apporter sa vision métier.

La répartition approximative des "heures présence élève" sera la suivante : 9h de cours, 16h30 de TD sur machine et 9h30 de TP.

Organisation de l'évaluation

L'acquisition des connaissances et compétences sera évaluée régulièrement par de rapides interrogations écrites individuelles pendant les cours et sur la base d'un petit projet réalisé en binôme et présenté à la fin du cours. Pondérations : contrôle continu individuel : 50%, réalisation du projet : 30%, soutenance du projet : 20%. L'examen de rattrapage se fera sous la forme d'un oral avec exercices sur ordinateur. En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Support de cours, bibliographie

- *Java EE : Développez des applications web en Java*. Thierry Richard. ENI. 2017
- *Web Services Foundations*. Athman Bouguettaya, Quan Z Sheng. Springer. 2014

Moyens

Equipe enseignante : Virginie Galtier, Michel Ianotto, Patrick Mercier

Taille des TD : 24 élèves

Salles de TP : salles d'informatique du campus de Metz, 24 élèves/salle

Outils logiciels : libres et gratuits

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves devraient être capables de :

- utiliser un environnement de développement intégré pour développer une application
- réaliser une application en langage Java mettant en œuvre les concepts liés à la programmation orientée objet
- composer des programmes en Java utilisant quelques annotations



- concevoir et développer une application d'entreprise avec la plateforme JEE
- choisir une stratégie de développement d'un service et la mettre en œuvre
- manipuler des données structurées en XML et JSON
- développer un programme exploitant un ou plusieurs services
- déployer une application d'entreprise dans le Cloud

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

C3.7 - Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles

C3.8 - Savoir concevoir, réaliser et passer à l'industrialisation



2EL5030 – Programmer efficacement en C++

Responsables : Frederic PENNERATH
Département de rattachement : CAMPUS DE METZ
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

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.

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.

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

SG8

Prérequis

Le cours ne suppose pas de prérequis autre qu'une exposition aux bases de la programmation dans un langage informatique quelconque.

Plan détaillé du cours (contenu) Partie magistrale :

- Préliminaires : terminal, chaîne de compilation, makefile (1h30)
- Les bases de la programmation C '(1/2): typage, fil d'exécution, pile, tas, fonctions, struct, pointeurs (1h30)
- Les bases de la programmation C (2/2): typage, fil d'exécution, pile, tas, fonctions, struct, pointeurs (1h30)
- Les bases de la programmation objet en C++ : classes et héritage (1h30)
- Notions avancées de programmation objet : polymorphisme, héritage multiple, ... (1h30)
- Notions avancées de gestion mémoire : références (lvalue, rvalue), constness, smart pointers (1h30)
- Programmation fonctionnelle : lambda fonctions, types appelables, exceptions, ... (1h30)
- Programmation générique à base de templates (1h30)
- Programmation générique versus orientée objet (1h30)
- Bibliothèque standard : conception et contenu (1h30)
- Notions avancées de programmation générique (1h30)
- Examen (2h)

Partie pratique :

- TP sur la manipulation mémoire (3h)
- TP sur l'héritage (3h)
- TP sur la programmation fonctionnelle (3h)
- TP sur la programmation générique et la STL (1,5h + 2 x 3h)

Déroulement, organisation du cours

- Cours basé sur des exemples de code



- Partie importante (50%) consacrée aux travaux pratiques de programmation

Séquençage cours : 7x1h30 par HFB puis 4 x 1h30 par FP

Séquençage TP par rapport aux cours : TP1 après C3 (i.e cours n°3), TP2 après C6, TP3 après C7, TP4 après C11

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera sur la base d'un seul examen prévu à la fin du cours.

Cet examen écrit d'une durée de deux heures se fera sans document. Il comprendra un QCM ainsi que des petits exercices de programmation.

L'examen de rattrapage aura lieu selon les mêmes modalités que l'examen initial.

Support de cours, bibliographie

- Site web réalisé par les professeurs
- Effective Modern C++, Scott Meyers, 2014
- Professional C++, Marc Greddore, 2014
- A Tour of C++, Bjarne Stroustrup, 2013

Moyens

- Deux enseignants : Hervé Frezza-Buet et Frédéric Pennerath
- Pas de TD mais uniquement des travaux pratiques sur machine
- Un poste de travail par élève
- Un ou deux groupes de TP d'au maximum 15 étudiants chacun.
- Les TP seront réalisés dans l'environnement Linux et reposeront exclusivement sur des logiciels libres (g++, CMAKE, etc).

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 et bientôt 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



2EL5040 – Big Data : collecte, stockage et analyse de données sur clusters et sur Cloud

Responsables : Stephane VIALLE

Département de rattachement : CAMPUS DE METZ

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences fondamentales

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

La baisse du coût des capteurs favorise leur utilisation fréquente dans tous les environnements (industriels, urbains, transports...), et provoque l'émergence de flux de données brutes. De même les données structurées accessibles sur le web ou dans des archives privées d'entreprises ne cessent d'augmenter. Des technologies "Big Data" ont vu le jour, et ont évolué rapidement, pour gérer, analyser et tirer parti ces sources de données.

- Ce cours présente les environnements du Big Data qui ont émergé pour stocker et interroger ces nouvelles masses de données : notamment des Bdd NoSQL et des environnements distribués comme Hadoop et Spark. Ces environnements sont nés dans les industries innovantes du web, et ont amenés de nouveaux paradigmes de programmation comme Map-Reduce (implanté selon plusieurs variantes).
- Une partie importante du cours est consacré à la conception d'algorithmes de filtrage, d'enrichissement et d'analyse des données stockées dans les environnements du Big Data. La plupart de ces algorithmes sont basés sur le paradigme de programmation Map-Reduce et seront expérimentés lors de TP. Des métriques de performance et des critères de passage à l'échelle de systèmes distribués seront également présentés et utilisés en TP.
- La dernière partie du cours présente des algorithmes de *Machine Learning*, utilisés pour traiter et analyser des ensembles de



données, et qui demandent parfois d'avoir recours à du calcul parallèle massif sur GPU.

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

SG8

Prérequis

- Cours commun "Systèmes d'Information et Programmation" de la SG1 (1CC1000)
- Cours commun "Algorithmique & Complexité" de la ST2 (1CC2000)
- Cours commun "Statistique et Apprentissage" de la ST4 (1CC5000)

Plan détaillé du cours (contenu)

- **Introduction et terminologie (1CM – 1h30):** *Data Engineering vs Data Science*, architectures distribuées matérielles et logicielle, analyse de données à haute performances, parallélisation SMPD vs Map-Reduce.
- **Environnement et technologie Hadoop (1CM – 1h30):** Système de fichiers distribué (HDFS), principe du *Map-Reduce* d'Hadoop, gestion de ressources version 1 avec limite d'échelle, et version 2 optimisée (YARN).
- **Environnement et technologie Spark (3CM – 4h30):** Architecture et mécanismes orientés performances de Spark, algorithmique Map-Reduce simple, algorithmique Map-Reduce pour l'analyse de graphes, bibliothèques Spark-SQL et de traitements de flux.
 - **TD1 & TD2 (3h00)**
 - **TP1 & TP2 (6h00)** sur clusters de PC
- **Métriques et limites de passage à l'échelle (1CM - 1h30):** métriques d'accélération et d'efficacité, critères de passage à l'échelle.
- **Exploration et préparation des données (1CM - 1h30):** problèmes classiques rencontrés avec les données, besoin d'exploration et de préparation des données
- **BdD NoSQL (2CM – 3h00):** Emergence des BdD NoSQL, technologies NoSQL, utilisation de MongoDB
 - **TP3 (3h00)**



- **Introduction aux technologies de Machine Learning (ML) (3CM : 4h30):** classification des algorithmes de ML, algorithmes de clustering, exemples de bibliothèques de ML en Python
 - **TP4 (3h00)**
- **Examen Ecrit (1h30)**

Déroulement, organisation du cours

Les concepts vus en cours seront mis en oeuvre lors de TP sur des clusters Big Data du *Data Center d'Enseignement* de CentraleSupélec. Ces plateformes permettront de manipuler et d'interroger des environnements Spark et MongoDB distribués sur des clusters de PC, et hébergeant de gros volumes de données. Des serveurs de calcul permettront également la mise en oeuvre de bibliothèques de *Machine Learning* dans la dernière partie du cours. Des mesures de performances compléteront l'évaluation des solutions développées en TP.

Composition du cours : 12 CM (18h00), 2 TD (3h00), 4 TP (12h00) et 1 EE (1h30)

Séquencement possible du cours :

- 3CM, 1TD, 1TP, 1CM, 1TD, 1TP, 6CM, 1TP, 2CM, 1TP
- Examen écrit de 1h30

Organisation de l'évaluation

Poids relatifs des différents examens :

- 40% : Rapports de TP. Une absence injustifiée à un TP entraînera une note de 0/20 à ce TP. Une absence justifiée à un TP neutralisera la note de ce TP et augmentera le poids des autres TP.
- 60% : examen écrit final de 1h30, avec documents.

Evaluation des acquis d'apprentissage :

- Le premier ensemble d'acquis d'apprentissage (AA1*) sera évalué par la cohérence de la solution Big Data conçue dans l'examen final.
- Le second ensemble d'acquis d'apprentissage (AA2*) sera évalué à partir des compte-rendu de TP.

Examen de rattrapage : En cas de rattrapage, 100% de la note viendra d'un examen écrit de 1h30, dans la même modalité que l'examen écrit initial.



Support de cours, bibliographie

Supports fournis aux étudiants :

- Slides et polycopié du cours.

Livres suggérés :

- Pirmin Lemberger, Marc Batty, Médéric Morel et Jean-Luc Raffaëlli. *Big Data et Machine Learning*. Dunod. 2015.
- Eric Biernat et Michel Lutz. *Data Science : Fondamentaux et études de cas*. Eyrolles. 2015.
- Bahaaldine Azarmi. *Scalable Big Data Architecture*. Apress. 2016.
- Kristina Chodorow. *MongoDB. The Definitive Guide*. 2nd edition. O'Reilly. 2013.
- H. Karau, A. Konwinski, P. Wendell and M. Zaharia. *Learning Spark*. O'Reilly. 2015.
- Rudi Bruchez. *Les bases de données NoSQL et le Big Data*. 2ème édition. Eyrolles. 2016.
- Tom White. *Hadoop. The definitive Guide*. 3rd edition. O'Reilly. 2013.
- Donald Miner and Adam Shook. *MapReduce Design Patterns*. O'Reilly. 2013.
- Matthew Kirk. *Thoughtful Machine Learning with Python*. O'Reilly. 2017.

Moyens

- 18h00 de cours de *Data Engineering*, incluant la présentation d'environnements standards et distribués de Big Data, et la conception de solutions performantes et passant à l'échelle.
- 3h00 de TD de dimensionnement d'architecture et d'algorithmique *Map-Reduce*.
- 12h00 de TP de mise en oeuvre de logiciels Big Data standard et Opensource (Hadoop HDFS, Spark, MongoDB, bibliothèques de *Machine Learning*), sur des serveurs et clusters de calculs à haute performants (ressources du *Data Center d'Enseignement* de CentraleSupélec).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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



- **[Acquis d'Apprentissage 1* (AA1*)]** Spécifier et concevoir un système complexe et cohérent d'analyse de données large échelle (compétence **C1.4**) :
 - spécifier et dimensionner une architecture matérielle Big Data
 - choisir un environnement Big Data adapté (ex : Spark et certains de ses modules, ou un certain type de Bdd NoSQL...)
 - concevoir un algorithme et une chaîne logicielle Map-Reduce, selon la variante du paradigme Map-Reduce qui est disponible (permettant de nettoyer, préparer, filtrer et interroger de gros volumes de données)
 - optimiser un algorithme Map-Reduce dans un objectif de performance et de passage à l'échelle
 - spécifier et dimensionner une architecture matérielle de Machine Learning (ex : CPU, cluster de CPU, GPU, cluster de GPU...)

- **[Acquis d'Apprentissage 2* (AA2*)]** Evaluer les performances et la robustesse d'une architecture Big Data (compétence **C3.6**) :
 - définir une métrique et une procédure de test de passage à l'échelle adaptée au cas d'utilisation
 - identifier les goulots d'étranglement de l'architecture matérielle et logicielle (en cas d'augmentation du volume de données)
 - identifier les points faibles de l'architecture en cas de panne (*single point of failure*)
 - identifier les types d'imperfections de données perturbant la chaîne d'analyse

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- **C1.4** : Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe (acquis d'apprentissage **AA1***).
- **C3.6** : Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées (acquis d'apprentissage **AA2***).



2EL5050 – Méthodes d'estimations et introduction à la théorie moderne du codage

Responsables : Michel BARRET

Département de rattachement : CAMPUS DE METZ

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences fondamentales

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présente deux problèmes clés de la théorie de la décision : l'estimation pure et la détection. Les notions suivantes seront présentées et mises en œuvre numériquement : formalisation de ces problèmes, influence de la fonction coût, du point de vue (bayésien ou non), de l'information à priori. Les problèmes de l'estimation de la densité spectrale de puissance et de la prédiction d'une série temporelle ergodique seront étudiés en détail. Quatre théorèmes fondamentaux de codage pour des systèmes discrets sans mémoire seront énoncés et démontrés.

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

SG6

Prérequis

- Cours de *Probabilités* de 1A (CIP-EDP, 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)

1. Notions d'estimation (6h de cours)
 - 1.1 Introduction (objectifs de l'estimation, modélisation, point de vue bayésien / non bayésien, exemples)
 - 1.2 Éléments d'estimations bayésiennes (rappel sur les espaces de Hilbert, théorème de projection orthogonale, estimation en moyenne quadratique avec contrainte linéaire)
 - 1.3 Éléments d'estimation non bayésienne (Inégalité de Cramer-Rao, Estimateur du maximum de vraisemblance)
2. Estimation d'un signal dans un bruit additif (3h de TD)
3. Analyse spectrale non paramétrique (3h de TD)
4. Détection (3h de cours)
 - 4.1 Test des hypothèses (présentation du problème, théorie bayésienne, stratégie de Neyman-Pearson, courbes COR)
 - 4.2 Application à la détection d'un signal dans un bruit (décomposition de Karhunen-Loève, détection d'un signal déterministe dans un bruit gaussien)
5. Détection (3h de TD)
6. Filtrage linéaire statistique (1h30 de cours)
 - 6.1 Introduction et préliminaires
 - 6.2 Filtrage de Wiener
7. Filtrage de Wiener avec contrainte linéaire (3h de TD)
8. Prédiction à un pas et passé infini (3h de cours)
 - 8.1 Cas d'un signal dont la densité spectrale de puissance est bornée et admet une factorisation forte
 - 8.2 Cas général, décomposition de Wold
9. Interpolation d'un signal stationnaire (3h de TD)
10. Prédiction à un pas et passé fini (1h30 de cours)
11. Primitives de la théorie de l'information (3h de cours)
 - 11.1 Introduction (source d'information discrète, canal discret, message)
 - 11.2 Quatre problèmes clés de codage (codage canal, approximation canal, codage source distribuée, extraction d'aléa)
 - 11.3 Théorèmes fondamentaux (codage aléatoire (*random coding*), compartimentage aléatoire (*random binning*))
12. Exercices sur les quatre problèmes clés de codage (2h TD)

Déroulement, organisation du cours

18h de cours magistraux + 17h de travaux dirigés + contrôle continu (devoirs à la maison et en classe)

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu (devoirs à la maison et en classe): une évaluation en binôme (ou trinôme) sous la forme Devoir à la maison + TD (analyse



spectrale) + compte-rendu une évaluation individuelle (qcm court).
l'absence non excusée à une évaluation individuelle donne la note 0
l'absence non justifiée en TD donne une pénalité standard du règlement des études
note finale = $1/2 * \text{note1} + 1/4 * (\text{note2} + \text{note3})$
rattrapage: un examen oral

Support de cours, bibliographie

M. Barret, *Traitement Statistique du Signal*, ELLIPSES, 2009.

M Bloch et J. Barros, *Physical-Layer Security*, Cambridge University Press, 2011.

Moyens

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 traiter une large gamme de problèmes concrets d'estimations et de détection, rencontrés dans un contexte scientifique ou industriel. Partant d'un tel problème, ils seront capables :

- de le modéliser en introduisant une fonction coût convenable ;
- de proposer une solution adéquate (i.e., adaptée à l'information a priori disponible) ;
- de prouver l'optimalité de la solution sous certaines conditions qu'ils sauront expliciter ;
- de mettre en œuvre la méthode sur des données et
- de critiquer les résultats obtenus.

De plus, les élèves devront avoir acquis des connaissances de base de la théorie moderne du codage de systèmes discrets sans mémoires (canal, source avec information adjacente au décodeur).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences développées par le 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



2EL5060 – Analyse et traitement de données audio (parole et musique)

Responsables : Stephane ROSSIGNOL
Département de rattachement : CAMPUS DE METZ
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de cet enseignement est d'exposer le corpus des méthodes d'analyse spectrale non-paramétriques et paramétriques, ceci dans le cadre de l'analyse des signaux sonores musicaux et de parole.

L'analyse spectrale est l'un des éléments des chaînes de traitement du signal ; de ce fait elle n'est pas que la simple visualisation des spectres. L'objectif principal est de décider et/ou d'estimer. Quelques exemples : Quelle était la partition originale ? Ou encore : quels instruments sont présents dans l'orchestre ? Quelle est la fréquence fondamentale de tel ou tel son ? Que dit telle personne ? Où se trouve telle autre personne ? Etc. Le choix de telle ou telle méthode d'analyse spectrale est crucial, selon le problème traité.

L'accent est mis sur les différents concepts sous-jacents à chacune des méthodes et leurs performances sont comparées. Cette dernière approche met aussi en relief le concept de modélisation (physique/signal/...), inhérent à une démarche d'ingénierie efficace.

De plus, les outils étudiés le sont dans le cadre de l'observation de l'être humain, qui communique avec ses semblables et son environnement grâce à ses sens. Parmi ceux-ci, la vue et l'ouïe sont les mieux connus, et seuls eux autorisent une approche à distance de l'environnement. Les systèmes de communication (humain à humain, humain à machine ou machine à humain) sont conçus afin d'acquérir et de restituer le plus fidèlement possible ces perceptions. Il est donc utile de connaître et de pouvoir modéliser en détails d'une part le système de perception humain, c'est-à-dire le récepteur (l'oreille, ici), mais également le système de production



du signal concerné par la perception (parole humaine, musique, sons divers), c'est-à-dire l'émetteur.

Les plateformes sonores du campus de Metz (salle d'holophonie et chambre sourde) sont mises à contribution pour les aspects pratiques de ce cours.

Ce cours compte de nombreux domaines d'application : analyses approfondies des séries temporelles ; analyse des sons pour la reconnaissance et le codage ; codeurs phonétiques pour la téléphonie ; outils pour les arts.

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

SG6

Prérequis

- Cours de Traitement du Signal de la ST4 :
 - Traitement du Signal : 1CC4000
 - Statistique et Apprentissage : 1CC5000

- Expérience de programmation :
 - Système d'Information et Programmation : 1CC1000

Plan détaillé du cours (contenu)

- 1. Première partie : les méthodes d'analyse spectrale non-paramétriques (basées principalement sur la transformée de Fourier)
 - 1.1. Approfondissement concernant ces méthodes, déjà vues
 - 1.2. Revue de leurs limites
 - 1.3. Moyens statistiques utilisés pour tirer le maximum de ces méthodes
- 2. Deuxième partie : les méthodes d'analyse spectrale paramétriques
 - 2.1. Introduction à certaines d'entre elles
 - 2.2. Apports par rapport aux méthodes non-paramétriques
 - 2.3. Coût de ces méthodes
- 3. Troisième partie : les sons
 - 3.1. Modèles de perception (l'oreille) et de production (la voix, principalement)



- 3.2. Localisation des sons
- 3.3. Virtualisation des sources sonores (holophonie)

Déroulement, organisation du cours

18h Cours magistral

9h Travaux dirigés (3 heures par partie du cours ; séquençement Cours/TD : 6h C; 3h TD; 6h C; 3h TD; 6h C; 3h TD)

8h Travaux pratiques (sur machines). Un sujet courant sur la séquence.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu (50% de la note, sous forme de 2/3 QCM en début de TD ; 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.
- Connaître les principes de base de la perception des sons (perception cognitive).

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.



2EL5070 – Traitement d'image

Responsables : Jean-Luc COLLETTE
Département de rattachement : CAMPUS DE METZ
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le traitement d'image rencontre de nombreux domaines d'activité, comme l'imagerie médicale, satellitaire ou la robotique pour la localisation dans un environnement. L'étape préalable au traitement d'image est son acquisition. La modélisation des capteurs d'image est donc cruciale pour exploiter au mieux les informations qui pourront en être extraites. Les images peuvent aussi provenir d'un processus de reconstruction comme celui mis en œuvre dans un scanner. La transmission et la compression des images interviennent dans la qualité des résultats de leurs analyses. Il faut donc comprendre ses principes pour les prendre en compte dans ces analyses. Les différents traitements qui peuvent être envisagés sont alors présentés. De nombreuses applications viendront illustrer ce cours afin d'avoir une vue d'ensemble sur les moyens d'exploiter l'information dans l'image.

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

SG6

Prérequis

- Traitement du signal : 1CC4000
- Système d'Information et Programmation : 1CC1000

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Photométrie, colorimétrie, perception visuelle

1.1. Grandeurs radiométriques et photométriques



- 1.2. Modèles perceptuels de l'œil
- 1.3. Synthèse additive et soustractive
- 2. Les capteurs d'image couleur et les dispositifs de restitution**
- 2.1. Modélisation physique
- 2.2. Modélisation géométrique
- 2.3. Calibration
- 2.4. Correction de gamma
- 3. Les autres types d'image**
- 3.1. Imagerie multi et hyper spectrale
- 3.2. Imagerie SAR
- 3.3. Imagerie LIDAR
- 3.4. Aperçu des techniques de reconstruction tomographique (scanner)
- 4. Codage et compression**
- 4.1. Aperçu des transformations orthogonales
- 4.2. Aperçu des transformations en ondelettes
- 4.3. Codage d'image fixe
- 4.4. Codage de séquence d'image
- 5. Amélioration, restauration d'image**
- 5.1. Amélioration du contraste
- 5.2. Atténuation du bruit
- 5.3. Filtrage de Wiener
- 6. Éléments de morphologie mathématique**
- 6.1. Opérateurs élémentaires
- 6.2. Ligne de partage des eaux
- 7. Transformations géométriques et recalage d'images**
- 7.1. Nature des transformations
- 7.2. Métriques pour le recalage
- 7.3. Méthodes spécifiques d'optimisation
- 8. Segmentation d'image et caractérisation des formes**
- 8.1. Approche régions ou contours
- 8.2. Extraction d'attributs
- 8.3. Classification non supervisée

Déroulement, organisation du cours

15h de CM, 6h de TD et 14h de TP.

35 élèves pour les groupes de TD/TP

Organisation de l'évaluation

Un rapport écrit sur les TP sera demandé et une présentation orale de cette activité sera également organisée (prévu pendant les heures de TP). Toute absence injustifiée à une séance de TP sera sanctionnée par une note zéro. La note finale sera la moyenne à part égales de la note individuelle de la présentation orale et de la note du compte-rendu de travaux pratiques.



Le rattrapage se déroulera selon les mêmes modalités que l'examen initial, avec un travail complémentaire demandé en TP et une présentation orale de ce travail.

Support de cours, bibliographie

Polycopié Supélec "Traitement des images", Jean-Luc COLLETTE (réf. 10409)

"Digital Image Processing", William K. Pratt

Moyens

Des cours magistraux seront donnés pour présenter les concepts principaux.

Les applications seront testées sur ordinateur au cours de travaux dirigés.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Savoir identifier les imperfections et les limitations de fonctionnement d'un système d'acquisition d'image.
- Savoir modéliser et caractériser ce système dans le domaine optique.
- Savoir programmer ou utiliser des algorithmes élémentaires de traitement (filtrage, transformations) sur les images numériques en maîtrisant leur complexité.
- Avoir une vue d'ensemble sur les moyens d'exploiter l'information dans l'image.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C3.6 : Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées
- C6.4 : Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle



2EL5080 – Systèmes embarqués électroniques et informatiques robustes

Responsables : Jean-Louis GUTZWILLER
Département de rattachement : CAMPUS DE METZ
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

De nombreux systèmes électroniques sont qualifiés d'embarqués du fait qu'ils interviennent dans un ensemble plus vaste en interagissant avec le monde qui les entoure. L'usage de tels systèmes est tellement répandu que les domaines d'applications sont très variés et les enjeux économiques non négligeables. Ces systèmes nécessitent, pour leur bon fonctionnement, d'étudier les interactions avec leur environnement, non seulement du fait de leur fonction, mais également parce qu'ils peuvent être perturbés par des influences extérieures. La prise en compte des problématiques d'alimentation et d'autonomie (pour un fonctionnement sur batterie par exemple), de température, de taille, de fiabilité ou de durée de vie des composants est indispensable. Ces problématiques sont à gérer autant au niveau de la conception matériel que de la conception logicielle. En outre, les perturbations électroniques sont devenues un enjeu important, au point que la réglementation exige une homologation pour la mise sur le marché.

Ce cours se focalisera particulièrement sur deux points :

- la programmation des microcontrôleurs pour une application devant interagir avec son environnement en temps réel,
- la résistance des systèmes aux perturbations électromagnétiques conformément à la réglementation : ne pas être détruit par des événements puissants, et fonctionner normalement en présence d'événements habituels.

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

SG8



Prérequis

Cours de Traitement du Signal de la ST4 (1C4000). Avoir suivi le cours de sciences pour l'ingénieur 1A de Systèmes Électroniques (1EL8000) peut être un plus.

Plan détaillé du cours (contenu)

En prenant l'exemple d'un système d'acquisition de données, ce cours aborde les notions suivantes :

- Enjeux, contexte économique, réglementation
- Aspects théoriques liés à l'acquisition et à la reconstitution du signal, théorèmes de Shannon et de Nyquist, acquisition hors bande, acquisition I/Q
- Électronique analogique pour le traitement de l'acquisition (amplificateurs, multiplexeurs, filtres, convertisseurs)
- Traitements numériques de base et composants associés ; programmation pour la réalisation des traitements en temps réel
- Fragilité des composants et solutions envisagées
- Perturbations et solutions envisagées

Déroulement, organisation du cours

18h de CM, 15h de TD, 2h d'examen en cas d'exposé (voir la rubrique : méthodes d'évaluation).

Organisation de l'évaluation

En fonction du nombre d'étudiants inscrit à ce cours, il sera demandé :

- Un exposé individuel abordant les thématiques de ce cours pour un composant particulier (s'il est possible d'organiser la session d'exposés)
- Un rapport individuel abordant les thématiques de ce cours pour un composant particulier (si le trop grand nombre d'étudiants ne permet pas d'organiser les exposés).

Des composants seront proposés par le professeur, mais les étudiants pourront choisir d'autres composants que ceux proposés (l'approbation du professeur pour le composant choisi sera requise). Un même composant ne pourra être présenté que par un seul étudiant.

En cas d'insuffisance à l'examen initial, un examen de rattrapage sera proposé qui prendra la forme d'un rapport individuel à rédiger (donc la deuxième forme envisagée ci-dessus pour l'examen initial).



Support de cours, bibliographie

Polycopié « Fonctions, composants et perturbations », Jean-Louis Gutzwiller.

Moyens

Des cours magistraux pour présenter les principes généraux.

Des applications seront testées sur des cartes électroniques pendant des séances de cours dirigés.

Taille des groupes de TD : 24 élèves

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Connaître les mécanismes de perturbation pouvant gêner le fonctionnement des systèmes embarqués
- Connaître les solutions classiques utilisées pour limiter les effets des perturbations
- Choisir entre ces différentes solutions pour résoudre un cas de figure donné
- Concevoir des systèmes embarqués résistant aux perturbations
- Spécifier un système avec les personnes en charge de la conception des cartes électroniques

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C3.4 : Prendre des décisions dans un environnement partiellement connu, gérer l'imprévu, savoir prendre des risques (jalon 2)
- C7.4 : Convaincre en travaillant les techniques de communication, Maîtriser le langage parlé, écrit et corporel. Maîtriser les techniques de base de communication (jalon 2)



2EL5090 – Conception de systèmes électroniques complexes : du composant au système hétérogène

Responsables : Yves HOUZELLE
Département de rattachement : CAMPUS DE METZ
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

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.

Les systèmes électroniques couvrent un vaste domaine d'utilisation, les applications 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 à très hautes fréquences comme les communications radio.

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 de base et la connaissance des outils qui servent à concevoir des systèmes électroniques à la fois analogiques et numériques.

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

SG6

Prérequis

Cours d'Automatique et Contrôle de la ST5. Avoir suivi le cours de sciences pour l'ingénieur 1A de Systèmes Électroniques (1EL8000) peut être un plus.



Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours présentera les composants et les méthodes de synthèses en utilisant les différents outils (et en appréhendant leurs limites) afin de donner aux futurs ingénieurs les moyens d'intervenir dans la conception de systèmes électroniques hétérogènes.

Les concepts seront mis en œuvre pendant les TDs et les TPs qui seront consacrés aux deux applications suivantes :

- la conception d'un visiophone sur fibre optique,
- la réalisation d'une transmission radio numérique avec modulation en largeur d'impulsions.

Déroulement, organisation du cours

Déroulement, organisation du cours (séquençage CM, TD, EL/TP...) : 15h CM + 6h TD + 12h TP.

Organisation de l'évaluation

Il sera demandé un rapport écrit concernant l'activité de TP. L'examen écrit final de 2h comptera pour 70% de la note finale. Le compte rendu de TP comptera pour 30% de la note finale. La session de rattrapage se fera sous la forme d'un examen oral.

Une absence injustifiée en TP sera sanctionnée d'un 0 pour la séance.

Support de cours, bibliographie

- Documentations de composants disponibles sur internet.
- Électronique radiofréquence – Georges Seignier – 10114.
- Introduction à l'électronique analogique – Gilles Tourneur – 17189/01.
- Systèmes logiques et électronique associée – Volume 1 – Jacques Oksman, Jean-Philippe Szlowitz, Philippe Bénabès – 11121/01.

Moyens

Enseignant : Yves Houzelle.

Taille du groupe de TD et TP : 24 élèves.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Connaître les concepts de l'électronique analogique, numérique et radiofréquence : modélisation des composants, polarisation, linéarisation, analyse en grands signaux, bouclage et rétroaction, adaptation d'impédance, logique séquentielle synchrone, comportement en fréquence.



- Maîtriser les principaux outils de CAO, de simulation et de validation.
- Savoir analyser des fonctions électroniques en utilisant les modèles appropriés.
- Savoir concevoir et dimensionner des fonctions électroniques en prenant en compte les interfaces entre composants et avec l'extérieur.
- Savoir spécifier un système électronique, et rédiger un cahier des charges.

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.



2EL5110 – La lumière pour comprendre la matière

Responsables : Ninel KOKANYAN

Département de rattachement : CAMPUS DE METZ

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences fondamentales

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Il existe de nombreuses techniques de caractérisation différentes qui utilisent la *lumière*. Les techniques optiques de caractérisation sont généralement non destructives, rapides et simple à mettre en œuvre, ne nécessitant que très peu de préparation des échantillons. Ces méthodes explorent le changement d'intensité, d'énergie, de phase, de direction ou de polarisation de l'onde lumineuse après interaction avec l'objet étudié. Ces techniques sont aujourd'hui très demandées dans le monde industriel (contrôle qualité, caractérisation de surface, études atmosphériques, analyses alimentaires, biomedical et pharmaceutiques, ...).

Le but principal de ce cours est d'aborder les exemples les plus pertinents des techniques optiques (ellipsométrie, photoluminescence, spectroscopie infrarouge, spectroscopie Raman, etc...) en mettant l'accent sur leur applicabilité, leur utilité et leurs limites. Lors de ce cours, seront évoquées les techniques qui peuvent être utilisées de manière complémentaire et les obstacles qui sont fréquemment rencontrés lors de leur utilisation. Des exemples des applications pratiques et réelles viendront illustrer ces points, en proposant également des suggestions sur la manière dont nous pouvons éviter ces obstacles dans la mesure du possible.

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

SG6

Prérequis

1SL3000 - Cours de physique quantique 1A

Plan détaillé du cours (contenu)



1. Introduction
2. Diffusion de la lumière
3. Spectrophotométrie UV-VIS-NIR
4. Ellipsométrie
5. Interférométrie
6. Réflectométrie
7. Photoluminescence
8. Spectroscopie Infrarouge et spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)
9. Spectroscopie Raman
10. Applications des techniques optiques
11. Exemples d'applications dans industrie, biologie, médecine, nanomatériaux ...

Déroulement, organisation du cours

20h de cours magistral, 6h de travaux dirigés et 8h de travaux laboratoire

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu : QCM (25%), projet (25%), examen final écrit (50%). En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Support de cours, bibliographie

Mauro Sardela, *Practical Materials Characterization*, Springer-Verlag New York (2014)

Jin Zhong Zhang, *Optical Properties and Spectroscopy of Nanomaterials*, World Scientific (2009)

Peter Lasch and Janina Kneipp, *Biomedical Vibrational Spectroscopy*, A JOHN WILEY & SONS, INC. (2007)

Moyens

Equipement du laboratoire LMOPS

Equipe pédagogique : Ninel Kokanyan, Thierry Aubert

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Connaître différentes techniques optiques
- Connaître les principes de fonctionnement de différents composants spectroscopiques
- Concevoir et réaliser un dispositif de mesure optique
- Savoir interpréter des résultats spectroscopiques obtenus
- Identifier la technique de caractérisation adaptée à la fois au matériau et à la grandeur étudiée



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.

C3.4 : Prendre des décisions dans un environnement partiellement connu, gérer l'imprévu, savoir prendre des risques.



2EL5120 – Systèmes photoniques intelligents

Responsables : Delphine WOLFERSBERGER
Département de rattachement : CAMPUS DE METZ
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans le cadre des nouvelles technologies, la lumière est de plus en plus utilisée comme support pour calculer, transporter ou encore stocker de l'information. L'objectif de ce cours est de présenter aux étudiants les développements récents de la « photonique », notamment les lasers et leurs applications dans différents domaines : optique ultra-rapide, télécommunications, traitement tout optique de l'information.

Après quelques rappels de physique ondulatoire, les différents types de sources Lasers seront abordés ainsi que les différents composants d'une chaîne classique de transmission d'informations optiques : des émetteurs (LED et diodes lasers) aux récepteurs (photodiodes). Un TP sur la transmission de signaux (son ou vidéo) sera réalisé pour valider les acquis. Nous aborderons ensuite différentes applications que nous réalisons dans nos laboratoires autour de la lumière : notions de chaos dans les lasers, génération de nombres aléatoires, holographie pour le stockage de la lumière par la lumière...Des visites de laboratoires seront organisées pour permettre aux étudiants une immersion dans le monde de la recherche et de l'innovation.

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

SG8

Prérequis

aucun



Plan détaillé du cours (contenu)

Propriétés physiques des lasers

Principes de base du laser. Cavitité Fabry-Pérot, Conditions de seuil, Rendement. Dynamiques des lasers.

Optique ultra rapide

Génération d'impulsions ultra courtes : Lasers femto-secondes (Laser Ti:Sapphir), Emission de longueur d'onde au moyen d'un Oscillateur Paramétrique Optique (OPO), Mesure d'impulsions au moyen d'un auto-corrélateur optique.

Composants et interfaces optoélectroniques

Émetteurs : Diodes Électroluminescentes (DEL), Diodes lasers, Interface optique d'émission (modulation, bruit, couplage laser-fibre) - Photo-détecteurs : photodiode PIN, photodiode à avalanche.

Principe des télécommunications

Structure des réseaux : réseaux d'accès, réseau de transport, modèles de référence - Répartition du trafic : transmission guidée, transmission non guidée - Accès aux ressources : TDMA, FDMA, CDMA... - Différents médias de communications : concurrence ou complémentarité.

Propagation guidée, fibres optiques

Théorie du guidage : approche géométrique et ondulatoire dans la fibre optique, atténuation et dispersion - Multiplexage temporel - Multiplexage en longueur d'onde : WDM, DWDM - Connectique.

Composants de l'optique non linéaire

Propagation non linéaire et solitons : équation non linéaire de Schrödinger, stabilité - Effet électro-optique - Amplification paramétrique optique - Utilisation dans les systèmes.

Vers des réseaux de télécommunications tout optique

Multiplexage - Amplificateurs - Routage et commutation 100 % optique : micro-miroirs, cristaux liquides, solitons spatiaux.

Déroulement, organisation du cours

30,5h CM et 3h de TP



Organisation de l'évaluation

Evaluation orale (1h30) à la fin du cours sur base d'un exposé en groupes de 2-3 élèves (la note sera individuelle)

Support de cours, bibliographie

Les Composants Optoélectroniques, François Cerf, Hermes Science Publications, Paris 2000.

Fundamentals of photonics, E.A. Saleh, M.C. Teich (ISBN : 978-0-471-35832-9).

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 le fonctionnement des lasers et des applications qui en découlent : l'holographie, la cryptographie à base de lasers...
- d'appréhender les phénomènes physiques qui sont à l'origine du fonctionnement des lasers : notions de seuil, de résonance, de mode, optique gaussienne, impulsion...
- se familiariser avec l'optique ultra rapide : Laser femto-seconde, Oscillateur Paramétrique Optique
- concevoir et réaliser une liaison de télécommunications tout optique de transmission de vidéos/son
- comprendre des notions d'optique non linéaire utilisées pour la réalisation de nouveaux composants optoélectroniques pour les communications optiques.

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



2EL5130 – Chaos, Fractales et complexité

Responsables : Damien RONTANI
Département de rattachement : CAMPUS DE METZ
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les réseaux de neurones, les oscillateurs électroniques et optiques, ou encore les réactions chimiques sont autant d'exemples de systèmes où les variables d'états décrivant leur évolution spatio-temporelle interagissent de façon non-linéaire. La non-linéarité de ces systèmes est à l'origine d'une grande richesse de leurs comportements dynamiques et permet l'observation de phénomènes nouveaux qui intéressent le scientifique et l'ingénieur. On citera par exemple les dynamiques chaotiques, à l'origine de l'impossibilité de fournir des prédictions météorologiques fiables sur le long terme, ou encore à l'origine de phénomènes collectifs dits émergents telles que la synchronisation dont les applications sont multiples notamment dans les neurosciences pour comprendre et le traiter des troubles cognitifs.

Ce cours donnera donc à l'étudiant les éléments de base de ce que l'on appelle plus généralement la science de la complexité. Il sera illustré par de nombreux cas concrets tirés des travaux de recherches à visée applicative, ce qui permettra à l'étudiant de comprendre et mettre en oeuvre les techniques analytiques et numériques nécessaires à la résolution de problèmes simples.

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

SG8

Prérequis

Notions d'Algèbre linéaire et d'Analyse réelle (niveau L2).



Physique générale (Electricité, mécanique, dynamique des fluides) (niveau L2)
Modélisation (1CC3000 : Théorie et Analyse des systèmes dynamiques linéaires, équations différentielles ordinaires et aux dérivées partielles).

Plan détaillé du cours (contenu)

Perspective historique et Introduction (1.5h)

Découverte de la théorie du chaos de H. Poincaré à E. Lorenz
B. Mandelbrot et les Fractales
Observation de phénomènes « complexes » en physique, chimie, biologie, mécanique

Introduction générales aux systèmes non-linéaires et théorie du chaos (10h)

Présentation des outils mathématiques (Map, ODE, analyse de stabilité)
Notion d'attracteurs : Points fixes, cycles limites, Tores
Bifurcations et diagramme de bifurcations
Route vers le Chaos et attracteurs étranges. Notion d'exposants de Lyapunov.

Cas des systèmes non-linéaires à retard. Description par équations différentielles à retard. Importance en biologie et physique. Application à des systèmes optoélectroniques.

Introduction aux Fractales (1.5h)

Introduction à la théorie des fractales. Autosimilarité et notion de dimension fractale (Hausdorff). Ensemble de Cantor, de Mandelbrot et de Julia.

Phénomènes Complexes – Introduction à la physique des réseaux (11.5h)

Définition des réseaux physiques. Exemple en biologie (métabolisme, génétique, neurosciences) et ingénierie (transport, énergie)
Phénomènes collectifs et émergents. Notion de synchronisation.
Exemples de synchronisation en biologie et physique
Modèle simplifié de Kuramoto.

TD (3h):

Analyse de condition de stabilité de systèmes non-linéaires (1.5h)

Conditions de synchronisation dans des réseaux d'oscillateurs non-linéaires (1.5h)

TP/BE (7.5h):

Génération numérique de fractales (1.5h)
Simulation numérique et analyse d'un système dynamique non-linéaire (3h)



Etude d'un réseau d'oscillateurs couplés et conditions de synchronisation (3h)

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et interactifs avec démonstrations numériques / expérimentales. Priorité donnée aux interprétations physiques et aux exemples, présentations des outils mathématiques simplifiés et nécessaires à la compréhension du cours.

TD: (x2) seront organisés pour l'assimilation de notions clés

TPs: (x3) seront organisés pour la mise en pratiques des notions vues en classe sur des problèmes d'inspirations de sujet de recherches récents.

Volume horaire:

Cours magistraux : 24.5h

TD : 3h

TPs : 7.5h

Organisation de l'évaluation

Organisation de l'évaluation (Modalités et poids de chaque évaluation dans la note finale : Contrôle final, intermédiaire, continu, écrit, oral, projet...) :

- Mini projet de simulation numérique individuelle avec écriture d'un rapport (10-15 pages) - 50% de la note finale. Absence de remise de rapport : la note de 0 est attribuée à la partie projet.
- Compte-rendus de travaux pratiques - 50% de la note finale (Absence en TP non justifiée et/ou absence de compte rendu : la note de 0 est attribué pour ce TP)

Support de cours, bibliographie

1. S. H. Strogatz, « Nonlinear Dynamics and Chaos : with Applications in Physics, Biology, Chemistry, and Engineering », Westview Press (2001), ISBN 978-0738204536
2. A. Pikovsky, M. Rosenblum, J. Kurths, « Synchronization: a Universal Concept in Nonlinear Sciences », Cambridge University Press, 2003, ISBN 978-0521533522

Moyens

Equipe enseignante : Damien Rontani, Marc Sciamanna



Ressources information et Logiciels Matlab et/ou Python (pour TD et TPs)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Connaître les enjeux scientifiques et pluridisciplinaires des sciences du non-linéaire et la théorie des réseaux

Reconnaître des situations où ce formalisme peut-être appliqué.

Connaître et savoir mettre en oeuvre des techniques d'analyse de systèmes dynamiques non-linéaires et des réseaux.

Simuler numériquement des systèmes dynamiques non-linéaires et des réseaux dynamiques.

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

C1.5 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approach transdisciplinaire



2EL5140 – Modélisation pour l'ingénierie des systèmes

Responsables : Virginie GALTIER

Département de rattachement : CAMPUS DE METZ

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les systèmes complexes mettent en jeu de nombreux éléments hétérogènes (mécanique, logiciel, économique...). L'ingénierie des systèmes est une démarche interdisciplinaire permettant de les concevoir, vérifier, faire évoluer de manière maîtrisée. Selon l'INCOSE (International Council on Systems Engineering), *des recherches montrent qu'une utilisation efficace de l'ingénierie des systèmes peut permettre d'économiser 10 à 20 % du budget du projet. Il n'est pas difficile de savoir quand l'ingénierie des systèmes échoue, car lorsque quelque chose d'important se passe mal, cela fait généralement la une des journaux. Des gens sont blessés, les programmes sont retardés et le budget est dépassé : problèmes du télescope spatial Hubble au crash des deux Boeing 737 Max, en passant par les dépassements de budgets de 80 % du tunnel sous la Manche. Mais lorsque l'ingénierie des systèmes fonctionne bien, personne ne s'en aperçoit - ce qui est normal.* L'objet de ce cours est la modélisation, sur laquelle reposent les méthodologies et les outils de l'ingénierie des systèmes.

Pour mieux cerner les enjeux et difficultés de la modélisation, il faut s'y frotter de manière pratique ; et l'expérience reste un facteur de succès considérable de cette activité. Aussi le cours fera-t-il une part importante à la mise en œuvre, notamment sur la base du projet réalisé en EI de ST5.

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

SG6



Prérequis

- Cours de Modélisation des Systèmes de tronc commun
- Projet de ST5

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction

définition(s) d'un modèle

cycle de vie d'un système

objectif et principes du MBSE (Model-Based Systems Engineering)

introduction à SysML

Modélisation des exigences

identification des parties-prenantes

définition de cas d'utilisation

diagramme d'exigences

Modélisation structurelle

principes de décomposition structurelle, notions d'interfaces

diagrammes de définition des blocs et de package

Modélisation dynamique

principe de décomposition et composition fonctionnelle

diagrammes d'activités et d'états

animation de modèle

Modélisation transverse

diagramme paramétrique

allocation et traçabilité

approche matricielle de la gestion de la complexité



compromis et décisions

Déroulement, organisation du cours

L'électif est composé d'une succession de séquences comportant :

- une partie de cours présentant des concepts généraux qui pourront être ré-exploités par les étudiants dans de nombreux contextes,
- un QCM permettant aux élèves de vérifier qu'ils ont bien intégré les notions les plus importantes,
- une mise en pratique individuelle et guidée sur un exemple commun,
- une application à un projet développé en binôme ; ce projet revisitera le projet réalisé en ST5.

Organisation de l'évaluation

évaluation individuelle par contrôle continu (50 %) et présentation finale du projet en binôme (50 %, qui pourra être individualisée en cas de déséquilibre manifeste)

examen de rattrapage : oral individuel avec une partie pratique sur ordinateur

Support de cours, bibliographie

Guide to the SEBoK (https://www.sebokwiki.org/wiki/Main_Page)

INCOSE SE Vision 25 (https://www.incose.org/docs/default-source/aboutse/se-vision-2025.pdf?sfvrsn=b69eb4c6_4)

SysML Distilled, Lenny Delligatti, Addison-Wesley, 2014
(<https://app.ute.edu.ec/content/4915-114-4-1-6-19/SysML%20Distilled%20A%20Brief%20Guide%20-%20Lenny%20Delligatti.pdf>)

Moyens

Equipe enseignante : Virginie Galtier



Logiciel : chaque élève devra installer sur son PC Cameo Systems Modeler selon les instructions et la licence fournies au premier cours ; utilisation ponctuelle d'autres outils, libres et gratuits

Note : les supports écrits sont majoritairement rédigés en anglais.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, les élèves :

- sauront envisager une démarche de modélisation d'un système (observation, définition du système, proposition d'un modèle formel, analyse et exploitation des résultats),
- connaîtront les concepts de la modélisation des systèmes (notion de composants et interactions, différentes hiérarchies utilisées dans la modélisation, principes de décomposition),
- seront capables de déployer une modélisation d'un système en se basant sur les différents diagrammes SysML,
- se seront familiarisés avec un outil de modélisation industriel (Cameo Systems Modeler),
- seront capables d'exploiter quelques techniques de modélisation comportementale d'un système afin de prédire son comportement.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétence C1.4 - Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe, Jalon 1

Compétence C2.1 - Avoir approfondi un domaine ou une discipline relatifs aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur



2EL6010 – Conception de systèmes embarqués critiques de contrôle-commande

Responsables : Nabil SADOU
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les systèmes embarqués critiques de contrôle-commande se trouvent dans différents domaines industriels (usine 4.0, Avionique, Ferroviaire...) mais aussi dans notre vie quotidienne (domotique, automobile, médical...).

Ces systèmes, souvent critiques, sont soumis à des contraintes de robustesse, de sûreté de fonctionnement et de qualification. Ceci impose de faire appel à des méthodes de spécification qui, au-delà de l'optimisation du processus de conception, garantissent formellement le respect de l'ensemble des propriétés et plus particulièrement les propriétés de sûreté. Le développement de langages et outils certifiés permet de réduire considérablement les coûts de certification des projets en simplifiant la conception et en automatisant la vérification et la génération de code (qualifié/certifié par différentes normes).

L'objectif de cet électif est de former les étudiants aux méthodes de spécification de haut niveau et à la conception dirigée par les modèles en utilisant des méthodes/modèles formels adaptés aux systèmes critiques.

S'appuyant sur les compétences acquises dans le cours de modélisation système (ST5), les activités pédagogiques permettront de définir un modèle formel du comportement du système et de prendre en compte les exigences de sûreté. En effet, la traduction de ces exigences en termes de propriétés vérifiables permettra de faire la preuve du respect de ces



dernières.

L'enseignement abordera la génération de code « certifié » et comment embarquer ce dernier sur une plateforme matérielle en prenant en compte les performances d'exécution (performances temporelles, dimensionnement...) Le dernier point concernera les phases d'intégration de vérification et de validation.

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

SG6

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction (systèmes critiques, norme de conception, de qualification, contrôle commande, cycle de développement...)

Modélisation dirigée par les modèles et transformation de modèle

Système temps réel

Modélisation système et spécification

Langage formels, langages synchrones,

Implémentation d'une application de contrôle de commande (Contrôle d'un système d'aiguillage de trains) (voir : <https://youtu.be/BxieOtRYb9U>)

Déroulement, organisation du cours

Cours (12h), TD et TP (21h)

Organisation de l'évaluation

examen écrit (30%) et évaluation de projet (70%), examen (2h)

Support de cours, bibliographie

M. Klein, "A Practitioners's Handbook for Real-Time Analysis : Guide to Rate Monotonic Analysis for Real-Time Systems", Kluwer Academic, Boston, 1993, ISBN 0-7923-9361-9.

Sanford Friedenthal , Alan Moore, Rick Steiner. « A Practical Guide to SysML, Second Edition: The Systems Modeling Language » (The MK/OMG Press), 2012

C. Bonnet et I. Demeure, "introduction aux systèmes temps réel", Hermes sciences. Paris 1999.

Richard Zurawski (Editor). Embedded Systems Handbook, Second Edition 2-Volume. June 25, 2009 by CRC Press Reference - 837 Pages - 225 B/W



Illustrations ISBN 9781439807613

Moyens

Cours. Projet.

Ce cours contient peu de cours magistraux. La grande partie du volume concerne le projet de conception d'un système de contrôle commande d'un réseau de chemin de fer qui servira pour la mise en œuvre des notions théoriques vu en cours.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce module, les élèves seront capables

- à partir d'un cahier des charges, d'identifier les aspects temps de réel d'une application, de la spécifier et proposer une solution de conception.
- de faire des choix de structuration logicielle et de mise en œuvre.
- d'évaluer l'impact de ces choix pour démontrer que le système respecte les différentes exigences et contraintes
- de mettre en œuvre des différentes étapes du cycle de développement
- de mettre en œuvre une démarche de conception dirigée par les modèles.
- de gérer un projet de conception
- de communication orale et écrite

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- à partir d'un cahier des charges, d'identifier les aspects temps réel d'une application, de la spécifier et proposer une solution de conception s'inscrit dans la compétence 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 faire des choix de structuration logicielle et de mise en œuvre s'inscrit dans la compétence C1.2 - Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème.
- évaluer l'impact de ces choix pour démontrer que le système respecte les différentes exigences et contraintes s'inscrit dans la compétence C3.6 - Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées



- de mettre en œuvre des différentes étapes du cycle de développement s'inscrit dans la compétence C1.4 - Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe et la compétence C6.3 – Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel
- de mettre en œuvre une démarche de conception dirigée par les modèles s'inscrit dans la compétence C6.3 – Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel
- gestion de projet de conception s'inscrit dans la compétence C8.1 - Travailler en équipe/en collaboration



2EL6020 – Architecture des ordinateurs

Responsables : Ruben SALVADOR PEREA
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet électif fait partie du parcours InfoSec, mais il reste aussi accessible à tous les étudiants en deuxième année qui le souhaitent. Les microprocesseurs sont omniprésents dans la société actuelle. Toutefois, leurs conceptions et implémentations restent un défi majeur à relever. La façon dont les microprocesseurs sont conçus et construits impacte largement la sécurité globale des systèmes informatiques.

L'objectif principal de ce cours est de donner aux étudiants toutes les connaissances de base nécessaires pour comprendre le fonctionnement des processeurs modernes. Nous aborderons les différents concepts et techniques fondamentaux permettant de s'initier à l'architecture des ordinateurs, en mettant l'accent sur l'interface matériel/logiciel ainsi que sur l'approche de conception "bottom-up" pour comprendre comment les microprocesseurs fonctionnent et comment ils peuvent être réellement conçus.

Ce cours s'inspire largement de livre de Patterson et Hennessy « Computer Organization and Design, The Hardware/Software interface, RISC-V Edition, Morgan Kaufmann, 2018 ». Ce livre sera utilisé comme ouvrage de référence dans le cadre de cet électif. Les deux auteurs ont fait un travail pionnier en matière d'architecture des ordinateurs, notamment dans les architectures « Reduced Instruction Set Computer » (RISC). David Patterson a conçu le terme RISC, alors que John L. Hennessy a été l'inventeur du microprocesseur MIPS. Ces deux auteurs ont reçu le prix « 2017 Turing Award » pour leurs excellent travail de recherche sur les architectures RISC.



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

SG6

Prérequis

- Notions d'électronique et systèmes numériques
- Systèmes d'information et programmation
- Notions d'algorithmique & complexité

Plan détaillé du cours (contenu)

Conception de circuits numériques à partir d'un langage de description du matériel (Hardware Description Language, HDL) (6h CM + 6h TD)

- Conception de circuits logiques combinatoires
- Conception de circuits logiques séquentiels, machines à états finis (FSM, Finite State Machine), analyse temporelle
- Circuits reconfigurables : le Field-Programmable Gate Array (FPGA)
- Flot de conception en HDL pour les FPGA (description HDL, simulation, synthèse)

Architecture des ordinateurs et RISC-V (10.5h CM + 10.5h TP)

- Le modèle Von Neumann des architectures de processeurs
- Les paradigmes d'architecture RISC/CISC
- Architecture du jeu d'instructions RISC-V (Instruction Set Architecture, ISA), modes d'adressage
- Les éléments de base d'un processeur : chemin de données, registres, unité arithmétique et logique (ALU), unité de commande, mémoire, périphériques
- Interruptions et exceptions
- Performances : pipeline, hiérarchie mémoire et caches, prédiction de branchement, exécution dans le désordre
- Notions sur la sécurité de l'architecture des ordinateurs

TD et TP

- Flot de conception en VHDL pour les FPGA
- Programmation en assembleur RISC-V
- Conception d'une sous-partie d'un processeur RISC-V en VHDL

Déroulement, organisation du cours



Cours magistraux : 16,5h

TD : 6h

TP : 10,5h

Organisation de l'évaluation

Contrôle final (oral de présentation du projet) : 50%

Examen de laboratoire (réalisation technique et démonstration) : 50%

Support de cours, bibliographie

- **Polycopié** mis à disposition des élèves
- **Ouvrages principaux pour le cours**
 - D. A. Paterson, J. L. Hennessy, Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface, RISC-V Edition, Morgan Kaufmann, 2018. [AO]
 - S. L. Harris, D. M. Harris, Digital Design and Computer Architecture (MIPS ou ARM Edition), Morgan Kaufmann. [CNAO]
- **Autres ouvrages**
 - W. J. Dally, R. C. Harting, T. M. Aamodt, Digital Design Using VHDL: A Systems Approach, First Edition, Cambridge University Press, 2016 [CN]
 - B. J. LaMeres, Introduction to Logic Circuits & Logic Design with VHDL, Second Edition, Springer, 2019 [CN]
 - M. M. Mano, C. R. Kime, T. Martin, Logic and Computer Design Fundamentals, Fifth edition, Pearson, 2015 [CNAO]
 - P. J. Ashenden, J. Lewis, The Designer's Guide to VHDL, Third Edition, Morgan Kaufmann, 2008 [CN]
- **PDFs disponibles librement**
 - B. Mealy, F. Tappero, Free Range VHDL : <http://www.freerangefactory.org> [CN]
 - P. J. Ashenden, The VHDL Cookbook : <https://tams.informatik.uni-hamburg.de/vhdl/doc/cookbook/VHDL-Cookbook.pdf> [CN]

Légende:

[AO] : Architecture des ordinateurs

[CN] : Conception de systèmes numérique

[CNAO] : Conception de systèmes numériques et architecture des ordinateurs



Moyens

- Equipe enseignante : Rubén Salvador, Amor Nafkha, Jacques Weiss, Guillaume Hiet
- Taille des TD : 25
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Xilinx Vivado (25 licences)
- Carte Xilinx Pynq-Z1
- Salles de TP : Campus de Rennes Niveau 3 et 5, 25 étudiants

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- expliquer les principes fondamentaux de la conception d'architecture des microprocesseurs modernes
- concevoir des blocs d'un microprocesseur simple correspondant à un jeu d'instruction RISC-V
- simuler et synthétiser ce microprocesseur sur un FPGA
- développer des programmes en langage d'assembleur en utilisant le jeu d'instruction RISC-V

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.4 - Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe



2EL6030 – Systèmes d'exploitation

Responsables : Frederic TRONEL
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet électif fait partie du parcours InfoSec. Il est fortement recommandé d'avoir suivi l'électif d'Architecture des calculateurs, et la ST Compilation afin d'être en mesure de comprendre pleinement ce cours de système d'exploitation. A ce point du parcours, l'étudiant comprend le fonctionnement d'un processeur et possède les outils permettant de générer un exécutable pour ce processeur. L'objectif de cet électif est 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)

SG8

Prérequis

Systèmes d'information et programmation, Algorithmique & Complexité, Architecture des calculateurs, Compilation

Plan détaillé du cours (contenu)

Les différents cours sont organisés de la manière suivante :

I Cours 1 et 2 :

- Histoire des systèmes d'exploitation
- Gestion des processus
- Algorithmes d'ordonnancement
- Synchronisation de processus



II Cours 3 :

- Gestion mémoire virtuelle/réelle

III Cours 4 :

- Traitement des interruptions
- Mécanismes de protection dans un OS
- Appels systèmes

IV Cours 5 :

- Gestion des Entrées/Sorties
- Système de gestion de fichiers

V Cours 6 et 7 :

- Présentation de différents systèmes (Linux, Windows, Mac OS X, Android). Comparaison.

VI Cours 8 :

- Virtualisation/Machines virtuelles/Emulation

Déroulement, organisation du cours

Cours Systèmes d'exploitation CM 12h TD 3h Travail personnel 3h
Réalisation d'un micro-noyau d'un système d'exploitation TP 20h
Homework 21h

Organisation de l'évaluation

Contrôle final (oral de présentation du projet) : coefficient 0,5 Examen d'EL
(note de la réalisation et démonstration): coefficient 0,5

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

une carte FPGA avec un processus RISC-V processor, ou un émulateur (ex: qemu)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours



Comprendre des concepts, structures et de la conception des systèmes d'exploitation

Comprendre l'impact d'un système d'exploitation sur la conception d'application et leurs performances

Programmer certains mécanismes simples d'un système d'exploitation

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.

C2.5 Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior)

C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles

C8.1 Travailler en équipe/en collaboration.



2EL6040 – Programmation système sous linux et windows

Responsables : Alexandre DANG

Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences fondamentales

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet électif fait partie du parcours InfoSec, mais est pour autant accessible à tout étudiant de deuxième année le souhaitant.

Le langage C reste un des langages les plus utilisés pour programmer des applications dans les couches basses du logiciel telles que des systèmes d'exploitation ou des applications proches de celui-ci. En particulier, il est encore très largement utilisé pour programmer les services tournant en tâche de fond dans les systèmes GNU/Linux et Microsoft Windows (serveurs Web, serveurs de bases de données, serveur de messagerie électronique, serveurs de fichiers, etc). Bien que de conception très ancienne (années 70), cet état de fait s'explique par les performances inégalées des programmes écrits dans ce langage grâce aux progrès constants des chaînes de compilation disponibles actuellement. Les inconvénients d'écrire dans un langage peu abstrait sont donc (partiellement) compensés par des performances quasiment optimales au prix d'un effort substantiel lors de la mise au point des programmes. Ce cours s'adresse donc à des étudiants désireux d'approfondir leur pratique de la programmation au travers de l'apprentissage du langage C, en écrivant des applications proches du système d'exploitation en utilisant les interfaces standards d'un système Unix (norme POSIX, gestion des entrées-sorties, communications interprocessus, programmation multiprocessus et multithreads, gestion des signaux systèmes, déverminage et mise au point d'une application) et leurs équivalents pour l'API Win32/Win64 de Microsoft Windows.

Ce cours sera aussi l'occasion de se rendre compte des difficultés inhérentes à la programmation en langage C (notamment la gestion explicite de la mémoire et les conséquences de choix de conception



discutables sur l'implémentation des tableaux et des chaînes de caractères) et des problèmes de fiabilité et de sécurité qu'elles engendrent.

Nous profiterons de cette expérience pour introduire un nouveau langage de programmation (Rust) qui permet de garantir à la fois plus de sécurité et de fiabilité par la conception même du langage (qui fait usage des derniers progrès en matière de système de typage) et qui dans le même temps permet d'obtenir les mêmes performances qu'un programme écrit en langage C. À notre connaissance, c'est la première fois que cette synthèse est assurée par un langage de programmation (les autres tentatives butant toujours sur soit des problèmes de performances à l'exécution, soit des erreurs durant le fonctionnement aboutissant généralement à des mises en défaut de la sécurité de l'application pouvant se répercuter sur celle de la plateforme qui l'exécute). Le langage Rust est déjà actuellement utilisé par les équipes de Mozilla pour refondre entièrement le code de leur navigateur Web Firefox.

L'électif permettra aux étudiants de mettre en pratique les connaissances acquises au cours de travaux de laboratoires, qui consisteront en la programmation de services systèmes sous Unix et Windows en C.

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

SG8

Prérequis

Systèmes d'information et programmation, Algorithmique & Complexité, réalisation préalable d'un projet de développement logiciel (1A)

Plan détaillé du cours (contenu)

Part 1 : Le langage C

Part 2 : The Rust language

Part 3 : APIs Système Unix et Windows, standard POSIX

Déroulement, organisation du cours

50% cours magistraux, 50% TP, mini-projet

Organisation de l'évaluation

Examen Final (présentation orale du projet): 50% Examen de la réalisation: 50%

Support de cours, bibliographie

- Le langage C - 2e édition - Norme ANSI (August 20, 2014) , Brian W. Kernighan and Dennis M. Ritchie.
- The Rust Programming Language, May 2018, Steve Klabnik and Carol Nichols.



- Programming Rust (August 2016), Jim Blandy.
- La norme POSIX.
- Windows System Programming, (4th Edition) (Addison-Wesley Microsoft Technology) by Johnson M. Hart (2015-10-01).

Moyens

Un environnement Linux et Windows

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Créer des programmes efficaces en C et Rust sur les plateformes Linux et Windows.

Sélectionner et utiliser les fonctions du noyau d'un système d'exploitation et ses API.

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.

C6.3 - Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel



2EL6050 – Modelica et bond graph : modélisation multi-domaine, analyse et simulation

Responsables : Pierre HAESSIG

Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Non

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Contexte : Les systèmes techniques sont généralement des **assemblages de composants** (ex. dans une voiture : moteur, alternodémarreur, direction, freins...) et leurs lois de comportement sont souvent issues de **disciplines différentes** (électricité, mécanique, thermique...). Ainsi, ces composants sont souvent maîtrisés par des **personnes différentes**. L'ingénierie des systèmes complexes pose donc des difficultés **d'échange et de capitalisation des modèles**. Cet électif vise à s'approprier deux outils de modélisation couramment utilisés pour répondre à ces besoins : Modelica et les graphes de liaison (bond graphs).

Le bond graph est une description graphique des liens énergétiques entre les composants d'un système. Cette représentation se fonde sur les analogies entre domaines physiques (ex. : inertie mécanique ~ inductance électrique). L'intérêt principal du bond graph réside dans l'existence de démarches systématiques pour l'analyse structurelle du système modélisé, en particulier à travers la notion centrale de *causalité*.

Modelica est un langage non propriétaire* utilisé pour répondre à ces besoins de l'industrie :

- Modéliser des systèmes appartenant à plusieurs domaines physiques
- Structurer aisément un modèle en composants réutilisables
- Collaborer efficacement et capitaliser les modèles au sein d'une équipe



Modelica permet, in fine, de simuler temporellement des systèmes complexes (quelques milliers de variables).

*à l'inverse de Simulink/Simscape par exemple

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

SG6

Prérequis

néant

Plan détaillé du cours (contenu)

Déroulement du cours :

Bond graph (5 h + 2 h travail personnel)

- Principes du formalisme bond graph, analogies entre les domaines
 - procédure d'assignation de la causalité
- Analyse des propriétés structurelles
- Extraction des équations d'état

Modelica (14 h + 6 h travail personnel)

- Introduction à Modelica : bref historique, utilisation dans l'industrie, principes
- Prise en main de Modelica
 - Premiers exemples pratiques : ODE, circuit électrique, mécanique.
 - Analogies entre les variables : flux et potentiel
 - Systèmes hybrides, discontinuité, évènements (exemple d'un redresseur à diode)
- Structuration de modèles
 - Héritage et composition
 - Packages
 - Création d'un composant physique personnalisé

Versionnement (3 h + 1 h travail personnel, selon le besoin)

Selon le besoin des étudiants, il y aura des exercices d'aide à la prise en main de Git (logiciel de versionnement) et GitLab (plateforme de développement collaboratif).



Projet de modélisation (9 h + 18 h travail personnel)

(“*M³ project*”: *Multiphysics Modeling with Modelica*) en groupes de 3-4.

- Exemples de sujets de projets : usine marémotrice, drone, fusible, interrupteur électromagnétique

Évaluation finale (2 h, cf. §Méthodes d'évaluation)

Déroulement, organisation du cours

Pour le bond graph, l'enseignement est sous forme de cours-TD.

Pour Modelica, l'enseignement se fait par des séances d'exercices pratiques sur ordinateur avec des points de cours condensés pour introduire les notions clés.

Dans le but de permettre une maîtrise concrète de ces deux outils, l'accent est mis sur la pratique au travers de petits exercices en séances, de petits exercices en travail personnel entre les séances et enfin avec le projet final.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation de l'électif repose sur deux activités qui se déroulent lors d'une séance finale de 2 h :

1. quiz théorique sans documents sur le bond graph et les fondements de Modelica (1/2 de la note)
2. projet de modélisation final (1/2 de la note)
 - Une fiche détaillant les objectifs du projet est fournie au démarrage du projet. En regard de ces objectifs, les critères d'évaluation y sont listés précisément.
 - la note de projet peut être individualisée au sein d'un groupe

Support de cours, bibliographie

Support du cours Modelica : <http://éole.net/courses/modelica/> (en anglais)

- bibliographie détaillée incluse :
<http://éole.net/courses/modelica/90-references.html>

Michael M. Tiller “*Modelica by Example*”, livre en ligne, publié en 2014 et mis à jour continuellement depuis. URL: mbe.modelica.university.



Geneviève Dauphin-Tanguy et al. *“Les bond graphs”*, livre Hermès, 2000.

Moyens

Enseignant : Pierre Haessig

Séances sur ordinateur, avec logiciel libre [OpenModelica](#)

À noter que l'installation sous macOS est difficile. Il peut être nécessaire de travailler avec une machine virtuelle Linux.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Pour le bond graph, il s'agit d'apprendre les concepts de cette représentation pour être capable, sur des exemples simples, de :

- modéliser le système par un bond graph
 - y compris en appliquant la procédure d'assignation de la causalité
- analyser les propriétés structurelles du système
- extraire les équations d'états

Pour Modelica, il s'agit de :

- utiliser le langage Modelica et l'environnement de développement OpenModelica pour modéliser et simuler des systèmes dynamiques
- savoir réutiliser des modèles Modelica standards
- structurer un modèle complexe en composants réutilisables
- travailler en équipe sur un même modèle complexe, avec un système de versionnement (git)

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



2EL6060 – Serious Game

Responsables : Catherine SOLADIE
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Et si vous saviez le monde depuis votre console ?

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 électif, vous découvrirez comment le *serious game* a permis de transformer la transmission d'idées dans de nombreux domaines, de l'apprentissage de la lecture à la réparation automobile, en passant par l'éducation aux gestes de soin. Ces exemples vous permettront de devenir concepteur de votre propre *serious game*, car vos idées aussi méritent d'être jouables.

Highlights

Découvrez et analysez plusieurs cas d'usage et leur efficacité
Présentez un des grands thèmes du *serious game* en réalisant une vidéo de vulgarisation YouTube
Construisez et développez en projet de groupe votre propre *serious game* à l'aide d'une plateforme de développement de jeux vidéos telle que *Unity*



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

SG8

Prérequis

Informatique :

- Algorithmes
- Langage de programmation (bases)

Plan détaillé du cours (contenu)

Contexte (10%)

- Introduction à l'électif et aux grandes problématiques autour du serious game.
- Découvertes de problématiques industrielles et de cas spécifiques tout au long de l'électif.
- DragonBox : Comment des enfants de 5 ans apprennent l'algèbre en 50 minutes ?

Vidéo de vulgarisation YouTube (25%)

- Sujet au choix parmi plusieurs thèmes proposés (game design vs gameplay, rôle du score, boucle d'interaction, ...)
- Réalisation d'une vidéo YouTube d'explication sur les enjeux du thème choisi (1 réalisation par étudiant).
- Partage et visionnage des vidéos sur la chaîne Youtube dédiée à l'électif.

Réalisation d'une preuve de concept de serious game (65%)

- En groupe de 3 à 5 personnes.
- Accompagné par un professionnel de l'industrie du jeu vidéo.
- Sur un sujet de votre choix.
- La conception, tout comme l'encadrement se fera en deux ensemble distincts mais complémentaires :
 - l'aspect serious, l'objectif utile à atteindre, le message ou la connaissance à transmettre ;
 - l'aspect game, les mécaniques de jeu mises en oeuvre pour que l'interaction avec le joueur fonctionne.



- Testez votre création auprès de vos camarades et de votre entourage, et faites-la évoluer en mode itératif !

Déroulement, organisation du cours

- Cours présentiel : 10% (6 HEE)
- TD et évaluation présentiel : 40% (24 HEE)
- Projet et vidéo Youtube non présentiel : 50% (30 HEE)

Organisation de l'évaluation

Vidéo Youtube sur un aspect théorique des serious game : 1/4 de la note
QCM de connaissances théoriques sur les serious game : 1/4 de la note
Soutenance du projet de réalisation d'un serious game : 1/2 de la note

Support de cours, bibliographie

Introduction au Serious Game, de Julian Alvarez et Damien Djaouti
Concevoir un serious game pour un dispositif de formation, de Béatrice Lhuillier
Les serious games. Une révolution, de Yasmine Kasbi
La Gamification : Ou l'art d'utiliser les mécaniques du jeu dans votre business, de Clément Muletier et Guilhem Bertholet
Serious Game : Révolution pédagogique, de Valérie Lavergne Boudier et Yves Dambach

Moyens

Equipe enseignante :

- Catherine SOLADIE
- Pierre Haessig
- Renaud SEGUIER
- Intervenants extérieurs

Taille des TD (par défaut 35 élèves) : <= 50

Outils logiciels et nombre de licences nécessaires :

- Unity (gratuit pour étudiants) : <https://unity3d.com/fr/unity>

Salles de TP :

- 251 et 252, Campus de Rennes (jusqu'à 30 étudiants dans chaque salle / 15 postes par salle)



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, vous serez capable de :

- Définir les principales notions relatives aux *serious game* (C2.3)
- Argumenter les pratiques mises en oeuvre dans des *serious game* existants (C2.3)
- Implémenter un jeu vidéo (C2.3)
- Combiner vos compétences en développement logiciel avec de nouvelles compétences (telles que la pédagogie ou la médecine) dans une approche pluridisciplinaire (C1.5)
- Imaginer et concevoir un *serious game* (C3.5)
- Être proactif et vous impliquer dans la création d'une vidéo Youtube et d'un POC (C3.1)
- Prendre en compte le game play et l'UX dans la création d'un *serious game* (C6.7)
- Faire appel à l'expertise et les connaissances personnelles d'au moins un membre du groupe (ex : musique, art, science, écologie) pour la conception d'un *serious game* (C8.3)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C2.3 : Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres
- C3.5 : Proposer des solutions/outils nouveaux soit en rupture soit en progrès continu
- C6.7 : Exploiter les connexions possibles entre objets et personnes
- C8.3 : Faire appel à l'expertise des autres et repousser ses propres limites. Identifier et exploiter les richesses et les talents.

Nous attendons aussi de votre part :

- C3.1 : Être proactif, prendre des initiatives, s'impliquer
- C1.5 : Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.
- C6.6 : Comprendre l'économie numérique



2EL6070 – Réalité virtuelle et augmentée

Responsables : Catherine SOLADIE
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Réalités mixées : au-delà du réel.

Au-delà de la réalité physique et tangible, de nouveaux mondes émergent depuis quelques dizaines d'années : les données, et plus généralement l'ensemble des contenus numériques, ont leur réalité propre. Si l'on peut parler de mondes virtuels, c'est parce que les interactions qui nous lient à ces nouvelles poches de réalité sont devenues aussi importantes que leur fond. Et si aujourd'hui, ces interactions restent focalisées sur des écrans à tailles variables associés à des surfaces tactiles, la frontière entre le monde physique et les mondes virtuels appelle à se brouiller en faveur de rapports plus « naturels » au numérique et à ce qu'il a à offrir.

On va alors chercher à plonger dans des mondes virtuels pour laisser la réalité de côté, ou à l'inverse, coller à notre réalité des informations plus pratiques, plus pertinentes, jusque là cachées. On ne veut plus savoir que des données existent, il faut pouvoir les toucher, tourner autour, entrer dedans. Comment imaginer ces nouvelles interactions ? Que faut-il voir, et avec quel matériel ? Jusqu'où peut-on leurrer nos sens avant l'indigestion numérique ?

Dans cet électif, vous découvrirez les grands principes qui sous-tendent les réalités mixées - ce continuum dont les réalités virtuelle et augmentée sont des représentants. Derrière ces nouveaux modes de réalité, vous comprendrez les enjeux technologiques qui verrouillent ou bien ouvrent la voie aux nouveaux échanges entre utilisateur et système. Enfin, vous aurez l'occasion de mettre votre nouveau savoir en pratique au travers d'un projet sur un sujet au choix - passez à l'(inter)action !



Highlights

- Découvrez les enjeux de plusieurs industries en matière de réalités mixées
- Montez en compétence sur l'analyse d'image et le tracking d'utilisateur crucial à la RA
- Tentez de remporter un PASS 3 jours pour le salon mondial de la RV à Laval

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

SG8

Prérequis

Informatique :

- Algorithmes
- Langage de programmation (bases)

Des compétences en traitement et synthèse d'images seraient un plus non indispensable.

Plan détaillé du cours (contenu)

Contexte (15%)

- Introduction à l'électif et aux grandes problématiques autour de la réalité virtuelle et augmentée.
- Découvertes de problématiques industrielles et de cas spécifiques tout au long de l'électif.
- Visite du Cave Immersia

Vidéo de vulgarisation YouTube (25%)

- Sujet au choix parmi plusieurs thèmes proposés (le premier casque de RV, interaction haptique , ..)
- Réalisation d'une vidéo YouTube d'explication sur les enjeux du thème choisi (1 réalisation par étudiant).
- Partage et visionnage des vidéos sur la chaîne Youtube dédiée à l'électif.
- La meilleure vidéo recevra un PASS 3 jours étudiant pour le salon de VR&A Laval Virtual.

Analyse et synthèse d'image pour la réalité virtuelle et augmentée (20%)

- Alternance théorie/pratique sous forme de BE (Bureau d'Études)



- SLAM
- Détection d'objets
- Relocalisation de caméra

Réalisation d'une application de réalité virtuelle ou augmentée (40%)

- En groupe de 2 à 4 personnes.
- Sur un sujet de votre choix.
- Testez votre création auprès de vos camarades et de votre entourage, et faites-la évoluer en mode itératif !
- Appliquez des méthodes de gestion de projets adaptées à la situation.

Déroulement, organisation du cours

- Cours présentiel : 17% (10 HEE)
- Visite Cave Immersia : 5% (3 HEE)
- Bureau d'étude et évaluation présentiel : 28% (17 HEE)
- Projet et vidéo Youtube non présentiel : 50% (30 HEE)

Organisation de l'évaluation

QCM de connaissances théoriques sur réalité virtuelle, réalité augmentée, réalité mixte : 1/3 de la note
Soutenance du projet de réalisation d'un système de réalité virtuelle ou augmentée : 1/3 de la note
Vidéo Youtube : 1/3 de la note

Support de cours, bibliographie

Interaction et collaboration en réalité virtuelle et augmentée, de Samir Otmane

Les casques de réalité virtuelle et de jeux vidéo, de Philippe Fuchs

Comment la réalité augmentée est en train de révolutionner le monde de la consommation, de Aleks IGNJATOVIC

L'Interaction en Réalité Mixte: Une étude de l'interaction en réalité virtuelle et réalité augmentée appliquée à l'archéologie sous-marine, de Mahmoud Haydar

La réalité augmentée avec Unity - Guide du développeur (exemples et solution complète avec C#), de Stéphane DORLAC

Le traité de la réalité virtuelle, de Philippe Fuchs et Guillaume Moreau

Moyens

Equipe enseignante :

- Catherine SOLADIE
- Renaud SEGUIER
- Intervenants extérieurs

Taille des TD (par défaut 35 élèves) : <= 30 pour les BE



Outils logiciels et nombre de licences nécessaires :

- Unity (gratuit pour étudiants) : <https://unity3d.com/fr/unity>
Casques de RV et RA (disponible au Cave)

Salles de TP :

- 251 et 252, Campus de Rennes (jusqu'à 30 étudiants dans chaque salle / 15 postes par salle)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Citer et expliquer plusieurs domaines d'application de la réalité virtuelle, augmentée ou mixte (C6.6)
- Décrire l'impact de ces nouvelles technologies dans le monde de demain (C6.6)
- Identifier les problématiques liées au tracking et aux interactions avec les utilisateurs (C6.7)
- Comparer différents algorithmes utiles à la réalité virtuelle et augmentée (C3.6)
- Concevoir une application utilisant la réalité virtuelle ou augmentée (C6.7)
- Choisir les méthodes de gestion de projet adaptées à la réalisation d'une telle application (C8.4)
- Travailler en autonomie pour la réalisation d'une vidéo Youtube (C3.1)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C3.1 : Être proactif, prendre des initiatives, s'impliquer
- C6.6 : Comprendre l'économie numérique
- C6.7 : Exploiter les connexions possibles entre objets et personnes
- C8.4 : Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation

Nous attendons aussi :

- 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



2EL6090 – Intelligence artificielle et Deep Learning

Responsables : Catherine SOLADIE
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

ADN ou ligne de code ?

Homo Sapiens est taillé pour marcher sur deux pieds, et pourtant, il lui faut apprendre un an avant de se relever. Les créatures des fonds sous-marins peuvent se déplacer dans une obscurité totale, et leurs espèces ont évolué durant des millions d'années pour atteindre ce résultat. L'adaptation à un milieu, à un problème, ou encore l'intelligence, ne sont pas des notions statiques mais le résultat d'un effort constant : l'apprentissage.

Ainsi, l'émergence de système technologiques capables de prédiction, d'expertise, pose rapidement la question de l'apprentissage. Comment un programme peut-il acquérir, assimiler, organiser des savoirs ? Sur ce point, s'inspirer du vivant est un point de départ plutôt fructueux. Comment imiter le comportement de nos neurones ? Celui de l'évolution et de la sélection naturelle ? A quels résultats s'attendre ?

Dans cet électif, vous découvrirez les grandes méthodes d'Intelligence Artificielle et leur fonctionnement. Vous pourrez prendre en main les algorithmes les plus récents sur des cas concrets, et vous aurez l'occasion de pousser l'étude sur un sujet de votre choix. À vous d'apprendre comment faire apprendre !

Highlights

Vie artificielle : automates cellulaires, réseaux de neurones, algorithmes génétiques

Deep Learning :

Réseaux de convolutions et importance des bases de connaissance



Traitement temporel des données : RNN, LSTM
Modèles génératifs type VAE ou GAN

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

SG6

Prérequis

Statistiques et apprentissage.

Plan détaillé du cours (contenu)

Contexte (5%)

- Introduction à la matière
- Mise en contexte historique.
- Lien avec les matières du programme.

Vie artificielle (15 %)

- Alternance théorie/pratique sous forme de BE (Bureau d'Études)
- Vie Artificelle
 - Automates cellulaires et notion d'émergence
 - Algorithmes génétiques
 - Systèmes multi-agents
 - Apprentissage par renforcement

Machine Learning et Deep learning (40%)

- Alternance théorie/pratique sous forme de BE (Bureau d'Études)
- Machine Learning
 - Réseaux de neurones
 - Rétro propagation du gradient
 - Factorisation en matrices non-négatives
- Deep Learning
 - Auto-encodeurs
 - Réseaux de neurones récurrents
 - Réseaux convolutionnels et transfert learning
 - Modèles génératifs profonds

Projet de construction d'un BE (40%)

- Projet individuel
- Approfondissement d'un sujet choisi librement



- Présentation sous forme d'un bureau d'étude
 - 15m de théorie
 - 1h de TD

Déroulement, organisation du cours

- Cours présentiel : 13% (8 HEE)
- Bureau d'étude et évaluation présentiel : 37% (22 HEE)
- Tutoriel non présentiel : 20% (12 HEE)
- Projet de réalisation d'un bureau d'étude non présentiel : 30% (18 HEE)

Organisation de l'évaluation

QCM de connaissances théoriques sur l'IA et le Deep Learning : 1/3 de la note

Soutenance du projet de réalisation d'un BE : 1/3 de la note

Contenu et justification du BE : 1/3 de la note

Support de cours, bibliographie

Tutoriels de Yann Lecun

Machine Learning avec Scikit-Learn - Mise en oeuvre et cas concrets, Aurélien Géron

Deep Learning with Python, Francois Chollet

Pattern Recognition and Machine Learning, Christopher Bishop, Springer, 2006. The best book on Machine Learning, it covers a lot of topics! Freely available online.

Deep Learning, Ian Goodfellow et al., MIT Press, 2016. A reference book on Deep Learning. Freely available online.

Dive into Deep Learning, Aston Zhang et al., 2019 An interactive deep learning book with code, math,...

Moyens

Equipe enseignante :

- Catherine SOLADIE
- Renaud SEGUIER
- Simon LEGLAIVE

Taille des TD (par défaut 35 élèves) : <= 30 pour les BE

Outils logiciels et nombre de licences nécessaires :



- Pytorch ou équivalent (gratuit)

Salles de TP :

- 251 et 252, Campus de Rennes (jusqu'à 30 étudiants dans chaque salle / 15 postes par salle)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Connaître un grand panel d'outils de *machine learning* et *deep learning* pour le traitement des données, y compris massives (C2.1, C6.5)
- Connaître les notions fondamentales du *machine learning* (C2.1)
- Savoir lister et donner des exemples des différentes familles de *machine learning* (C2.1)
- Tester, analyser et faire évoluer différents algorithmes de *machine learning* et de *deep learning* (C1.3, C3.2, C6.4, C6.5)
- Evaluer les performances d'un algorithme de machine learning (C3.6)
- Concevoir et proposer un logiciel de traitement de données illustrant un concept spécifique ou algorithme spécifique de machine learning ou deep learning (C2.3)

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.
- C3.6 : Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées
- C6.4 : Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle
- C6.5 : Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives. `

Nous attendons aussi :

- C3.2 : Remettre en cause ses hypothèses de départ, ses certitudes. Surmonter ses échecs. Prendre des décisions.
- C6.3 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel
- C1.3 : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation



2EL6100 – Communication Systems Engineering

Responsables : Haïfa FARES
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Toutes les communications aujourd'hui (téléphonie mobile, satellites, réseaux locaux WiFi, réseaux filaires ADSL, etc.) permettent de transporter des débits de plus en plus élevés grâce aux traitements numériques dont les grands principes de base ont été énoncés dans la théorie de l'information de *Claude Shannon* (1948) :

- Compression de l'information pour supprimer toutes les redondances inutiles dans les messages à transmettre. On parle alors de codage de source.
- Protection de l'information pour réduire au maximum les erreurs dans la transmission du signal. On parle alors de codage de canal.

Dans le contexte d'une transmission idéale sur canal Gaussien, c'est l'association de ces deux principes qui permet d'approcher la limite théorique du débit prédit par la théorie de l'information en utilisant des algorithmes toujours plus performants entre émetteur et récepteur.

D'autre part, pour un large spectre d'applications, le canal peut être beaucoup plus contraignant avec des phénomènes tels que la sélectivité, la transmission multi-trajets, l'effet doppler... Cependant, même dans ce type de canaux, il existe heureusement d'autres moyens de protection de l'information (outre que le codage de canal) faisant appel principalement à la notion de diversité (temporelle, fréquentielle, spatiale...)

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

SG6



Prérequis

- Notions de probabilités
- Traitement numérique des signaux (transformation de Fourier, Analyse spectrale)

Ces pré-requis représentent des acquis d'apprentissage visés par les cours de traitement de signal (1CC4000) et modélisation (1CC3000) dispensés en 1ère année.

Plan détaillé du cours (contenu)

Partie 1 : Théorie de l'information

- Définition de l'information, l'information mutuelle, modèles de canaux
- Capacité du canal
- Théorème de Shannon : codage de source et codage de canal

Partie 2 : Compression de l'information et codage de source

- Extension d'une source discrète
- Codes à longueurs fixes et variables
- Codage de Huffman
- Applications : JPEG, MPEG, H264, MP3

Partie 3 : Protection de l'information et codage de canal

- Codes en blocs (matrices génératrices, distance et poids de Hamming, matrice de contrôle, codes de Hamming)
- Codes convolutifs (principes, polynômes générateurs, fonction de transfert, diagramme d'états, représentation en trellis)
- Décodage de Viterbi
- Applications : codes pour les normes DVB, pour les normes de téléphonie mobiles
- Extensions : codes LDPC, turbo-codes, codes polaires, cryptographie

Partie 4 : Notions de sélectivité du canal et diversité

- Canal multi-trajets et sélectivité en fréquence
- Canal à évanouissements
- Notion de diversité (temporelle, fréquentielle, spatiale, de polarisation)
- Égalisation du canal
- Performances : taux d'erreur binaire



Déroulement, organisation du cours

Les notions de base sont présentées dans des cours magistraux avec des exemples précis. Les TDs assurent la bonne compréhension du cours et permet de corriger les mauvaises interprétations du cours. Les travaux personnels représentent des compléments de cours demandés aux élèves (applications et extensions).

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fait sous trois formes : Contrôle final (écrit ou oral) : coefficient 0.5 Examen d'EL : coefficient 0.25 Travail personnel : coefficient 0.25 En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Support de cours, bibliographie

- Polycopié mis à disposition des élèves
- G. Battai, "*Théorie de l'information - Application aux techniques de communication*", Ed. Masson, 1997.
- W. Peterson, E. Weldon, "*Error correcting codes*", Ed. MIT Press, 1972.
- S. Lin, D. Costello, "*Error control coding: Fundamentals and Applications*", Ed. Prentice Hall, 1983.
- G. Cohen, J. L. Dornstetter, P. Godlewski, "*Codes correcteurs d'erreurs*", Ed. Masson, 1992.
- J. Proakis, "*Digital communications*", 4e édition, Ed. McGraw-Hill, 2001.
- J. C. Bie, D. Duponteil, J. C. Imbeaux, "*Eléments de communications numériques*", Ed. Dunod, 1986.
- R.Boite, M. Kunt, "*Traitement de la parole*", Ed. Polytechniques et Universitaires Romandes, 1987.
- J. Deller, J. Hansen, J. Proakis, "*Discrete time processing of speech signals*", Ed. IEEE Press, 1999.
- T. M. Cover, J. A. Thomas, "*Elements of Information Theory*", Wiley New York, 1991.

Moyens

- Equipe enseignante assurant les cours magistraux : Amor Nafkha, Georgios Ropokis, Haïfa Farès, Yves Louët
- Groupes de 20 élèves pour les TDs
- Outil logiciel : MatLab pour les EL et travail personnel
- Salles de TP



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

L'objectif de cet électif est de maîtriser les fondements de la théorie de l'information, ses principes de base et ses applications au monde des télécommunications. A l'issue de ce cours, les étudiants seront en mesure de comprendre les enjeux actuels liés à la transmission de l'information, les compromis à faire (entre efficacité spectrale, énergétique et erreurs de transmission).

En particulier, ils seront capables de :

1. appréhender une chaîne de communication numérique
2. maîtriser les différents blocs de la chaîne
3. maîtriser les métriques d'évaluation de performance d'une transmission numérique
4. optimiser le dimensionnement d'une chaîne de transmission sous contraintes (compromis de performances)
5. générer, analyser, traiter des signaux numériques avec MatLab

Description des compétences acquises à l'issue du cours

En termes de compétences :

- Les trois premiers acquis permettent de développer la compétence C1.2 "**Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème**"
- Les acquis 4 et 5 permettent de répondre à la compétence C1.3 "**Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation**"
- L'acquis 5 en particulier contribue à la compétence C1.4 "**Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe**"
- Les TPs et le travail personnel aident à développer les compétences C8.1 "**Travailler en équipe/en collaborations**" et C3.1 "**Etre proactif, prendre des initiatives, s'impliquer**"
- Le travail personnel sous forme d'exposé répondra à la compétence 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**"



2EL6110 – Nouveaux paradigmes réseau

Responsables : Bernard JOUGA
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet électif fait partie du parcours InfoSec, mais est pour autant accessible à tout étudiant de 2ème année. Il a pour objectif de présenter des concepts avancés d'architecture des réseaux informatiques et s'appuie sur les concepts fondamentaux présentés dans l'électif « Réseau et sécurité » de 1ère année.

Les paradigmes classiques des réseaux informatiques liés à la création d'Internet (modèles en couches, protocoles TCP/IP, modèle client/serveur, etc.) se sont largement imposés. Toutefois, les évolutions des besoins des utilisateurs en termes de disponibilité et de volumétrie des données ainsi que l'émergence de nouvelles applications et de nouveaux services (portage des applications « lourdes » sous formes d'applications Web, informatique nuageuse, cryptomonnaie, etc.) conduisent à des évolutions importantes des architectures traditionnelles des systèmes d'information. Ces évolutions architecturales, ainsi que l'essor des technologies associées, s'expliquent également par deux tendances actuelles :

- l'externalisation des infrastructures réseau et d'hébergement, voire des applications elles mêmes ;
- l'optimisation de l'utilisation de ces infrastructures.

Cela implique en particulier :

- des capacités d'adaptation dynamique à la demande, impliquant notamment de pouvoir distribuer le stockage et les traitements mais également de reconfigurer rapidement les infrastructures ;
- des capacités de partage des ressources (processeur, stockage et réseau), reposant généralement sur la virtualisation des infrastructures ;
- le recours à des modèles décentralisés, de type pair-à-pair ;



- des modèles de répartition des ressources aptes à passer à une grande échelle, etc.

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

SG6

Prérequis

1CC1000 – Systèmes d'Information et Programmation

1EL6000 – Réseaux et Sécurité

Plan détaillé du cours (contenu)

- Cours 1 à 5 (7,5h) :
 - Informatique en nuage
 - Réseaux de Data Center
 - Software-Defined Networking (SDN)
 - Cours 6 et 7 (3h) :
 - IPv6
 - Cours 8 et 9 (3h)
 - Annuaire LDAP
 - Cours 10 et 11 (3h) :
 - Architectures distribuées (cluster)
 - Systèmes de fichiers distribués
 - Gestion de cluster, orchestration
 - Équilibrage de charge
 - Cours 12 et 13 (3h) :
 - Architectures pair-à-pair (P2P)
 - Blockchain
- Etude de laboratoire (15,5h) : configuration d'un réseau logiciel et mise en place d'un service distribué avec OpenStack

Déroulement, organisation du cours

Une large place est laissée aux aspects pratiques dans cet enseignement. Les cours magistraux sont notamment ponctués de démonstrations et de manipulations.

Une étude de laboratoire de longue durée, incluant une part de travail personnel hors présentiel, permet de progressivement mettre en oeuvre les technologies présentées en cours.



Organisation de l'évaluation

Examen écrit : coefficient 0,5. Restitution de l'étude de laboratoire : coefficient 0,5. Présence contrôlée à l'étude de laboratoire : 0,2 points de pénalité par absence non justifiée.

Support de cours, bibliographie

- Polycopiés des transparents
- Paul Goransson, Chuck Black, Timothy Culver, « Software Defined Networks A Comprehensive Approach », 2nd Edition, Morgan Kaufmann
- William B. Norton, The 2014 Internet Peering Playbook: Connecting to the Core of the Internet

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Bernard Jouga, Guillaume Piolle
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : VirtualBox, openLDAP, OpenStack, HAProxy, Open vSwitch, OpenDaylight
- Moyens matériels : ensemble de plusieurs machines dédiées pour l'installation et la mise en place d'un cloud privé
- Salles d'études de laboratoire (département et capacité d'accueil) : campus de Rennes niveau 5, 25 personnes en étude de laboratoire

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les étudiant seront capables de :

- concevoir une architecture réseau distribuée permettant de s'adapter dynamiquement à la charge et de garantir une haute disponibilité ;
- concevoir une architecture de système d'information s'appuyant sur une plate-forme d'informatique en nuage de type *Infrastructure as a Service* ;
- utiliser un annuaire LDAP au sein d'une architecture ;
- d'expliquer les principes d'élasticité et de gestion des ressources dans l'informatique en nuage ;
- d'expliquer les principes et les avantages/inconvénients de la virtualisation des ressources ;
- d'expliquer le principe des réseaux pair-à-pair pour échanger des données ou gérer une Blockchain.



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
- C1.4 - Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe



2EL6120 – Intelligent Wireless Access & Experimentation

Responsables : Georgios ROPOKIS

Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif du cours est de présenter les connaissances essentielles pour comprendre les caractéristiques des systèmes et des normes de communications sans fil. Dans ce cadre, le cours se concentre sur les aspects suivants des systèmes de communication:

1. techniques de transmission utilisées dans les normes actuelles et futures, y compris 4G et 5G
2. techniques d'accès multiple utilisées dans les normes actuelles et futures (à partir de la 2G, passant à la 5G et au-delà de la 5G),
3. les bases et les caractéristiques du matériel de télécommunications, y compris l'architecture des équipements informatiques utilisés en communication et le comportement des chaînes RF,
4. architectures de processeurs mobiles
5. le processus d'expérimentation et de prototypage des systèmes de communication sans fil.

Le cours couvre tous les éléments techniques essentiels pour les étudiants qui souhaitent comprendre les principes fondamentaux des communications sans fil et ses applications, et peut servir comme première étape pour ceux qui souhaitent poursuivre des études en ingénierie des communications sans fil. De plus, comme le cours expose les étudiants à plusieurs aspects de l'ingénierie des communications sans fil, il constitue une excellente opportunité pour ceux d'entre eux intéressés à poursuivre une carrière en gestion de projets / équipes dans le domaine de l'ingénierie des communications. Le cours aidera les étudiants à se familiariser avec les aspects les plus importants de l'ingénierie sans fil, y compris les normes de communication sans fil et leurs caractéristiques, le matériel sans fil et le



prototypage. La présentation du matériel suivra une approche orientée vers les normes de telecommunications afin de satisfaire aussi bien les étudiants intéressés par les principes des communications sans fil que les étudiants principalement intéressés par une approche plus appliquée aux communications.

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

SG8

Prérequis

- Notions de probabilités
- Traitement numérique du signal (transformée de Fourier, analyse spectrale)
- Compétences de base en programmation

Ces prérequis correspondent aux cours de traitement du signal (1CC4000), de modélisation (1CC3000) et de programmation (1CC1000).

Plan détaillé du cours (contenu)

Partie 1: Fondements de la transmission sans fil

- Modélisation physique du canal sans fil
- Détection dans un canal d'évanouissement
- Les modulations numérique mono-porteuses
- Les modulations numériques multi-porteuses
- Techniques de diversité

Partie 2: Schémas d'accès multiples et normes de télécommunications (Schémas d'accès multiples pour les réseaux 2G, 3G, 4G, 5G et au-delà de 5G):

- TDMA, FDMA, CDMA, SDMA
- FDD, TDD, half duplex et full duplex
- Gestion de l'interférence
- Applications dans les normes de réseau GSM / UMTS / 4G / 5G
- Autres normes d'accès sans fil: WLAN, WPAN et LPWAN
- Normes IoT et objets connectés

Partie 3: Architectures informatiques pour les communications sans fil

- Architecture de communication sans fil adaptable: la radio logicielle (Software Defined Radio - SDR)



- Frontaux analogiques / numériques et convertisseurs de données ADC / DAC
- Architectures informatiques embarquées: des processeurs ARM mobiles aux DSP, FPGA et GPU
- Plates-formes informatiques intégrées pour les communications sans fil

Partie 4: Implémentation matérielle des systèmes sans fil utilisant la radio GNU et les plates-formes USRP

- Tutoriel sur GNU Radio
- Mise en place d'un simple récepteur FM
- Implémentation d'une application de transfert de fichiers sur GNU Radio et USRP avec modulation et démodulation basées sur QPSK

Déroulement, organisation du cours

Déroulement, organisation du cours (séquençage CM, TD, EL/TP) en heures:

Principes fondamentaux des communications sans fil: 4,5 h

Schémas d'accès multiple et conférences sur les normes: 6h

Travaux pratiques sur les fondamentaux des communications sans fil et les schémas d'accès multiple: 3h

Architectures informatiques pour les communications sans fil CM: 9h

Tutoriel GNU Radio CM: 1.5h

Expérimentation / Travaux pratiques avec GNU Radio et USRP: 9h

Examen: 2h

Total (HPE): 35h

Organisation de l'évaluation

Examen final (écrit ou oral) et évaluation des travaux pratiques

Support de cours, bibliographie

- Polycopié mis à la disposition des élèves.
- Tse, D., & Viswanath, P., "Fundamentals of Wireless Communication". Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- Holma H., & Toskala A., "LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access", Wiley Publishing, 2009.
- Vaezi M., Ding Z., & Poor H. V., "Multiple Access Techniques for 5G Wireless Networks and Beyond", Springer 2018.



- Yannick Bouguen, Eric Hardouin, François-Xavier Wolff, "LTE et les réseaux 4G", Eyrolles, 2012
- A. Elnashar, M. A. El-saidny, M. Sherif, K. Abdulla, "Design, deployment and performance of 4G networks", Wiley-Blackwell 2014,
- Fattah Hossam, "5G LTE narrowband Internet of Things (NB-IoT)", CRC Press in 2019.
- A. Pacaud, "Électronique radiofréquence", Ellipses, 2000, B. Razavi
- "RF microelectronics, communication electronics", Prentice Hall, 1997
- P.L.D. Abrie, "Design of RF and microwave amplifiers and oscillators", Artech House, 1999,
- S.C. Cripps, "RF power amplifiers for wireless communications", Artech House, 2006,
- Gernot Hueber, Robert Bogdan Staszewski "Multi-Mode/Multi-Band RF Transceivers for Wireless Communications: Advanced Techniques, Architectures, and Trends" , John Wiley & Sons, Inc, 2010
- Peter B. Kenington, " RF and Baseband Techniques for Software Defined Radio ", Artech House, 2005.
- Collins, T.F.; Getz, R.; Pu, D.; Wyglinski, A.M. Software-Defined Radio for Engineers; Artech House: Norwood, MA, USA, 2018.

Moyens

Équipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Haïfa Farès, Amor Nafkha, Georgios Ropokis, Ruben Salvador

- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 20
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Matlab et GNU radio pour les EL et travail personnel
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) :

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin du cours, les étudiants devraient être capables de:

- appréhender les bases de la transmission numérique et des schémas d'accès multiple utilisés dans les normes existantes
- appréhender le fonctionnement d'une chaîne RF complète de communications sans fil (domaines radio, analogique et numérique)
- se familiariser avec plusieurs plates-formes de traitement numérique différentes disponibles pour la construction de systèmes de communication sans fil et leur impact sur les exigences du système (coût, performance, durée de vie, efficacité énergétique, etc.)



- maîtriser la terminologie, la structure et les caractéristiques des normes modernes de communications sans fil et mobiles
- se familiariser avec la construction d'un véritable système de communication sans fil

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le cours aborde les compétences suivantes :

C1.2 "Développer et utiliser des modèles appropriés, choisir la bonne échelle de modélisation et simplifier les hypothèses lors de la résolution d'un problème"

Travaux pratique adresse la compétence C1.4 "Concevoir, détailler et corroborer tout ou partie d'un système complexe" et la compétence C3.1- Être proactif et impliqué" et "C8.1-Travailler en équipe"



2EL6130 – Systèmes embarqués et internet des objets

Responsables : Jean-Francois LALANDE

Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet électif fait partie du parcours InfoSec, mais est pour autant accessible à tout étudiant de deuxième année le souhaitant. Il a pour objectif de découvrir les spécificités du développement d'applications sur des systèmes embarqués et des objets connectés de différentes natures.

Les contraintes pour développer ces objets connectés sont variés : limite énergétique, capacités de calcul, connectivité réseau, déluge de données, temps réel, etc. Ainsi, l'électif s'attachera dans un premier temps à dégager les grands principes qui sont communs à ces objets connectés, par exemple, le déport des données dans le cloud, l'économie des traitements logiciels, la gestion de la connectivité réseau par intermittence.

Dans un second temps, l'électif illustrera ces principes en choisissant certains systèmes embarqués pour lesquels on approfondira le développement logiciel. En particulier, nous détaillerons l'écosystème informatique qui est propre à chacun de ces systèmes embarqués. Cet écosystème informatique a pour objectif de répondre aux contraintes particulières et de faciliter le développement des applications. D'un point de vue des langages, il peut s'agir de l'utilisation d'un langage très proche du système d'exploitation comme le C, ou bien d'un langage de plus haut niveau s'exécutant sur une machine virtuelle comme Java. Dans certains cas, des langages plus dédiés permettent de simplifier davantage la programmation. D'un point de vue des données, il peut s'agir de fournir des solutions de stockage local ou bien une API de programmation permettant de déporter ces données dans le cloud.



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

SG8

Prérequis

Systèmes d'information et programmation, Algorithmique & Complexité, électif 1A Réseaux et Sécurité

Plan détaillé du cours (contenu)

Chapitre : Principes : les systèmes embarqués et objets connectés

- La spécificité des OS embarqués,
- Les protocoles réseau pour l'IoT (Z-wave, Zigbee),
- Les langages dédiés à l'embarqué
- Systèmes temps réels (WCET)

Chapitre : RIOT OS

- Découverte du système d'exploitation
- LORA
- TP: manipulation de capteurs

Chapitre : Développement d'applications sur téléphone mobile

Les spécificités d'un téléphone mobile Android

- Développement d'IHM dans Android
- Le développement client serveur
- TP: découverte, requêtes vers un serveur

Chapitre : Applet Java pour carte à puces

Les spécificités des cartes à puce

- Développer une applet Java pour carte à puce

Déroulement, organisation du cours

12h cours

15h TP



Organisation de l'évaluation

Contrôle continu : Evaluation des TP RIOT et Android (0.5)

Contrôle continu : Exposés d'approfondissement (0.5)

Moyens

- 13 Arduino
- 13 MKRFox1200
- Lecteur de cartes à puces

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Connaître les spécificités et contraintes des systèmes embarqués et objets connectés
- Programmer des logiciels sur de tels systèmes

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C6.3 Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel



2EL6140 – Microréseaux : composants et pilotage

Responsables : Pierre HAESSIG
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'approvisionnement en électricité des sites isolés tels que les îles présente des spécificités dues à la petite taille de leur réseau. Cela entraîne un fort risque d'instabilité et donc le pilotage d'un microréseau, ce qui inclut le contrôle de tous ses composants électriques, est crucial pour son bon fonctionnement.

Cet électif propose d'étudier cet enjeu du point de vue de deux matières :

- **Électrotechnique** : présentation des composants électriques essentiels d'un microréseau alternatif
- **Automatique** : application des techniques de régulation à ces composants et ouverture vers la régulation des systèmes de grande taille (c'est-à-dire comment aller au-delà de l'automatique « classique » qui ne traite que 2–3 variables).

Remarque : le programme d'électrotechnique de cet électif est proche de l'électif « Conversion d'Énergie » proposé à Paris-Saclay. La partie automatique est l'originalité de cet électif.

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

SG8

Prérequis

Notions d'énergie électrique à connaître (par exemple en ayant suivi l'électif 1A « Énergie Électrique (ENE) ») :



- Puissances en régime alternatif : P (active), Q (réactive) et S (apparente)
- Système électrique **triphase** : tensions simples et composées

Notions d'Automatique à connaître (par exemple en ayant suivi le cours commun d'automatique de ST5)

- Modélisation d'un système par une fonction de transfert
- Régulation d'un système linéaire par un contrôleur PID

Avoir suivi la ST7 « Smart grids et défi énergétique : gestion de l'énergie en site isolé » serait un plus, mais n'est pas un prérequis, car les problématiques abordées sont très différentes :

- cours « Énergies renouvelables et microgrids » de ST7 : modélisation de haut niveau (flux énergétiques), avec optimisation économique.
- cet électif : modélisation tension/courants et analyse plus détaillée des composants électriques et de leur régulation bas niveau.

Plan détaillé du cours (contenu)

Cet électif relève à la fois de l'*électrotechnique* et de l'*automatique*, avec en supplément un apport méthodologique *transversal et pratique* sur l'analyse et la régulation des systèmes grâce à l'usage intensif d'un logiciel de modélisation et de simulation.

Pour la partie électrotechnique, il s'agit de comprendre le fonctionnement et la modélisation des *composants de conversion d'énergie* d'un microréseau :

- convertisseurs à électronique de puissance (hacheurs et onduleurs)
- machines électriques alternatives (synchrone et asynchrone)

Ces connaissances sont exposées sous forme de cours et de séances d'exercices (TD).

Pour la partie automatique, il s'agit de comprendre les stratégies de *commande et de régulation* des composants du microréseau, en particulier l'électronique de puissance. Par ailleurs, cette partie comporte une introduction à la régulation des systèmes de grande taille (le microréseau avec ses nombreux composants).

Cette partie automatique se déroule essentiellement sous forme de sessions pratiques sur ordinateur. Ces séances sont l'occasion de *pratiquer intensivement* un outil de modélisation et de simulation temporelle (Simulink/Simscape). Un des enjeux abordés est le choix d'un niveau de



détail de modélisation adapté à l'objectif visé (compromis entre simplicité, rapidité, fidélité...). Ce savoir-faire transversal a vocation à être transposable à d'autres domaines d'ingénierie.

Remarque : l'optimisation des flux de puissance (power dispatch) d'un réseau pour assurer un fonctionnement économiquement optimal n'est pas abordée. En effet, cette problématique relève du projet d'optimisation de la ST7 « Smart grids et défi énergétique : gestion de l'énergie en site isolé ».

Déroulement, organisation du cours

Les séances de cours visent à acquérir les connaissances de base en électrotechnique. Ces séances incluent des périodes d'exercices sur papier (TD).

Les séances pratiques se font sur ordinateur (Matlab/Simulink) Le travail sur ordinateur peut se faire en binômes. Le temps alloué à ces séances est important pour pouvoir pleinement s'appropriier l'outil de simulation.

Cours : 9 heures, TD : 9 heures, TP : 15 heures, Évaluation (examen écrit) : 2 heures.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation de la partie cours se fait par un examen écrit final.

L'évaluation de la partie pratique se fait par validation de l'avancement au fur et à mesure ainsi que par un rapport final.

La pondération entre la partie cours et la partie pratique est 50%, 50%.

Support de cours, bibliographie

Page du cours sur Edunao:
<https://centralesupelec.edunao.com/course/view.php?id=1494>

Moyens

Équipe pédagogique :



- Pierre Haessig : Responsable de cours
- Alexandros Charalampidis : sessions pratiques sur ordinateur
- Loïc Matel : cours sur les machines électriques et l'électronique de puissance

Logiciels utilisés : Matlab, avec Simulink et la toolbox [Simscape Electrical](#). Les licences académiques de ces produits sont gratuites pour tous les étudiants de CentraleSupélec.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de la partie cours, les élèves seront capables de :

- *Décrire le fonctionnement et réaliser des analyses théoriques simples* des machines électriques et des convertisseurs à électronique de puissance abordés dans le cours

À l'issue de la partie pratique, les élèves seront capables de :

- *Implémenter* des modèles de convertisseurs électroniques dans un simulateur (Simulink) avec une complexité adaptée aux phénomènes à étudier.
- *Décrire* la structure de contrôle d'un convertisseur électronique et *régler* certaines boucles de régulation de cette structure
- *Évaluer/analyser* le bon fonctionnement de la régulation par des simulations judicieusement choisies

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les acquis d'apprentissage 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



2EL6150 – Commande prédictive

Responsables : Romain BOURDAIS
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

La commande prédictive, de l'anglais **Model Predictive Control (MPC)**, est la technique de commande avancée la plus utilisée dans l'industrie. Son utilisation industrielle est en plein essor, car elle permet d'optimiser le fonctionnement d'un process industriel, son efficacité énergétique tout en intégrant des contraintes de fonctionnement. Pour autant, elle fait encore l'objet d'un grand nombre de publications scientifiques, même si les dernières préoccupations de la communauté scientifique restent très théoriques.

Cet électif présente les grands principes de la commande prédictive dans un formalisme mathématique clair, lisible et intuitif et qui n'est pas réservé aux ingénieurs automaticiens - *La commande prédictive sera traitée en profondeur et sous tous les aspects de l'automatique dans la mention de 3ème année « Control Engeneering »* - Après une introduction aux concepts de base du MPC, l'électif est construit autour de nombreux cas d'étude, où ils seront appliqués tant en simulation qu'en pratique pour différents processus industriels. Il est donc question dans cet électif d'apporter des outils de décisions et de commande qui exploitent un modèle du système afin d'en améliorer son efficacité. Les attentes en termes d'efficacité sont traduites en un multicritère mathématique qu'il faut chercher à minimiser. Le modèle peut être issu d'une représentation mathématique du système considéré, auquel cas des méthodes classiques (déterministe, programmation linéaire par exemple, ou résolution explicite) d'optimisation peuvent être utilisées. Le process d'optimisation peut aussi exploiter un simulateur du système étudié, celui-ci doit alors utiliser des techniques heuristiques.

Les applications seront focalisées sur la gestion de l'énergie dans un écoquartier et sur l'exploitation de telles techniques pour le



dimensionnement de systèmes de production ou de stockage de l'énergie.

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

SG8

Prérequis

Cours d'Automatique

Cours d'Optimisation

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction à la commande prédictive (6h de cours, 6h de TD, 9h de TP dont 1 heure écrit de validation)

- Concepts de base
 - Modèle de prédiction
 - Principe d'horizon glissant
 - Cahier des charges et formalisation d'objectifs en optimisation multicritère
 - Résolution d'un problème d'optimisation en boucle ouverte et implémentation en boucle fermée
 - Paramètres de réglage
 - Résolution explicites et implicites
- Commande prédictive à critère économique
- Intégration des contraintes de fonctionnement et leur relaxation
- Intégration d'incertitudes et optimisation par co-simulation et algorithmes métaheuristiques

Cas d'étude 1 : Gestion de l'énergie dans un bâtiment résidentiel (1h de CM, 4h de TP, 9h de Homework, 1 heure d'examen). Travail en groupe de 3/5 élèves. Ce premier cas d'étude a pour objectif l'intégration d'un ensemble de systèmes hétérogènes complexes dans un gestionnaire d'énergie.

- Analyses de données et analyse bibliographique
- Conception d'un système de management d'énergie, intégrant des contraintes énergétiques et de puissance.
- Intégration de procédés mixtes : continus et à variables décisionnelles
- Développement d'un simulateur d'évaluation de la performance
- Contrôle des connaissances



Cas d'étude 2 : Dimensionnement et pilotage prédictif d'une production solaire et d'un stockage électrique pour l'indépendance énergétique d'un site isolé (1h de CM, 5h de TP, 18h de homework, 1 exposé des résultats).

Ce second cas d'étude intègre une dimension économique doublée d'une prise de risque quant à la gestion des incertitudes.

- Analyses de données et analyse bibliographique
- Intégration de l'incertitude (phénomènes météorologiques, consommations aléatoires)
- Recherche de compromis : investissement dans l'infrastructure et capacité de pilotage actif performant
- Calcul de retour sur investissement
- Evaluation des confort (satisfaction des demande)
- Analyse de risques
- Challenge inter équipe – Exposé et évaluation par les pairs

Déroulement, organisation du cours

Ce module est construit sur très peu de cours théoriques et mise en apprentissage par la pratique, combinant à la fois des expérimentations sur maquette (soufflerie industrielle) et des études technico-économiques où les contenus théoriques servent de support à la prise de décision.

Organisation de l'évaluation

Contrôle individuel sur 1ère partie (0.3) Contrôle individuel sur 2ème partie (0.2) 1 note d'exposé sur 3ème partie (0.5)

Support de cours, bibliographie

- Model-based Predictive Control – A practical approach, J.A. Rossiter, CRC Press, 2003
- Model Predictive Control: Theory and Design, J. Rawlings and D. Mayne, Nob Hill Pub, 2009
- Model Predictive Control, E. Camacho and A. Bordons, Springer-Verlag London, 2007

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Romain Bourdais, Pierre Haessig
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 25 élèves



- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Matlab/Simulink/Optimization Toolbox
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : 25 élèves, Maquette Soufflerie (disponible sur le campus de Rennes)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Spécifier les enjeux technico-économiques du problème de contrôle-commande sous un formalisme de commande prédictive :
 - Faire le choix d'un critère d'optimisation
 - Intégrer les contraintes de fonctionnement et d'usage
- Choisir et utiliser un outil d'optimisation pour la résolution du problème de commande prédictive considéré.
- Choisir les paramètres de réglage adapté à la situation et d'argumenter quant à ces choix, par le biais de simulation.
- Maîtriser la communication scientifique et technique (lors des compte-rendu ou lors des exposés).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- "Spécifier les enjeux du problème de contrôle-commande sous un formalisme de commande prédictive " s'inscrit dans **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"**.
- "Choisir et utiliser un outil d'optimisation adapté pour la résolution du problème de commande prédictive considéré" s'inscrit dans **C1.2 "Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème"**.
- "Maîtriser la communication scientifique et technique" s'inscrit dans **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 »**.
- Le travail en équipe lors des 2 études de cas s'inscrit dans **C8.1 "Travailler en équipe/en collaboration"**.



2EL6160 – Economie de l'innovation

Responsables : Romain BOURDAIS
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de cette intervention est double. Il s'agit dans un premier temps d'aborder la question générale de l'innovation sur les marchés du point de vue de la théorie économique, avec une attention particulière portée sur les fondements de l'introduction des outils de la propriété intellectuelle en tant que mécanismes correcteurs des défaillances de marché. L'approche abordée pour ce faire est microfondée, et repose sur la présentation et la résolution de modèles théoriques d'économie industrielle bien connus afin d'identifier les conditions dans lesquelles un recours à ces outils est à préconiser, dans un contexte d'interactions stratégiques – concurrentielles et/ou coopératives – sur les marchés.

Un second volet de ce cours a pour objet la présentation de modèles conceptuels en matière d'innovation d'un point de vue du manager. Il consiste à aborder des points concrets d'activation de stratégies d'innovation s'appuyant sur des modèles récents de leur mise en application au sein de l'organisation. Précisément, un effort est porté sur la meilleure compréhension du changement de paradigme d'un modèle d'innovation dite fermée vers un nouveau modèle d'innovation dite ouverte, en exposant les points de rupture entre ceux-ci. A travers des cas d'usage, une question essentielle repose sur la meilleure compréhension des stratégies actuelles en matière de propriété intellectuelle, dans un contexte dans lequel des dynamiques coopératives peuvent se mêler aux traditionnelles relations concurrentielles. En découlent des nouvelles opportunités de croissance, qui requièrent la construction de nouveaux modèles d'affaires s'appuyant dans certains cas sur un relâchement discrétionnaire de droits de propriété intellectuelle stricts. Des nouveaux modèles d'affaires (modèles de plateforme, crowdsourcing, ...) sont enfin présentés, soulignant le rôle des innovations marchandes en tant que compléments aux innovations technologiques usuelles.



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

SG6

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Innovation(s) et prise de décision en environnement incertain : Une introduction générale à l'économie de l'innovation
- Défaillance de marché et propriété intellectuelle
 - Définitions et mise en lumière
 - Le brevet : un outil correcteur ?
 - Un modèle de course à l'innovation
 - Un modèle de brevet dormant
 - Un modèle de licence
- Innovation et R&D : De la concurrence à la coopération ?
 - Les externalités de connaissance
 - Un modèle de concurrence et de coopération en R&D avec externalités de connaissance
- Innovation : Pratiques managériales modernes
 - Le « problème » du manager
 - Le modèle d'innovation fermée
 - Présentation conceptuelle
 - Une étude de cas : Xerox
 - Vers un nouveau paradigme : le modèle d'innovation ouverte
 - Présentation conceptuelle
 - Une étude de cas : Intel
- Vers des nouveaux modèles d'affaires
 - Modèles de plateforme
 - Le crowdsourcing comme recours à la 'foule'
 - Les activités hors-la-loi en tant que nouvelle source de revenus
 - Des modèles d'affaires innovants dans l'industrie du logiciel : les modèles d'affaires du logiciel libre

Déroulement, organisation du cours

Cet électif est constitué de différents cours magistraux et les applications seront étudiées durant des séances de travaux dirigés



Organisation de l'évaluation

Un examen écrit aura lieu lors de la dernière séance

Moyens

Les cours seront assurés par Thomas Le Texier, maître de conférences à l'université de Rennes 2

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, l'élève sera capable

- de présenter les différents instruments de la propriété intellectuelle, de leur définition stratégique et de leurs effets pour la firme et pour le marché (performance et régulation)
- de construire des modèles théoriques en économie industrielle au sens large, et à l'économie industrielle de l'innovation, de la propriété intellectuelle et des marchés numériques en particulier
- de définir et d'exploiter les modèles managériaux récents en matière de management de l'innovation ainsi que les nouveaux modèles d'affaires

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
- C6.6 Comprendre l'économie numérique



2EL6170 – Management de la production et des flux

Responsables : Romain BOURDAIS
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de ce cours est d'abord d'initier les étudiants aux principaux concepts de la gestion de production et des flux, afin de

- mieux comprendre les enjeux actuels et le rôle de la gestion de production dans les organisations
- parler le même langage que les dirigeants d'entreprise

Son second objectif est de familiariser les étudiants aux méthodes et outils applicables en gestion de production et des flux, principalement :

- les méthodes de pilotage des flux et des stocks
- les méthodes d'amélioration de la performance industrielle (lean manufacturing)

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

SG8

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Produits et ressources, flux et capacité dans l'entreprise
 - Gérer des produits et des ressources dans l'entreprise
 - Gérer des produits : les décisions de flux
 - Gérer des ressources : les décisions de capacité



- Assurer la synchronisation des flux et des capacités dans le temps
- Les données associées aux produits et aux ressources
 - Les données techniques
 - Les données d'activités
- Le pilotage des flux et des stocks
 - La gestion des stocks
 - Les modèles de gestion des stocks pour une demande indépendante
 - Choix d'un modèle
 - La planification des flux
 - La planification globale : élaboration du PIC
 - La planification détaillée : élaboration du PDP
 - La programmation des flux
 - Logique MRPO de calcul des besoins
 - Logique MRP1 : adéquation charge-capacité
 - L'ordonnancement des flux
 - L'ordonnancement centralisé
 - L'ordonnancement décentralisé (Kanban...)
 - Les approches Demand Driven – une synthèse crédible ?
- Amélioration de la performance industrielle (logique lean)
 - Mesurer la performance industrielle
 - Les critères de calculs
 - Les TRS et les autres indicateurs
 - Le Juste-A-Temps (logique lean)
 - Actions au niveau des produits
 - Actions au niveau des ressources
 - Actions au niveau des relations avec les partenaires – lien avec le Supply Chain Management et le méthodes partenariales (GPA, GMA, CPFR...) + les nouveaux outils (Blockchain)

Déroulement, organisation du cours

Le cours est composé d'alternance entre des cours magistraux et des travaux dirigés

Organisation de l'évaluation

Ce module sera évalué par un examen écrit.

Moyens

Le cours (mélange de cours magistraux et de travaux dirigés) est assuré par



une équipe de professeurs de l'Institut de Gestion de Rennes.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, les élèves seront capables de :

- Établir les liens entre la fonction Gestion de production et au sens large logistique avec les différents services de l'entreprise.
- Identifier les principales problématiques de la logistique (notamment industrielle) dans les organisations
- Utiliser les principales méthodes de gestion des stocks et de pilotage des flux et analyser leurs conséquences pour l'entreprise.
- Identifier les méthodes de gestion des stocks et de pilotage des flux les plus adaptés à un environnement donné
- Utiliser quelques indicateurs de productivité en logistique industrielle (TRS...)

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

C2.5 Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior)

C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles



2EL6180 – Marketing digital

Responsables : Romain BOURDAIS
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de présenter la démarche marketing et ses enjeux, et de montrer l'impact de la transformation digitale sur l'entreprise et plus précisément sur la fonction marketing.

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

SG6

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction

1. La petite histoire du marketing
2. Qu'est-ce que le marketing ?
3. Le rôle clé de la valeur perçue
4. Le marketing dans un contexte de transformation digitale et de globalisation

I. Les fondamentaux du marketing

1. Etablir une stratégie marketing
 - a. Le diagnostic stratégique
 - b. L'étude marketing
2. Mettre en œuvre la stratégie marketing : le mix marketing



II. L'impact du digital sur le marketing

1. De la digitalisation à la transformation digitale : définitions et représentations de la transformation digitale des entreprises
2. L'impact du digital sur les problématiques managériales
3. L'utilisation des nouvelles technologies pour l'optimisation de la démarche marketing
 - a) Digitalisation et étude marketing
 - b) Digitalisation et mix marketing
 - La modification des espaces et des lieux
 - La modification des relations sociales
 - La modification de l'offre
 - La modification du rôle des acteurs de l'entreprises
4. Typologie illustrée des stratégies digitales des entreprises

Conclusion

Déroulement, organisation du cours

Les différents cours sont assurés par des professeurs et maîtres de conférences de l'université de Rennes. Les concepts vus en cours seront illustrés et mis en perspective lors d'une visite d'entreprise (2 ou 3 h) et d'une rencontre « interview » avec un praticien du marketing digital (3h d'intervention de Marianne Auffrey, ancienne responsable marketing du stade rennais sur la communication digitale)

Organisation de l'évaluation

Un dossier écrit individuel sera demandé à l'issue du module.

Support de cours, bibliographie

Ferrandi F., Lichtlé M.C. (2014), Marketing, Dunod, 352p.

Aurélié Dudezert A. (2018), La transformation digitale des entreprises. Paris, La Découverte, « Repères ». URL : <https://www.cairn.info/la-transformation-digitale-des-entreprises--9782348036019-page-57.htm>
Hagberg J., Sundstrom M., Egels-Zandén N., (2016) "The digitalization of retailing: an exploratory framework", International Journal of Retail & Distribution Management, 44, 7, 694-712

Moyens

L'équipe pédagogique est constituée de Maud Daniel et Jacques Diouf, professeurs à l'université de Rennes 2.



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables de :

- Etablir le diagnostic stratégique/marketing d'une marque/d'une enseigne
- Savoir construire et mettre en œuvre un plan d'action marketing
- Savoir situer la stratégie d'une entreprise dans un contexte de transformation digitale
- Optimiser l'utilisation des nouvelles technologies dans la mise œuvre de la stratégie marketing

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C4.1 : Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socio-économiques.

C7.4 : Maitriser le langage parlé, écrit et corporel. Maitriser les techniques de base de communication



2EL6190 – Méthodes bayésiennes pour l'apprentissage automatique

Responsables : Simon LEGLAIVE
Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours :
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 0
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 35
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les techniques de modélisation, d'inférence et de prédiction bayésienne sont devenues courantes en apprentissage automatique (ou machine learning en anglais). Les modèles bayésiens sont utilisés en analyse de données pour décrire par l'intermédiaire de facteurs latents le processus de génération de données complexes (images médicales, audio, documents, etc.) La découverte de ces variables latentes ou cachées à partir des observations repose sur la notion de distribution de probabilité a posteriori, dont le calcul correspond à l'étape d'inférence bayésienne.

Prenons l'exemple d'une technique appelée « allocation de dirichlet latente » (de l'anglais Latent Dirichlet Allocation) ou LDA. Il s'agit d'une méthode bayésienne, permettant notamment de découvrir des thématiques cachées dans un ensemble de documents observés. Si l'on applique cette technique pour analyser un ensemble de 1102 résumés d'articles scientifiques portant sur des approches bayésiennes en machine learning, il en ressort les thématiques suivantes :

Topic #1: model models data process latent bayesian dirichlet hierarchical nonparametric inference

Topic #2: features learn problem different knowledge learning image object example examples

Topic #3: method neural bayesian using linear state based kernel approach model

Topic #4: belief propagation nodes local tree posterior node nbsp given algorithm



Topic #5: learning data bayesian model training classification performance selection prediction sets

Topic #6: inference monte carlo markov sampling variational time algorithm mcmc approximate

Topic #7: function optimization algorithm optimal learning problem gradient methods bounds state

Topic #8: learning networks variables structure network bayesian em paper distribution algorithm

Topic #9: bayesian gaussian prior regression non estimation likelihood sparse parameters matrix

Topic #10: model information bayesian human visual task probability sensory prior concept

(source : Rémi Bardenet, [https://github.com/rbardenet/bml-](https://github.com/rbardenet/bml-course/blob/master/notebooks/00_topic_modelling_for_Bayesian_ML_papers.ipynb)

course/blob/master/notebooks/00_topic_modelling_for_Bayesian_ML_papers.ipynb)

Des thématiques reconnaissables se détachent, comme le *Topic #6* sur les méthodes d'inférence bayésienne approchées ou le *Topic #8* sur l'apprentissage dans les réseaux bayésiens.

L'approche bayésienne en machine learning a pour avantage d'être interprétable, et elle permet d'inclure facilement des connaissances expertes à travers la définition des a priori sur les variables latentes d'intérêt. De plus, elle offre naturellement une information d'incertitude sur la prédiction, ce qui peut être particulièrement important dans certains contextes applicatifs, comme pour la pose de diagnostic médical ou pour la conduite autonome par exemple.

Après une introduction et quelques rappels, nous étudierons tout d'abord la théorie de la décision bayésienne. Nous verrons ensuite les modèles à variables latentes et les techniques d'inférence exacte comme l'algorithme espérance-maximisation. L'inférence exacte n'étant pas toujours possible, nous passerons aux techniques approchées, de type variationnelle et Monte Carlo par chaîne de Markov. Nous étudierons également les méthodes récentes d'inférence variationnelle basées sur des techniques d'optimisation par descente de gradient stochastique et permettant de passer à l'échelle pour des grands jeux de données ou pour des données en grande dimension. Nous terminerons sur les approches bayésiennes pour l'apprentissage profond (deep learning en anglais), qui sont au coeur des enjeux actuels en intelligence artificielle.

Les notions théoriques seront mises en pratique sur des données concrètes, notamment lors de travaux pratiques (basés sur Python). Différents modèles d'apprentissage bayésien supervisé et non-supervisé seront implémentés. Ces exemples permettront notamment d'étudier l'influence des a priori sur les paramètres du modèle et sur la prédiction obtenue par rapport à une approche non bayésienne.



Prérequis

Notions de bases en statistiques et probabilités. Fondamentaux de l'apprentissage automatique : minimisation du risque empirique, maximum de vraisemblance, apprentissage supervisé (modèles linéaires pour la régression et la classification), apprentissage non-supervisé (réduction de dimension, partitionnement). Le cours de 1ère année « Statistiques et apprentissage » fournit l'ensemble de ces prérequis.

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours :

- Introduction et rappels
- Théorie de la décision bayésienne
- Modèles à variables latentes et inférence exacte
- Inférence variationnelle
- Méthodes de Monte Carlo par chaîne de Markov
- Modélisation et inférence pour les données séquentielles
- Méthodes bayésiennes et apprentissage profond

Travaux pratiques :

- Analyse en composante principale probabiliste
- Régression linéaire bayésienne
- Modèle bayésien de mélange de Gaussiennes
- Méthodes bayésiennes en apprentissage profond

Déroulement, organisation du cours

Le module est organisé en 7 séances de cours magistraux de 3 heures, et 4 séances de travaux pratiques (TP) de 3 heures (sur Python). Certains cours magistraux pourront également inclure une mise en pratique ponctuelle sur ordinateur. Il pourra aussi être demandé aux élèves d'effectuer un travail préparatoire théorique avant les séances de TP.

Organisation de l'évaluation

Les élèves seront évalués par l'intermédiaire de comptes rendus de TP (sous forme de notebooks Jupyter) pour 30% de la note finale, et sur la base d'un examen sur table de 2 heures pour 70% 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 :

- Christopher M. Bishop, « *Pattern Recognition and Machine Learning* »
- Kevin P. Murphy, « *Machine Learning, A Probabilistic Perspective* »

Moyens

Equipe enseignante : Simon Leglaive

Outils logiciels : Anaconda (gestionnaire de packages Python).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin du cours, les élèves sont censés :

- savoir quand il est utile ou nécessaire d'avoir recours à une approche bayésienne en machine learning ;
- avoir une vue d'ensemble des principales approches de modélisation et d'inférence bayésienne ;
- savoir identifier et dériver un algorithme d'inférence bayésienne à partir de la définition d'un modèle ;
- être capable d'implémenter des méthodes standards d'apprentissage bayésien supervisé ou non-supervisé.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C6.4 Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle.

C6.5 Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.



COURS SEQUENCE THEMATIQUE 5



ST5 – 51 – PILOTAGE ET CONTROLE DE VOL DANS LE TRANSPORT AERONAUTIQUE ET SPATIAL

Dominante : GSI (Grands Systèmes en Interaction) et CVT (Construction, Ville et Transports)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Cette séquence aborde la problématique de la conception de lois de pilotage et du contrôle dynamique de vol de véhicules (avion, satellite et lanceur). Elle vise à donner aux élèves les notions de base associées à la conception de systèmes de contrôle d'un objet volant autour de ses 6 degrés de liberté afin de garantir une stabilité de fonctionnement et les performances requises. Les technologies dans les domaines de l'aéronautique et du spatial étant en constante évolution (propulsion, structure, matériaux, etc.), les lois de pilotage doivent s'adapter pour garantir les meilleures performances tout en tenant compte des nouvelles contraintes, notamment réglementaires, environnementales et économiques.

L'enseignement d'intégration permet de mettre en œuvre les compétences et connaissances acquises dans le cas d'un avion, d'un nanosatellite et/ou d'un lanceur. Ces véhicules connaissent un engouement ces dernières années du fait de la réduction du coût associé à la construction et au fonctionnement. Cependant, il soulève de nouvelles problématiques notamment pour le contrôle d'attitude et des performances dus à la miniaturisation des composants et donc de la réduction de leurs capacités d'action et leur efficacité.

L'intervention d'industriels du secteur de l'aéronautique et du spatial dans cette séquence permet de mieux appréhender les enjeux associés à la conception et l'exploitation de systèmes de plus en plus contraints.

Prérequis nécessaires

Deux grandes thématiques sont abordées dans cette séquence : la modélisation d'objets indéformables et la modélisation de systèmes linéaires (fonctions de transfert, représentation d'état, équations différentielles) pour le contrôle. Ces prérequis font partie du cours commun de Modélisation (ST2) et de l'électif Mécanique et milieux continus. Le reste des compétences nécessaires s'appuie sur une capitalisation des connaissances de CPGE et l'autoformation



Modules contexte et enjeux : L'introduction de la séquence s'organise autour de quatre demi-journées de formation visant à présenter la séquence, l'enseignement d'intégration et à introduire les enjeux des différents secteurs du spatial et de l'aéronautique, selon les actions :

1. Présentation de la séquence thématique et introduction aux enseignements d'intégrations
2. Conférence sur les missions spatiales scientifiques (intervenant : CNES) et Table Ronde avec les acteurs scientifiques et économiques du secteur (CNES, Thalès Alinea Space, Airbus Defense and Space, ESA et Safran Tech)
3. Conférence Aéronautique : de la conception des avions de ligne jusqu'à l'exploitation et la gestion du trafic (intervenant : Air France) et Table Ronde avec les acteurs du secteur (Air France, Parrot, Safran, ASTECH).
4. Lanceur (intervenant : ArianeGroup enjeux commerciaux) et table ronde (ArianeGroup, CNES, ESA).
5. Conférence d'introduction au Droit des activités spatiales (intervenant : Institut du Droit de l'Espace et des Télécommunications, IDEST). Conférence d'introduction aux notions de responsabilités et assurances (intervenant : ArianeGroup).

Cours spécifique (60 HEE) : Performances et trajectoires de vol

- **Brève description :** Le cours spécifique de la séquence a pour objectifs :
 - modéliser le comportement d'un engin en vol dans le cadre de la mécanique des corps rigides,
 - décrire la dynamique des véhicules dans le cas de vols dans et hors de l'atmosphère (trajectoire, modes propres, instabilités),
 - choisir et déployer des stratégies de contrôle et pilotage.

Il est organisé en deux temps. Premièrement, en s'appuyant sur le cours de mécanique proposé en première année, la mécanique de corps rigides est introduite pour donner les outils nécessaires à la construction de modèles d'avion, de lanceur, satellites, drone... Dans un deuxième, le cours décrira la dynamique et les stratégies de contrôle d'un avion, d'un satellite et d'un lanceur

Le cours fait intervenir plusieurs acteurs des secteurs de l'aéronautique et du spatial. Les séances permettent de comprendre les modèles utilisés et les stratégies de contrôle à utiliser. Les étudiants prendront en main les outils de contrôle sur un système de leur choix et pourront mettre en place une stratégie de pilotage dans une phase d'avant-projet.

Enseignement d'intégration :

Les trois enseignements d'intégration sont construits de la même façon et couvrent les mêmes objectifs d'apprentissage. Il s'agit de partir d'un cahier des charges de performances pour un avion, un nanosatellite ou un lanceur et d'opérer des choix d'architecture et de pilotage pour assurer les performances attendues. Les objectifs communs sont donc :



- Comprendre les contraintes des systèmes volants, et les différents niveaux de modélisation du comportement dynamique
- Choisir les solutions techniques pertinentes pour le contrôle de trajectoire, de stabilité et d'orientation (capteurs/actionneurs...)
- Concevoir un système complet par modélisation, y compris des actionneurs et des capteurs, dimensionnement des actionneurs, génération d'énergie et capacité de calcul de CPU
- Implémentation d'une loi de commande optimale, avec prise en compte des aspects économiques
- Validation de la loi de commande sur un modèle réaliste

Enseignement d'intégration n°1 : Stratégie de contrôle d'un nanosatellite

- **Partenaire associé :** Thalès Alenia Space via le Centre spatial de CentraleSupélec
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay

Enseignement d'intégration n°2 : Définition et conception de mission d'un lanceur

- **Partenaire associé :** CNES Direction des Lanceurs
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay

Enseignement d'intégration n°3 : Conception d'un avion/Aircraft design

- **Partenaire associé :** OAD SPRL (aircraft design company)
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay



2SC5110 – Performances et trajectoires de vol

Responsables : Sihem TEBBANI
Département de rattachement : AUTOMATIQUE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Cours ST
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) : 34,5
Quota :
ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours spécifique de la séquence thématique 5 « Pilotage et contrôle de vol dans le transport aéronautique et spatial » permet d'acquérir les compétences et connaissances nécessaires pour la modélisation et commande d'un engin en vol (dans et hors de l'atmosphère) en vue d'améliorer les performances du système. Il est divisé en deux parties.

La première partie de ce cours est un tronc commun dont les objectifs sont d'apporter un socle commun de connaissances et de compétences nécessaires pour cette séquence thématique. Ce tronc commun est organisé en trois temps. Premièrement, en s'appuyant sur le cours de mécanique proposé en première année, la mécanique du solide est introduite pour donner les outils nécessaires à la construction de modèles d'avion, de lanceur, satellites, drone... Dans un deuxième temps, le cours décrira la dynamique et les stratégies de contrôle d'un avion. Enfin la mécanique spatiale est introduite pour donner les outils nécessaires à la description du mouvement, des perturbations et des manœuvres hors atmosphère.

La seconde partie du cours correspond aux cours d'introduction aux enseignements d'intégration. Dans cette partie, chaque partenaire industriel intervient auprès des élèves qui auront choisis son enseignement d'intégration. Les objectifs sont d'apporter de nouvelles connaissances et compétences nécessaires pour réussir la semaine d'intégration mais également de renforcer des notions vues dans le tronc commun de ce cours. Ces cours seront axés sur la conception et pilotage de trois systèmes : un avion, un lanceur et un satellite.



Plusieurs experts des secteurs aéronautique et spatial interviendront dans ce cours.

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

ST5

Prérequis

Il n'y a pas de prérequis spécifique

Plan détaillé du cours (contenu)

Tronc commun :

- **Mécanique générale :**

Cette partie du cours propose de donner les notions de base en mécanique du solide. Elle abordera les points suivants :

- Mouvement de solide indéformable (éléments « succincts » de cinématique et de dynamique pour un solide indéformable, théorèmes fondamentaux de la dynamique pour un solide indéformable).
- TD 1 : Mesure des paramètres d'inertie d'un microsatellite
- Liaisons entre solides indéformables (composition des mouvements, efforts de liaison).
- TD 2 : mouvement de Cubli
- Actionneurs dans le domaine aérospatial (stabilité de la rotation autour d'un axe principal d'inertie, effet gyroscopique, application aux actionneurs gyroscopiques, roues de réaction).
- TD 3 : attitude d'un satellite

2. Mécanique du vol :

Cette partie du cours propose d'illustrer la notion de stabilité dynamique à travers l'étude de stabilité d'un avion en vol. L'objectif est d'identifier les mouvements induits par de petites perturbations autour d'un état d'équilibre et de déterminer l'amortissement ou l'amplification de ces mouvements en fonction des propriétés de l'avion. La partie en cours magistral donne tous les outils mathématiques de modélisation pour aborder l'étude de stabilisation. Il abordera les points suivants :



- Définition des angles d'Euler
- Formulation matricielle
- Équations linéarisées dynamiques du mouvement
- Résolution des équations linéarisées

- Présentation de mouvements caractéristiques : phugoïde, oscillation d'incidence, roulis hollandais, roulis pur et spirale.

Les séances de TD serviront à mettre en pratique la démarche et à réaliser une étude de stabilité dynamique exhaustive.

3. Mécanique spatiale

L'objectif de cette partie est d'appréhender le mouvement libre d'un corps dans un champ gravitationnel, de concevoir des manœuvres orbitales permettant de mener à bien une mission donnée, et de modéliser l'influence de différentes perturbations orbitales sur le mouvement d'un corps. Il abordera les points suivants :

- Mouvement d'un corps dans un champ de pesanteur
- Notion d'orbite képlérienne. Cas des orbites elliptiques
- Perturbations orbitales
- Manœuvres orbitales

Cours électif (un au choix en fonction de l'enseignement d'intégration choisi)

Dans la deuxième partie, trois cours seront proposés, et correspondant à des cours d'introduction des enseignements d'intégration.

1. Pilotage d'un avion

Ce cours a pour objectif de détailler la modélisation et pilotage d'un avion. Il abordera les points suivants :

- Présentation d'un cahier des charges pour les performances en vol d'un avion
- Modélisation des forces (dont poussée, portance et traînée)
- Coefficients et ratio pour l'étude des performances des trajectoires.



2. Pilotage d'un lanceur

Le cours de pilotage des lanceurs vise à aborder les fondamentaux du contrôle d'attitude d'un lanceur, en phases propulsées et balistiques. Les exigences à respecter par la fonction pilotage ainsi que les perturbations physiques à gérer au cours du vol seront abordées. Des principes de synthèse de commande seront présentés, ainsi que des aspects relatifs aux actionneurs

3. Pilotage d'un satellite

Ce cours a pour objectif de détailler la modélisation et pilotage d'un satellite. Il abordera les points suivants :

12. Architecture d'un système SCAO,
13. Missions typiques, familles de SCAO, types d'orbites, couples perturbateurs,
14. Capteurs et actionneurs pour un satellite
15. modes et algorithmes de contrôle, contribution du SCAO dans les trade-offs
16. Cahier des charges pour un système de SCAO (stabilité, performances, robustesses, différents contrôleurs,
17. Exemples d'application

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et travaux dirigés.

Plusieurs exemples de systèmes aéronautiques et spatiaux réels seront présentés.

Organisation de l'évaluation

Le cours spécifique sera évalué individuellement par un examen final d'une durée de 1H30. Cette évaluation se fera par QCM. Dix questions seront posées par section sur la première partie du cours (tronc commun) soit 30 questions au total.

Support de cours, bibliographie

- Techniques et technologies des véhicules spatiaux , CNES, Cépaduès Editions, 1998.
- Trajectoires spatiales , O. Zarrouati, Cépaduès Editions, 1987.
- Orbital Mechanics for Engineering Students, H. D. Curtis, Butterworth-Heinemann. 2013.
- Practical Methods for Aircraft and Rotorcraft Flight Control Design: An Optimization-Based Approach, Mark B. Tischler, Tom Berger, Christina M. Ivler, Mohammadreza H. Mansur, Kenny K. Cheung and Jonathan Y. Soong. ISBN: 978-1-62410-443-5.



- Advances In Aircraft Flight Control, M B Tischler, CRC Press, 28 jun. 1996.
- Aircraft Control and Simulation: Dynamics, Controls Design, and Autonomous Systems Brian L. Stevens, Frank L. Lewis, Eric N. Johnson, John Wiley & Sons, 2 oct. 2015 - 768 pages
- Performance, Stability, Dynamics and Control of Airplanes, Third Edition 2015, Bandu N. Pamadi, ISBN: 978-1-62410-274-5.

Moyens

8. Equipe enseignante : G. Puel, E. Bourgeois, Ch. Betrancourt, F. Richecoeur, F. Farago, J. Geoffroy, P. Samson, A. Garus, S. Tebbani (coordination)
9. Taille des TD : 35 élèves
10. Outils logiciels : Matlab

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les objectifs sont d'acquérir les connaissances et compétences pour :

- Modéliser le comportement d'un engin en vol dans le cadre de la mécanique du solide, de la mécanique du vol et de la mécanique spatiale.
- Décrire la dynamique des véhicules dans le cas de vols dans et hors de l'atmosphère (trajectoire, modes propres, instabilités).
- Choisir et déployer des stratégies de contrôle et pilotage.

Ce cours permettra également d'acquérir une vision globale des systèmes de pilotage pour les véhicules en vol et des exigences en termes de performance et des contraintes associées.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A l'issue du cours, les élèves auront une compréhension opérationnelle des outils de conception d'un véhicule en vol via l'acquisition :

- des notions de base en mécanique du solide, la mécanique du vol et la mécanique spatiale
- d'une bonne connaissance des exigences et contraintes du système de pilotage de véhicule en vol
- d'une bonne connaissance de différents systèmes et véhicules en vol (avion, drone, satellite, lanceur).

Ils seront capables de :

modéliser des véhicules dans le cas de vols dans et hors de l'atmosphère (trajectoire, modes propres, instabilités).

- choisir et déployer des stratégies de contrôle et pilotage.
- évaluer les performances du vol d'un véhicule en vol et proposer des solutions efficaces et économiques pour les améliorer.



2SC5191 – Stratégie de contrôle d'un nanosatellite

Responsables : Giorgio VALMORBIDA, Sihem TEBBANI, Christopher BETRANCOURT

Département de rattachement : DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION, DOMINANTE - CONSTRUCTION VILLE TRANSPORTS

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement d'intégration se fera en lien avec Thalès Alenia Space. L'objectif est de concevoir un nanosatellite (Cubesat). Pour une mission spécifique définie par un cahier de charges les participants proposeront une orbite, choisiront les composants du satellite, concevront les modes d'opération et développeront une loi de commande.

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

ST5

Prérequis

Cours "Conception et pilotage d'un satellite : Systèmes de contrôle d'attitude et d'orbite" du cours spécifique "performances et trajectoires de vol".

Plan détaillé du cours (contenu)

Définition des méthodes pour le suivi et la validation du projet : construction de la matrice de traçabilité. Définition du scénario de la mission, définitions des modes possibles pendant la mission, sélection du type d'équipement. Allocation du budget de pointage. Sélection de l'orbite. Évaluation du couple perturbateur. Dimensionnement, sélection et aménagement des capteurs et actionneurs. Modélisation de la dynamique du système et simulation avec couples perturbateurs. Définition des budgets de pointage, de masse et de puissance. Rédaction de la note technique.



Déroulement, organisation du cours

L'EI se fera sous forme de travail en groupe, avec une répartition des sous-problèmes à traiter et tâches à réaliser. Chaque groupe devra proposer une solution pertinente au cahier des charges proposé, avec validation régulière de l'état d'avancement du projet et des solutions proposées.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera sous la forme d'un livrable (rapport, logiciel et soutenance) par équipe de travail (5 élèves). Une note de contrôle continu sera également attribuée. Le contrôle continu se fera à partir des présentations courtes à la fin de chaque séance pendant laquelle les groupes présenteront les résultats de la journée.

Support de cours, bibliographie

Support de cours "Guidage et Pilotage d'un Satellite"

Moyens

- Cahier des charges dans un format industriel
- Logiciels pour simulation de trajectoire et
- Encadrement par des Ingénieurs de Thalès Alenia Space et enseignants-chercheurs de CentraleSupélec.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les objectifs généraux sont :

- Comprendre les contraintes d'un NanoSatellite et les différents niveaux de modélisation et de son comportement dynamique
- Choisir l'orbite du satellite en fonction de sa mission
- Concevoir le satellite dans sa construction physique, avec le choix et dimensionnement d'actionneurs et capteurs et des générateurs d'énergie
- Concevoir le satellite dans ses aspects logiciel : proposition des modes d'opération, développement des modes d'opération et de lois de commande pour répondre aux cahiers de charges en termes de performance.

La validation de chaque étape se fera à l'aide des simulateurs : on utilisera les simulateurs d'orbite pour valider les choix des capteurs pour la mission et des simulateurs de systèmes dynamiques pour l'étude et validation des lois de commande proposées (GMAT, VTS Timeloop, Matlab/Simulink).



À la fin de ce module les participants auront acquis les connaissances sur les étapes de la conception d'un satellite, sur les choix d'orbite, le choix de matériel et architecture du satellite ainsi que le projet et validation de lois de commande.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

9. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques (C1).
10. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers (C2).
11. Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique (C3).
12. Maitriser le langage parlé, écrit et corporel. Maitriser les techniques de base de communication (C7.4).
13. Travailler en équipe/en collaboration (C8.1).
14. Faire appel à l'expertise des autres et repousser ses propres limites. Identifier et exploiter les richesses et les talents. (C8.3)
15. Travailler en mode projet en mettant en oeuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation. (C8.4)
16. Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques (C9.4).



2SC5192 – Définition et conception de la mission d'un lanceur

Responsables : Christopher BETRANCOURT, Sihem TEBBANI

Département de rattachement : DOMINANTE - CONSTRUCTION VILLE
TRANSPORTS, DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement d'intégration a pour objectif d'amener les élèves, au travers d'un projet de conception de lanceur spatial, à faire l'expérience d'une boucle de dimensionnement multi-disciplinaire. Il s'agit ainsi d'appréhender les interactions entre les différentes disciplines techniques impliquées, et de développer une logique de travail permettant d'assurer le bon déroulement des itérations associées.

Un autre enjeu est également d'appréhender les enjeux techniques propres à chaque discipline, et d'acquérir des méthodes de dimensionnement adaptées à une boucle préliminaire de conception. A cette fin, le projet est articulé en modules reflétant le déroulement d'une boucle de conception, des ingénieurs du CNES DLA (Direction des Lanceurs) accompagnant les élèves au cours de chacun de ces modules. Ce projet comporte notamment un module "pilotage des lanceurs" mettant en œuvre l'enseignement académique délivré dans le cours spécifique "Performances et trajectoires de vol", et qui permettra aux élèves d'apprécier dans quelle mesure l'élaboration de la fonction pilotage est en lien étroit avec les besoins de la mission, les enjeux physiques associés, et les performances du lanceur spatial.

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

ST5

Prérequis

Cours "Pilotage d'un lanceur" du cours spécifique "performances et trajectoires de vol".



Plan détaillé du cours (contenu)

Cet enseignement d'intégration s'articulera autour des modules suivants :

- Analyse de mission – étagement
- Trajectoire
- Propulsion liquide
- Propulsion solide
- Aérodynamique et charges mécaniques
- Dimensionnement de structures
- Pilotage des lanceurs

Chaque module fera l'objet d'une séance (une demi-journée par module) dédiée au cours de laquelle les élèves, répartis en binôme, devront concevoir et consolider un projet de lanceur spatial répondant à un cahier des charges spécifique.

Déroulement, organisation du cours

Les intervenants CNES DLA encadreront ces travaux au travers d'un ensemble de questions posées aux élèves visant à les amener à faire des choix de conception, tout en s'assurant de la bonne compréhension des enjeux (techniques, programmatiques) et des problèmes physiques afférents. Des outils analytiques et numériques devront être mis en œuvre par les élèves afin de répondre aux problèmes soulevés. Les hypothèses et données considérées devront être questionnées afin notamment de bien appréhender les enjeux d'une boucle de conception multi-disciplinaire ; ces éléments amèneront notamment les élèves à devoir itérer sur leurs choix de conception afin d'obtenir des solutions techniques pertinentes.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera sous la forme d'un livrable (rapport final, notes d'état d'avancement du projet à l'issue de chaque module) et une soutenance orale.

Support de cours, bibliographie

- Enoncé (format papier) structurant les développements à mener par les étudiants.
- Outils de dimensionnement préliminaires simplifiés (sous WINDOWS 10).



Moyens

- cahier des charges et énoncé structurant les développements à mener par les élèves.
- Outils informatiques de dimensionnement préliminaires simplifié
- Encadrement : Ingénieurs du CNES Direction des Lanceurs.
- Travail en binôme.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce projet, les élèves auront une compréhension opérationnelle des outils de conception d'un lanceur via l'acquisition :

- d'une bonne connaissance des exigences et contraintes pour la conception d'un lanceur
- d'une bonne connaissance de différents systèmes constituant un lanceur
- d'appréhender les interactions entre les différentes disciplines techniques impliquée dans la conception d'un lanceur et les enjeux associés

Ils seront capables de :

- modéliser la trajectoire d'un lanceur et mettre en oeuvre des méthodes de dimensionnement de lanceur
- choisir et déployer des stratégies de pilotage d'un lanceur
- évaluer les performances du vol du lanceur et proposer des solutions efficaces et économiques pour les améliorer.
- savoir répondre aux exigences de la boucle de conception multi-disciplinaire d'un lanceur

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).
- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique (C3).
- Maîtriser le langage parlé, écrit et corporel. Maîtriser les techniques de base de communication (C7.4).



- Travailler en équipe/en collaboration (C8.1).
- Faire appel à l'expertise des autres et repousser ses propres limites. Identifier et exploiter les richesses et les talents. (C8.3)
- Travailler en mode projet en mettant en oeuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation. (C8.4)
- Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques (C9.4).



2SC5193 – Conception d'un avion électrique

Responsables : Christopher BETRANCOURT, Sihem TEBBANI
Département de rattachement : DOMINANTE - CONSTRUCTION VILLE TRANSPORTS, DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Enseignement d'intégration
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) : 27
Quota :
ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de faire découvrir les différentes étapes du processus de conception d'un avion, à la fois d'un point de vue théorique et d'un point de vue pratique. Les méthodes types utilisées dans les bureaux d'étude seront présentées puis appliquées à la conception d'un avion choisi par l'étudiant.

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

ST5

Prérequis

Avoir suivi le cours électif « Pilotage d'un avion » du cours spécifique « Performances et trajectoires de vol ».

Plan détaillé du cours (contenu)

Lorsqu'une équipe s'engage à dessiner un nouvel avion ou à modifier un avion existant, elle le fait toujours suivant le même schéma. Le processus commence par une analyse des produits existants. Viennent ensuite les phases d'étude conceptuelle, d'étude préliminaire et d'étude de détail. Les plans de réalisation sont ensuite envoyés à l'atelier qui réalise le prototype. Plusieurs itérations sont bien sûr nécessaires à chaque étape avant de passer à l'étape suivante. Le cours commence par une approche du design plus ou moins globale ou synthétique avant d'entrer plus avant dans les détails. Nous irons du concept de base jusqu'à l'optimisation complète, en commençant par utiliser des paramètres issus de données statistiques simples pour aller progressivement vers l'utilisation d'algorithmes sophistiqués.



Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera lors de la dernière journée de cours. Elle consistera dans un premier temps à une présentation orale de 5 minutes pour présenter le projet suivi par une séance de questions/réponses.

Moyens

Enseignant : Didier Breyne

Logiciel d'analyse et de modélisation ADS

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les étudiants apprennent dans ce cours à :

- Définir la configuration générale du nouvel appareil.
- Estimer le poids à vide et le poids maximal au décollage.
- Evaluer les performances aérodynamiques de l'appareil.
- Estimer les performances (décollage, montée, croisière, atterrissage).
- Analyser la stabilité et le contrôle sur les 3 axes de l'appareil.
- Estimer les coûts (design, production, opérations).

Il est à préciser que les concepts généraux présentés dans ce cours s'appliquent non seulement à la conception des avions, mais aussi à la conception et au développement de nombreux autres produits ou services.

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).
- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique (C3).
- Maitriser le langage parlé, écrit et corporel. Maitriser les techniques de base de communication (C7.4).
- Travailler en équipe/en collaboration (C8.1).
- Faire appel à l'expertise des autres et repousser ses propres limites. Identifier et exploiter les richesses et les talents. (C8.3)
- Travailler en mode projet en mettant en oeuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation. (C8.4)
- Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques (C9.4).



ST5 – 52 – COMMANDE DE (BIO)PROCEDES POUR PRODUIRE DURABLE

Dominante : VSE (Vivant-Santé-Environnement) et GSI (Grands Systèmes en Interaction)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Le développement durable tient une place grandissante dans les développements actuels et futurs des différents secteurs industriels. Des solutions de modernisation et d'évolution des moyens de production sont à l'étude afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre, notamment en proposant des alternatives aux énergies fossiles. Parmi les solutions étudiées, cet enseignement d'intégration s'intéresse plus spécifiquement aux biotechnologies et aux bioprocédés, performants et respectueux de l'environnement, comme alternatives aux technologies actuelles. En effet, les bioprocédés sont l'un des piliers de la transition vers une économie durable. Leur émergence requiert la mise en œuvre de connaissances pluridisciplinaires, notamment pour l'optimisation de leur fonctionnement (maximisation de la productivité et/ou de la dégradation de polluants).

Cet enseignement se propose de donner des éléments de réponse pour la conception de procédés dans le cadre du développement durable, par la conception de systèmes automatiques pour la production de composés à hautes valeurs ajoutées et/ou le traitement de déchets. Plus spécifiquement, il s'intéresse au développement de cultures automatisées de microorganismes pour répondre aux problématiques d'énergies, par exemple production de biocarburants, de pollutions et gaz à effet de serre (recyclage de systèmes d'aquaculture, traitement des eaux usées, consommation de CO₂), et de réduction de l'empreinte écologique (production de biopolymères), *etc.*

Dans cet enseignement, le concept d'utilisation de bioprocédés pour le développement durable est présenté ainsi que la conception de systèmes automatisés pour maintenir le bioprocédé dans des conditions opératoires optimales (pour maximiser sa productivité). La démarche peut s'étendre à d'autres applications de bioprocédés non traitées dans la ST dans le secteur des biotechnologies (par exemple la culture de cellules souches pour des applications médicales). Les concepts présentés peuvent également être appliqué à des secteurs d'application élargis, au-delà du développement durable (pharmaceutique, génie génétique, cosmétique, agroalimentaire, *etc.*). L'intervention d'industriels du secteur permet de mieux comprendre



les enjeux associés à l'utilisation et optimisation des bioprocédés pour le développement durable.

Prérequis nécessaires

Autoformation (Modélisation de culture de micro-organisme en bioréacteur). Un document détaillant ces aspects sera fourni.

Modules contexte et enjeux : cette partie s'organise autour de demi-journées de formation visant à présenter la séquence, l'enseignement d'intégration et à introduire les enjeux associés au développement durable et plus spécifiquement à celui de l'étude de bioprocédé, au travers des activités suivantes :

- Conférence « Historique et perspectives du développement des biotechnologies » donnant un aperçu de l'évolution des biotechnologies et des besoins actuels et futurs de ce secteur.
- Conférence sur l'Usine du futur, autour de l'Usine 4.0 et de l'impact de la révolution numérique sur le secteur des bioprocédés
- Cours d'introduction au développement durable puis atelier permettant une mise en application des concepts sur un cas d'étude
- Conférence sur les microalgues dressant un bilan du rôle, des enjeux et des perspectives en lien avec la culture des microalgues dans le cadre du développement durable
- Conférence sur la transition énergétique dressant un bilan sur les sources d'énergies (fossiles, nucléaire, renouvelable) et permettant de mettre en évidence l'intérêt et le rôle des bioprocédés dans la production et le stockage de l'énergie, ainsi que des enjeux associés.
- Conférence sur la transition environnementale dressant un bilan des problématiques environnementales qu'il faut adresser (raréfaction des ressources, pollution, risques sanitaires, *etc.*) et permettant de mettre en évidence l'intérêt et le rôle des bioprocédés dans la valorisation des déchets et la conversion de la biomasse en produits durables
- Conférence sur la bioéthique, montrant que l'utilisation des bioprocédés fait ressurgir des questions sur l'éthique des solutions proposées, notamment lorsque ces solutions font appel à la conception d'organismes dont le génome est modifié. Cette conférence est une introduction aux questionnements liés à l'utilisation des biotechnologies et, plus généralement, à la place de l'Homme dans la biosphère et au respect de la nature et de l'environnement.
- Conférence sur « Automatique et bioprocédés » s'intéressant plus spécifiquement à la place de l'automatisation et de l'automatique pour accompagner les transitions vers une économie durable

Cours spécifique (60 HEE) : Ingénierie des procédés : application à l'environnement et aux productions durables ; Process engineering for sustainable development



- **Brève description** : Le Génie des Procédés moderne consiste à concevoir, exploiter, optimiser des procédés respectueux de l'environnement, destinés à l'élaboration de produits et services variés dans de nombreux secteurs classiques et high-tech (pharmacie, pétrole, chimie fine, agroalimentaire, cosmétiques, traitement de l'eau et des déchets, matériaux, biotechnologies, etc.) et à la production d'énergies traditionnelles (nucléaire, thermique, etc.) et renouvelables. Ses méthodologies sont très largement employées pour assurer le recyclage et la valorisation de nombreux produits, la purification d'effluents liquides et gazeux, s'inscrivant ainsi comme des outils de choix dans la stratégie de développement durable à l'échelle mondiale. Les défis associés à cette dynamique environnementale sont multiples : réduction des coûts, des risques et dangers, des déchets, des consommations en énergie et en matières premières. À cet effet, l'intensification des procédés est le levier majeur pour les relever. Les bioprocédés connaissent un très fort développement, pour deux raisons : (i) l'emploi du vivant pour transformer la matière, épurer des systèmes pollués (liquide, solide), les microorganismes se comportant comme des usines (ii) l'emploi de biomasse en remplacement de matière fossile, il convient de prendre en compte les spécificités à cette matière première. Ce cours est une introduction au Génie des Bioprocédés et à ses méthodologies, permettant aux élèves d'acquérir des outils généralistes, transposables aisément à de multiples domaines. Il s'inscrit totalement en appui des enjeux environnement, énergie et santé.

Enseignement d'intégration : Les trois enseignements d'intégration couvrent les mêmes objectifs d'apprentissage et possèdent une structure similaire. Il s'agit de partir d'un cahier des charges de performances pour un bioprocédé donné, de procéder à des choix de loi de commande et de conception du bioprocédé pour assurer les performances attendues et de maximiser la productivité du système ainsi conçu.

Enseignement d'intégration n°1 : Traitement biologique optimisé des eaux résiduaires urbaines

- **Partenaire associé** : Véolia
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** :

Enseignement d'intégration n°2 : Procédé innovant de fermentation continue de levain.

- **Partenaire associé** : Soufflet
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** :



Enseignement d'intégration n°3 : Supervision avancée de la production de biogaz à partir de déchets

- **Partenaire associé** : BioEnTech
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** :



2SC5210 – Ingénierie des procédés : application à l'environnement et aux productions durables

Responsables : Julien COLIN, Cristian-Felipe PUENTES MANCIPE

Département de rattachement : PROCÉDÉS

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Le Génie des Procédés moderne consiste à **concevoir, exploiter, optimiser des procédés respectueux de l'environnement**, destinés à l'**élaboration de produits et services variés** dans de nombreux secteurs classiques et high-tech (pharmacie, pétrole, chimie fine, agroalimentaire, cosmétiques, traitement de l'eau et des déchets, matériaux, biotechnologies, *etc.*) et à la **production d'énergies** traditionnelles (nucléaire, thermique, *etc.*) et renouvelables. Ses méthodologies sont très largement employées pour assurer le **recyclage et la valorisation** de nombreux produits, la **purification** d'effluents liquides et gazeux, s'inscrivant ainsi comme des outils de choix dans la stratégie de **développement durable** à l'échelle mondiale. Les défis associés à cette dynamique environnementale sont multiples : réduction des coûts, des risques et dangers, des déchets, des consommations en énergie et en matières premières. L'intensification des procédés est le levier majeur pour les relever.

Les bioprocédés connaissent un très fort développement, pour deux raisons : (i) l'emploi du vivant pour transformer la matière, épurer des systèmes pollués (liquide, solide), les microorganismes se comportant comme des usines et (ii) l'emploi de biomasse en remplacement de ressources fossiles.

Ce cours est une introduction au Génie des Procédés et à ses méthodologies, permettant aux élèves d'acquérir des outils généralistes, transposables aisément à de multiples domaines, tels que la biotechnologie et l'environnement. Il s'inscrit totalement en appui des enjeux environnement, énergie et santé.

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

ST5



Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction Génie des Procédés au service du Développement Durable ; Bilan matière

Étude de cas : Procédé de production de bioéthanol de 1ère génération (*conversion des matières premières renouvelables par biotechnologies blanches*)

2. Modèles d'écoulement (parfaitement agité et piston)

Étude de cas :

- Valorisation du lactosérums (*valorisation de résidu de l'industrie agroalimentaire par biotechnologies blanches*)
- Dimensionnement de bassins de traitement biologique d'une station d'épuration des eaux usées urbaines (*procédé au service de l'environnement, réduction des volumes de réacteurs et de l'emprise au sol*)

3. Bilans thermiques : calorifique / enthalpique

Étude de cas : Dimensionnement d'un réacteur Production de levure de bière en mode batch (*optimisation de la géométrie d'un réacteur et de sa régulation thermique*)

4. Équilibres liquide-vapeur, distillations simple et multi-étagée

Étude de cas : Distillation flash du mélange éthanol-eau ; Distillation multi-étagée de bioéthanol (*production d'alternatives aux carburants fossiles*)

5. Transfert de Matière : Diffusion et Convection

Étude de cas : Production en Raceway de Microalgues Spirulina (*production durable de nutriments pour alimentation humaine et animale*)

6. Transfert de Matière : technologie à Contact Permanent

Étude de cas :

- Traitement d'un effluent gazeux. Élimination d'un polluant (*procédé pour l'environnement*)
- Épuration de biogaz pour produire du biométhane par technologie membranaire (*production d'un vecteur énergétique renouvelable pour usages conventionnels*)

Déroulement, organisation du cours

Le module est organisé en cours magistraux (15 h), pour introduire les connaissances et outils méthodologiques, et en TD (18 h) afin d'appliquer les acquis dans le cadre d'études de cas.



Organisation de l'évaluation

- Homework : Présentation, par groupe, d'un projet bibliographique dont le sujet s'inscrit en prolongement du cours (30 % de la note) ; ces présentations orales ont lieu lors de la dernière séance de cours.
- Contrôle intermédiaire par groupe, sur table : Étude de cas de 3 h (30 % de la note).
- Contrôle final individuel, sur table : Étude de cas de 1,5 h (40 % de la note).

Support de cours, bibliographie

• Diaporamas

• Techniques de l'ingénieur :

- + Charpentier J., Génie des procédés, développement durable et innovation – Enjeux et perspectives, 2013
- + Moulin J.P., Pareau D., Rakib M., Stambouli M., Transfert de matière – Méthodologie, 2000
- + Moulin J.P., Pareau D., Rakib M., Stambouli M., Isambert A., Transfert de matière – Distillation compartimentée idéale, 2001
- + Moulin J.P., Pareau D., Rakib M., Stambouli M., Transfert de matière- Autres opérations compartimentées, 2002
- + Buch A., Rakib M., Stambouli M., Transfert de matière- Cinétique du transfert de matière entre deux phases, 2008
- + Sun L.M., Thonnellier J.Y., Perméation gazeuse, 2004
- + Vuillermans J., Réacteurs chimiques – Principes, 1994
- + Boulinguez B., Le Cloirec P., Purification de biogaz – Élimination des COV et des siloxanes, 2011

- **Ouvrages généraux** : Perry Chemical Engineer's Handbook, 8th edition, 2007, McGraw-Hill, New York

• Ouvrages spécifiques :

- Génie des réacteurs et bioréacteurs
 - + Coulson and Richardson's Chemical Engineering – Volume 3A: Chemical and Biochemical Reactors and Reaction Engineering, 4th Edition, 2017, Elsevier. Oxford
 - + Fogler H.S., Elements of chemical reaction engineering, 5th Edition, 2016, Pearson Education, Englewood Cliffs
 - + Levenspiel O., Chemical Reaction Engineering, 3rd edition, 1999, John Wiley and Sons, New York



- + Villadsen J., Nielsen J., Lidén G., *Bioreaction Engineering Principles*, 3rd Edition, 2011, Springer, New York
- *Transferts de chaleur et de matière*
 - + Bergman T.L., Lavine A.S., Incropera F.P., Dewitt F., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th Edition, 2011, John Wiley and Sons, New York
 - + Coulson and Richardson's *Chemical Engineering – Volume 1B: Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Application*, 7th Edition, 2018, Elsevier, Oxford
 - + Cussler E.L., *Diffusion Mass Transfer in Fluid systems*, 3rd Edition, 2009, Cambridge University Press, Cambridge
 - + Treybal R., *Mass Transfer Operations*, 4th Edition, 1982, McGraw Hill, New York
- *Production de bioéthanol*
 - + Cardona C.A., Sanchez O.J., Gutierrez L.F, *Process synthesis for fuel ethanol production*, 2010, CRC Press, Boca Raton
 - + Naik S.N., Goud V.V., Rout P.K., Dalai A.K, *Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 2010, 578–597
 - + Vohra M., Manwar J., Manmode R., Padgilwar S., Patil S. *Bioethanol production: Feedstock and current technologies*, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2, 2014, 573–584

Moyens

- Équipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Julien COLIN, Cristian PUENTES
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 30 à 40
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Excel, Python, Matlab
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : Aucune

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capables de :

- Lister les modes de transfert de matière,
- Identifier les différentes modes de transfert de matière (diffusion / convection) à l'œuvre dans une configuration donnée et les éventuels couplages entre transferts de matière et thermique,
- Écrire les bilans de matière, en prenant en compte, si nécessaire, des cinétiques réactionnelles chimiques ou biochimiques,
- 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,
- Dimensionner des technologies de conversion et de séparation, sur la base de considérations thermodynamiques et cinétiques.



Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.1 : Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. **Jalon 1**
- C1.2 : Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, Économiques et humaines. **Jalon 1**
- C1.3 : Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème. **Jalon 1B**
- 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**



2SC5291 – Traitement biologique optimisé des eaux résiduaires urbaines

Responsables : Sihem TEBBANI, Julien COLIN, Cristian-Felipe PUENTES MANCIPE

Département de rattachement : DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT, DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans les stations de traitement des eaux résiduaires urbaines, les procédés biologiques sont destinés à l'élimination de la pollution carbonée et azotée, sous l'action de microorganismes qui se développent de manière spontanée en milieu aérobie ou anaérobie.

Les polluants éliminés sont concentrés sous forme de suspensions aqueuses ou de boues, constituant des déchets volumineux avec des matières fermentescibles et toxiques. Le traitement des boues constitue donc une phase importante des systèmes d'épuration devant assurer la réduction de leur volume et des nuisances olfactives. Un des procédés les plus répandus pour ce traitement est la digestion anaérobie, laquelle produit des liquides à forte concentration en azote qui doivent être à nouveau traités. La quantité d'azote contenue dans ces effluents peut représenter jusqu'à 20% d'augmentation de la charge d'azote à éliminer par la station. Deux solutions s'offrent à cette problématique : (1) une dite classique, dans lequel ces effluents concentrés sont directement renvoyés en tête de station ou (2) le procédé d'oxydation anaérobie d'ammonium, ou Anammox, une alternative innovante aux procédés de nitrification/dénitrification traditionnels, permettant la transformation directe de nitrite et d'ammonium en diazote gazeux.

L'objectif de cet EI est de proposer des stratégies de contrôle pour les deux solutions mentionnées afin de respecter les exigences épuratoires minimales des eaux traitées et de comparer leur performance en matière de coûts d'exploitation et de production de biogaz comme vecteur de valorisation énergétique des boues.

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

ST5



Prérequis

Il n'y a pas de prérequis spécifique

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction sur la pollution, les technologies de traitement des eaux et des boues résiduelles.
- Simulation de la filière classique à débit d'alimentation constant et variable. Compréhension du fonctionnement des procédés unitaires, modèle de simulation, dynamique des populations microbiennes.
- Synthèse bibliographique sur procédé Anammox.
- Simulation de la filière avec procédé Anammox à débit d'alimentation constant et variable. Compréhension du fonctionnement du procédé unitaire, modèle de simulation, dynamique des populations microbiennes.
- Développement de stratégies de commande PID afin de respecter le cahier de charges de dépollution imposé. Evaluation de la qualité des régulations (erreur statique, temps de réponse, dépassement, absorption des perturbations).
- Comparaison des deux filières sur la base des coûts d'exploitation (apport supplémentaire de carbone et consommation d'électricité pour les besoins en aération), production de boues et production de biogaz par digestion anaérobie.

Déroulement, organisation du cours

L'équipe pédagogique et l'industriel réaliseront une première séance d'introduction à la problématique. Ensuite, les étudiants seront répartis en équipes. Toutes les équipes travailleront sur le même cahier de charges, afin qu'ils puissent traiter les aspects génie des procédés et automatique de l'enseignement. Pour la compréhension du procédé Anammox, chaque équipe devra réaliser en parallèle une synthèse d'un article proposé par l'équipe pédagogique. Finalement, chaque équipe fera une proposition unique de régulation au partenaire, comportant la comparaison et l'analyse critique des deux filières.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se basée sur trois éléments : contrôle continu, un rapport écrit et une évaluation orale

Support de cours, bibliographie

Support pdf de l'industriel partenaire



Ouvrages de références en automatique de bioréacteurs :

- Bastin G., Dochain D., *On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors*, Elsevier, 1990.
- D. Dochain (éditeur). *Automatic Control of Bioprocesses*, Wiley-ISTE, 2008.

Techniques de l'ingénieur :

- BOEGLIN J.C., *Traitement biologique des eaux résiduaires*, Techniques de l'Ingénieur, J3942 V1, Décembre 1998.
- BOEGLIN J.C., *Traitements et dispositions finales de boues résiduaires*, Techniques de l'Ingénieur, J3944 V1, Septembre 2000.
- GAÏD A., *Traitement des eaux résiduaires*, Techniques de l'Ingénieur, C5220 V1, Février 2008.
- SPERANDIO M., HERAN M., GUILLOT S., *Modélisation biologique des procédés biologiques de traitement des eaux*, Techniques de l'Ingénieur, W6500 V1, Août 2007.

Articles procédés Anammox :

- NSENGA KUMWIMBA M., LOTTI T., SENEL E., LI X., SUANON F. *Anammox-based processes: How far have we come and what work remains? A review by bibliometric analysis*, *Chemosphere* 238 (2020) 1-17.
- VAN DER STAR W.R.L., ABMA W.R., BLOMMERS D., MULDER J.W., TOKUTOMI T., STROUS M., PICIOREANU C., VAN LOOSDRECHT M.C.M., *Startup of reactor for anoxic ammonium oxidation: Experiences from the first full-scale anammox reactor in Rotterdam*, *Water Research* 41 (2007) 4149– 4163.
- TAO C., HAMOUDA M.A., *Steady-state modeling and evaluation of partial nitrification-anammox (PNA) for moving bed biofilm reactor and integrated fixed-film activated sludge processes treating municipal wastewater*, *Journal of Water Process Engineering* 31 (2019) 1-9.
- LACKNER S., GILBERT E.M., VLAEMINCK S.E., JOSS A., HORN H., VAN LOOSDRECHT M.C.M., *Full-scale partial nitritation/anammox experiences – An application survey*, *Water Research* 55 (2014) 292-303.
- BIASE A., KOWALSKI M.S., DEVLIN T.R., OLESZKIEWICZ J.A., *Moving bed biofilm reactor technology in municipal wastewater treatment: A review*, *Journal of Environmental Management* 247 (2019) 849–866.
- VEUILLET F., LACROIX S., BAUSSERON A., GONIDEC E., OCHOA J., CHRISTENSSON M., LEMAIRE R. *Integrated fixed-film activated sludge ANITATMMox process – a new perspective for advanced nitrogen removal*, *Water Science and Technology* 69.5 (2014), 915-922.



Moyens

- Simulateur complet de la filière classique
- Outils logiciels : SUMO/MatLab
- Documentation décrivant les procédés unitaires de traitement (eaux résiduaires et boues)
- Encadrement : Enseignants-chercheurs de l'école et industriel partenaire
- Travail en équipe

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Simuler une station d'épuration d'eaux résiduaires urbaines avec traitement des effluents secondaires ou boues.
- Comprendre le fonctionnement du procédé Anammox comme alternative au traitement traditionnel de la pollution azotée.
- Concevoir des boucles de régulation PID pour maintenir le système à des conditions souhaitées de fonctionnement (exigences réglementaires sur la concentration d'azote et carbone).
- Déterminer et analyser de manière critique la meilleure solution au traitement des effluents à forte concentration en ammoniacque en matière de coûts d'exploitation et de valorisation énergétique des boues.

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).
- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique (C3).
- Maitriser le langage parlé, écrit et corporel. Maitriser les techniques de base de communication (C7.4).
- Travailler en équipe/en collaboration (C8.1).
- Faire appel à l'expertise des autres et repousser ses propres limites. Identifier et exploiter les richesses et les talents. (C8.3)
- Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation. (C8.4)
- Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques (C9.4).



2SC5292 – Stratégies d’optimisation d’une usine de biotechnologie : application à la production de levain

Responsables : Sihem TEBBANI, Cristian-Felipe PUENTES MANCIPE, Julien COLIN

Département de rattachement : DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT, DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION

Langues d’enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d’intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

À l'échelle industrielle, la fermentation peut être conduite de manière continue ou discontinue. Lors de la conception ou l'optimisation d'une usine, ce choix est crucial puisqu'il conditionne notamment la productivité du procédé, son mode de pilotage, l'organisation logistique et les coûts inhérents.

Bien que plus intensive en investissement (réacteurs spécifiques, instrumentation accrue et automatisation), la solution continue présente l'avantage de lisser la production et de donc limiter les étapes de stockage et manutention. Elle fait donc l'objet d'une attention particulière.

Le groupe Soufflet dispose d'une usine en périphérie de Caen dédiée à la production de levains. Ce mélange symbiotique de bactéries lactiques et de levures est utilisé pour la production de pain, auquel il confère des spécificités : goût, meilleure digestibilité et durée de conservation accrue.

La production de chaque lot de levain dure une semaine et en œuvre actuellement une succession de réacteurs batch de tailles croissantes. L'objectif de l'EI est d'accompagner l'entreprise dans l'optimisation de l'usine existante et dans le design d'un nouvel atelier de production en continu, selon diverses stratégies : gestion des flux, dimensionnement des réacteurs et mise en place d'une commande robuste.

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

ST5

Prérequis

Il n'y a pas de prérequis spécifique.



Plan détaillé du cours (contenu)

Les élèves devront tout d'abord comprendre la croissance symbiotique de deux populations de micro-organismes, la modélisation de cette croissance et les hypothèses simplificatrices associées. Après identification des paramètres, ils devront implémenter ce modèle dans un simulateur standard de bioréacteur pour simuler un procédé simple (opération unitaire) de production de levain, en mode continu (réacteur continu parfaitement agité) puis discontinu (réacteur batch parfaitement agité). Les élèves dupliqueront ensuite le modèle de cette opération unitaire pour simuler le procédé discontinu existant.

À partir de cette référence, une solution optimisée de production en continu sera recherchée, selon deux stratégies :

- Une partie des groupes travaillera à la maximisation de la production via une conduite optimisée de l'installation existante,
- L'autre partie des groupes devra concevoir un nouvel atelier de production en continu permettant d'atteindre le niveau de performance du site existant tout en minimisant les coûts d'investissement.

Enfin, chaque groupe établira un modèle (de commande) simplifié du procédé et proposera une régulation permettant de garantir la performance du système de production (du point de vue qualitatif) malgré des modifications de la composition du substrat de culture. Différentes approches seront mises en œuvre (par exemple PID, commande par retour d'état, placement de pôles, commande linéarisante). Les performances des différents correcteurs seront comparées pour différents scénarii de fonctionnement du bioréacteur.

Déroulement, organisation du cours

Les étudiants seront répartis en groupe. Le projet sera réalisé en organisant le travail en interne de chaque groupe afin d'aborder les différentes thématiques du cahier des charges.

Des outils analytiques et numériques devront être mis en œuvre par les élèves afin de répondre aux problèmes soulevés.

Les hypothèses et données considérées devront être questionnées ; ces éléments amèneront notamment les élèves à devoir itérer sur leurs choix de conception afin d'obtenir des solutions pertinentes.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera à partir d'un contrôle continu, rapport et d'une évaluation orale.



Support de cours, bibliographie

- Perry Chemical Engineer's Handbook, 8th Edition, 2007, McGraw-Hill, New York
- Dawes E.A., Quantitative problems in biochemistry, 6th Edition, 1980, Longman, London
- Coulson and Richardson's Chemical Engineering – Volume 3A: Chemical and Biochemical Reactors and Reaction Engineering, 4th Edition, 2017, Elsevier. Oxford
- Villadsen J., Nielsen J., Lidén G., Bioreaction Engineering Principles, 3rd Edition, 2011, Springer, New York
- Thiele C., Grassl S., Gänzle M., 2004, Gluten Hydrolysis and Depolymerization during Sourdough Fermentation, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52 (5):1307-1314
- Gänzle M.G., Ehmann M., Hammes W.P., 1998, Modeling of Growth of Lactobacillus sanfranciscensis and Candida milleri in Response to Process Parameters of Sourdough Fermentation, Applied and Environmental Microbiology, 64 (7):2616-2623
- Neysens P., De Vuyst L., 2005, Kinetics and modelling of sourdough lactic acid bacteria, Trends in Food Science & Technology, 16(1-3):95-103
- G. Bastin, D. Dochain, On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors, 1990, Elsevier
- D. Dochain, Automatic Control of Bioprocesses, 2008, Wiley-ISTE
- Base de données issue de mesures sur site industriel

Moyens

- Simulateur d'un bioréacteur standard (Matlab/Simulink)
- Base de données issue de mesures sur site industriel
- Supports bibliographique relative au procédé et aux processus biologiques
- Encadrement : enseignants-chercheurs de l'École avec contact régulier avec un industriel.
- Travail en groupe

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de cet enseignement, les élèves seront capables de :



- Modéliser un bioprocédé de culture d'un micro-organismes pour une application industrielle
- Simuler le fonctionnement d'une chaîne procédés, incluant différents types de réacteurs
- Optimiser et dimensionner des bioréacteurs industriels
- Concevoir des lois de commande pour maintenir le système à des conditions souhaitées de fonctionnement (pH, concentrations, etc.), pour assurer la performance du bioprocédé malgré des perturbations externes
- Analyser la solution proposée (y compris analyse économique) et être critique vis-à-vis des résultats obtenus

Description des compétences acquises à l'issue du cours

2. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques (C1)
3. Développer une compétence approfondie dans un domaine scientifique ou sectoriel et une famille de métiers (C2)
4. Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique (C3)
5. Maîtriser le langage parlé, écrit et corporel. Maîtriser les techniques de base de communication (C7.4)
6. Travailler en équipe/en collaboration (C8.1)
7. Faire appel à l'expertise des autres et repousser ses propres limites. Identifier et exploiter les richesses et les talents (C8.3)
8. Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation (C8.4)
9. Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques (C9.4)



2SC5293 – Supervision avancée de la production de biogaz à partir de déchets

Responsables : Julien COLIN, Cristian-Felipe PUENTES MANCIPE, Sihem TEBBANI

Département de rattachement : DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT, DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

La digestion anaérobie est un procédé naturel de dégradation de substance organique par des micro-organismes (bactéries et archaea) en l'absence d'oxygène (conditions anaérobies). Ce procédé permet de récupérer une fraction de l'énergie contenue dans les déchets sous forme de biogaz, mélange de méthane et de CO₂. La généralisation de ces technologies permettrait d'une part de réduire considérablement la demande énergétique nécessaire pour traiter les déchets (10% de l'énergie utilisée sur la planète) mais pourrait à terme constituer une source d'énergie. Le procédé de digestion anaérobie est toutefois complexe, et implique plusieurs centaines d'espèces de microorganismes. Par ailleurs, il est instable, et des composés intermédiaire (acides gras volatils) peuvent, dans certaines conditions s'accumuler et conduire à l'arrêt total du réacteur. Pour éviter ce type d'accident, un suivi très précis et couteux est nécessaire.

L'objectif de l'EI est de proposer et développer des stratégies de supervision et de contrôle pour réduire le risque d'acidification du réacteur et pour optimiser la production d'énergie à partir des déchets.

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

ST5

Prérequis

Il n'y a pas de prérequis spécifique.



Plan détaillé du cours (contenu)

Les élèves devront tout d'abord comprendre un modèle de digestion anaérobie qui sera fourni et le simuler pour différentes conditions. Ils devront notamment simuler l'acidification du réacteur en conditions de trop forte charge du réacteur. Ils doivent proposer un simulateur avec un modèle simple pour ce système complexe, pour les besoins de la mise en œuvre des lois de commande et d'estimation.

Dans un second temps, ils devront développer des observateurs pour évaluer certains composés intermédiaires, et en particulier les acides gras volatils. Il est souhaitable qu'une dynamique d'auto-calibration soit introduite pour prendre en compte les dérives lentes de certains paramètres du modèle.

D'autres groupes utiliseront les modèles pour développer des stratégies de commande. Différentes approches seront mises en œuvre (par exemple PID, commande par retour d'état).

Au final, un superviseur sera proposé en associant un (ou des) observateur(s) à une loi de commande. Les performances des différents superviseurs seront comparées pour différents scénarii de fonctionnement du réacteur.

Déroulement, organisation du cours

Les étudiants seront répartis en groupe. Le projet sera réalisé en organisant le travail en interne de chaque groupe afin d'aborder les différentes thématiques du cahier des charges.

Des outils analytiques et numériques devront être mis en œuvre par les élèves afin de répondre aux problèmes soulevés.

Les hypothèses et données considérées devront être questionnées ; ces éléments amèneront notamment les élèves à devoir itérer sur leurs choix de conception afin d'obtenir des solutions pertinentes.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera à partir d'un contrôle continu, rapport et d'une évaluation orale.



Support de cours, bibliographie

- Anaerobic Digestion Model No. 1, PWA Publishing, 2002.
- Dynamical Model Development and Parameter identification for an anaerobic wastewater treatment process, O. Bernard et al., *Biotechnology and bioengineering*, 75(4), 424-438, 2001.
- On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors, G. Bastin, D. Dochain, Elsevier, 1990.
- Automatic Control of Bioprocesses, éditeur D. Dochain. Wiley-ISTE, 2008.

Moyens

- Simulateur complet du bioprocédé à étudier.
- Etat de l'art et documentation décrivant le bioprocédé.
- Encadrement : Enseignants-chercheurs de l'Ecole avec contact régulier avec un industriel.
- Travail en groupe.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, les élèves seront capables de :

- Modéliser un bioprocédé de culture d'un micro-organisme pour une application environnementale
- Concevoir des capteurs logiciels pour reconstruire les variables non disponibles en temps réel
- Concevoir des lois de commande pour maintenir le système à des conditions souhaitées de fonctionnement (pH, température, concentrations, etc), pour maximiser la productivité du bioprocédé
- Analyser la solution proposée (y compris analyse économique et empreinte écologique) et être critique vis-à-vis des résultats obtenus.

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).
- Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique (C3).
- Maîtriser le langage parlé, écrit et corporel. Maîtriser les techniques de base de communication (C7.4).
- Travailler en équipe/en collaboration (C8.1).
- Faire appel à l'expertise des autres et repousser ses propres limites. Identifier et exploiter les richesses et les talents. (C8.3)
- Travailler en mode projet en mettant en oeuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation. (C8.4)
- Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques (C9.4).



ST5 – 53 – VEHICULE AUTONOME ET CONNECTE

Dominante : SCOC (Systèmes Communicants et Objets Connectés)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Aujourd'hui, le véhicule embarque une multitude de capteurs et de traitements électroniques qui permettent une aide à la conduite voire même un certain niveau d'autonomie dans des contextes bien définis. Le véhicule actuel est également connecté pour fournir notamment des informations sur l'état du trafic et sur sa navigation. D'après les roadmaps du domaine, à l'horizon 2030, le véhicule devrait être soumis à une connectivité complète via des systèmes de communication intelligents et des technologies adaptées pour permettre une autonomie totale réduisant le conducteur à un simple passager qui n'aura plus qu'à indiquer sa destination avant son départ. Mais avant d'en arriver là, les ingénieurs devront contribuer à répondre à de nombreuses questions dont on peut donner un avant-goût. Tout d'abord sur le plan technique, la technologie pourra-t-elle totalement remplacer le conducteur ? Ou encore, comment concevoir et valider de tels systèmes en garantissant la fiabilité et la sécurité ? Du point de vue éthique et réglementaire, comment protéger les données personnelles sachant que le véhicule sera à tout instant connecté à un réseau et donc susceptible de communiquer des informations à l'extérieur de l'habitacle ? Sur le plan économique, des bouleversements sont à prévoir dans la chaîne de valeur du secteur automobile avec la montée en puissance des GAFAM dans le domaine et la gestion future des systèmes de véhicules par des opérateurs. Au niveau sociétal ensuite, quels nouveaux services pourront voir le jour ? Du point de vue environnemental enfin, comment faire pour que le véhicule autonome et connecté permette de minimiser notre empreinte écologique ?

Au cours de cette séquence thématique, les élèves seront formés aux méthodes de modélisation fonctionnelle, étape préliminaire à toute conception de système complexe, et aux techniques de contrôle-commande. Un cours spécifiquement décliné sur la problématique apportera un panorama des technologies utilisées dans ce contexte comme les méthodes numériques de modélisation, simulation et validation véhicules ; les architectures électroniques embarquées ; les traitements de fusion de données multi-capteur ; l'intelligence artificielle pour le véhicule ; et les protocoles de communication V2V et V2X. Au cours de l'enseignement d'intégration, les élèves devront mettre en perspective l'ensemble des



connaissances acquises en partant d'un cahier des charges et en allant jusqu'à la validation sur plateforme physique, constituée ici d'un système de robots roulants.

Prérequis nécessaires

Il est conseillé d'avoir suivi le cours électif de Systèmes Electroniques et le cours électif de Réseaux et Sécurité.

Modules contexte et enjeux : cette partie se structure en conférences et table ronde permettant d'appréhender la problématique, les technologies et les enjeux liés au véhicule autonome et connecté, d'aborder les enjeux sociétaux associés comme la sécurité, l'environnement, la fluidification du trafic, les enjeux sociaux-économiques et industriels. Des ateliers permettront enfin de se projeter sur les nouveaux usages du véhicule autonome connecté.

Cours spécifique (60 HEE) : Architecture et technologie du véhicule autonome

- **Brève description :** Une première partie propose des cours de découverte sur les moyens de développement et les technologies pour le véhicule autonome. Il aborde les points suivants :
 - Définition du système de mobilité (infrastructure/ véhicule) et architecture du véhicule autonome et connecté (perception, traitement, communication, actionnement mais aussi propulsion et conversion d'énergie)
 - Bus de communication intra-véhicule (CAN, FlexRay...)
 - Spécificités « hardware » en électronique automobile (environnement physico-chimique, CEM, fiabilité, procédé de fabrication des cartes, sûreté de fonctionnement)
 - Capteurs intelligents (LIDAR, RADAR, Caméras, capteurs intelligents)
 - Systèmes AD/ADS (Conduite Automatique/Systèmes avancés d'aide à la conduite), processus de développement des AD/ADAS

Une deuxième partie se subdivise en deux axes principaux. Dans la première partie, on étudie les technologies permettant d'établir une communication entre le véhicule autonome et connecté avec son environnement en détaillant pour chacune son architecture ainsi que ses caractéristiques. Ensuite dans la deuxième partie, on se concentre sur les algorithmes de traitement et de fusion de différents types de données (données de cartographie, données de trafic routier, données des réseaux de télécom, etc.) ainsi que les méthodes d'intelligence artificielle permettant aux véhicules la prise de décisions intelligentes qui seront ensuite transformées en commandes adressées à ces véhicules.

Enseignement d'intégration : Conception d'un système de livraison urbaine "dernier kilomètre" par véhicules autonomes et connectés

- Partenaire associé : Mathworks, Renault



- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : Les enjeux du véhicule autonome et connecté ne concernent pas uniquement le secteur de l'automobile. L'enseignement d'intégration proposé ici vous permettra d'appréhender d'une part la démarche de conception d'un système complexe et critique, et d'autre part la pluralité des problématiques du véhicule autonome et connecté, au travers d'un scénario industriel dans un contexte adapté. Le scénario retenu est celui d'une livraison dite "dernier kilomètre", précisé ci-dessous.
Le coût et le délai de livraison d'un colis par transporteur est fortement impacté par le dernier kilomètre, notamment en milieu urbain. En raison des embouteillages et du stationnement, les camions de livraison pourraient avantageusement être relayés à l'entrée des grandes villes par des moyens de transport plus légers et adaptés à l'environnement urbain.
L'utilisation de vélos s'avère trop coûteuse ; les transporteurs envisagent à court terme une livraison entièrement automatisée sur le dernier kilomètre de la livraison. La solution consiste en la gestion d'une flotte de robots autonomes et connectés effectuant les trajets de livraison en fonction des arrivages, des adresses de livraison et des caractéristiques des robots.
Les camions de livraisons déposent les robots à l'entrée des centres-villes. Chaque robot a en charge un ou plusieurs colis et un trajet à effectuer pour livrer le plus rapidement et le plus efficacement possible l'ensemble des colis. En plus d'être capables de se déplacer efficacement en milieu urbain en évitant obstacles, piétons et autres véhicules, les robots doivent communiquer entre eux (V2V) et avec l'infrastructure (V2I) afin par exemple d'éviter les points de congestion (manifestations, zones de travaux, etc.) et avoir leur trajet replanifié en temps réel.
Vous travaillez dans une équipe en charge de concevoir un tel système de livraison. Vous suivrez une démarche d'ingénierie système orientée modèle pour spécifier les fonctionnalités du système. Vous adopterez une méthodologie de modélisation pour développer les algorithmes nécessaires (contrôle/commande, fusion de capteurs, fusion de données, prise de décision et télécommunications) pour répondre aux spécifications. Une plateforme de test à échelle réduite vous permettra d'évaluer la qualité du système de livraison obtenu et perfectionner les algorithmes.
Au cours de ce travail, vous serez amenés à prendre différentes hauteurs de vue : système en établissant la stratégie de contrôle/commande et de communication entre les véhicules ; fonctions au travers des algorithmes ; composants par vos choix d'implémentation de ces algorithmes afin de prendre en compte les contraintes spécifiques à l'application (latence, ressources limitées, etc.)



2SC5310 – Architecture et technologies pour le véhicule intelligent et communicant

Responsables : Caroline LELANDAIS PERRAULT

Département de rattachement : SYSTEMES ELECTRONIQUES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours de ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de familiariser les étudiants avec les architectures et technologies mises en œuvre pour le véhicule autonome et connecté (VAC) ainsi que les moyens de développement.

Pour cela, il est nécessaire de définir ce qu'est un système de mobilité dans lequel s'insère le véhicule puis de comprendre l'architecture fonctionnelle du VAC. Les fonctions du VAC étant essentiellement composées de systèmes électriques et électroniques, l'architecture matérielle électrique et électronique est présentée ainsi que ses spécificités et contraintes dues à l'environnement dans lequel évolue l'automobile. Au niveau matériel également, les capteurs intelligents et les aspects temps réel embarqués des traitements sont étudiés. Au niveau des traitements, les lois de contrôle classiques ou plus avancées, le traitement d'image pour la localisation et la cartographie, l'intelligence artificielle et les techniques de fusion de données sont abordés. Au niveau de la communication, sont étudiées les technologies « véhicule-to-vehicle/vehicule-to-infrastructure » (V2X), les protocoles associés, les caractéristiques et les contraintes des canaux de communication pour l'application. Enfin, au niveau de la validation d'un véhicule, le processus de développement tel que déroulé chez les constructeurs est présenté.

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

ST5

Prérequis



Pour suivre cette séquence thématique, il est recommandé d'avoir suivi un des cours de sciences pour l'ingénieur Système Electroniques (deux occurrences en SG1 et deux occurrences en SG3) et un des cours de sciences pour l'ingénieur de Réseaux et Sécurité (une occurrence en SG1 et deux occurrences en SG3). Le cours de Modélisation donné en ST2 est également un prérequis.

Plan détaillé du cours (contenu)

I Définition du système et méthodes développement

- Définition du système de mobilité (infrastructure/ véhicule) et architecture du véhicule autonome et connecté (perception, traitement, communication, actionnement mais aussi propulsion et conversion d'énergie).
- Processus de développement des AD/ADAS

II Electronique embarquée

- Architecture électrique et électronique du véhicule (réseau d'alimentation, calculateurs, bus de communications).
- Spécificités « hardware » en électronique automobile (environnement physico-chimique, CEM, fiabilité, procédé de fabrication des cartes, sûreté de fonctionnement)
- Capteurs intelligents (LIDAR, RADAR, Caméras, capteurs intelligents)
- Temps réel embarqué dans l'automobile (contraintes temps réel selon la fonction, calculateurs, processeurs, FPGA...)

III Algorithmes et traitement embarqués

- Lois de contrôle pour le véhicule autonome (LQR, filtrage de Kalman, réseaux de neurones, logique floue...)
- Intelligence artificielle pour véhicules autonomes
- Techniques de fusion de données hétérogènes

IV Communication du véhicule avec son environnement

- Technologies V2X
- Accès au canal, trafic et performances

Remarque : ce plan ne reflète pas systématiquement la chronologie du cours

Déroulement, organisation du cours

21 HPE de cours magistraux + 12 HPE de TP

Organisation de l'évaluation

L'évaluation sera sous forme d'un examen écrit d'une heure et demi.



Moyens

Les cours seront enseignés par des professeurs de CentraleSupélec et par des industriels experts issus des constructeurs automobiles ou d'acteurs de l'électronique automobile.

Pour l'édition 2020, des sessions plus interactives sous forme de travaux pratiques seront introduites.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de comprendre l'architecture électrique et électronique d'un véhicule autonome et connecté, les technologies de communication entre le véhicule et son environnement. Il sera capable de modéliser et simuler un véhicule communicant au niveau fonctionnel et physique en explicitant les contraintes et les limitations liées à l'environnement et aux technologies.

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

C2.3 : 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)

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



2SC5390 – Livraison urbaine par véhicules autonomes et connectés

Responsables : Morgan ROGER

Département de rattachement : DOMINANTE - SYSTÈMES
COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Les enjeux du véhicule autonome et connecté ne concernent pas uniquement le secteur de l'automobile. L'enseignement d'intégration proposé ici vous permet d'appréhender d'une part la démarche de conception d'un système complexe et critique, et d'autre part la pluralité des problématiques du véhicule autonome et connecté, au travers d'un scénario industriel dans un contexte adapté.

Le scénario retenu est celui d'une livraison dite "dernier kilomètre". Le coût et le délai de livraison d'un colis par transporteur est fortement impacté par le dernier kilomètre, notamment en milieu urbain. En raison des embouteillages et du stationnement, les camions de livraison pourraient avantageusement être relayés à l'entrée des grandes villes par des moyens de transport plus légers et adaptés à l'environnement urbain. L'utilisation de vélos s'avère trop coûteuse ; les transporteurs envisagent à court terme une livraison entièrement automatisée sur le dernier kilomètre. La solution consiste en la gestion d'une flotte de robots autonomes et connectés effectuant les trajets de livraison en fonction des arrivages, des adresses de livraison et des caractéristiques des robots.

Vous travaillez dans une équipe en charge de concevoir un tel système de livraison. Dans ce cadre, vous suivez une démarche d'ingénierie système orientée modèle pour spécifier les fonctionnalités du système. Vous adoptez une méthodologie de modélisation pour développer les algorithmes nécessaires (contrôle/commande, fusion de capteurs, fusion de données, prise de décision et télécommunications) pour répondre aux spécifications. Une plateforme de test à échelle réduite vous permet d'évaluer la qualité du système de livraison obtenu et perfectionner les algorithmes.



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

ST5

Prérequis

Cours de sciences pour l'ingénieur 1A "Systèmes électroniques" conseillé
Cours de sciences pour l'ingénieur 1A "Réseaux et sécurité" conseillé
Cours spécifique de la ST "Architecture et technologies pour le Véhicule intelligent et communicant"

Plan détaillé du cours (contenu)

Les aspects techniques suivants sont mis en oeuvre dans cet enseignement d'intégration :

3. analyse fonctionnelle du besoin, spécifications système
4. modélisation système
5. machines d'état
6. loi de commande
7. télécommunications
8. protocole de communications
9. traitement d'image
10. fusion de capteurs
11. traitement embarqué et temps réel
12. répartition calculatoire hardware/software

Déroulement, organisation du cours

L'objectif est de réaliser une preuve de concept technique sur une plateforme à échelle réduite constituée de robots roulant sur un support adapté représentant schématiquement l'environnement urbain. Les équipes de 5 ou 6 étudiants sont constituées au préalable de façon à présenter un large spectre de compétences. Après une première analyse fonctionnelle du système basée sur un *brainstorming*, les équipes décident de leur organisation interne afin de traiter en parallèle et avec cohérence les différents aspects : matériel, modélisation, intelligence embarquée, connectivité. Chaque équipe se voit confier un robot et peut accéder aux salles de test afin de valider en situation le comportement du système et affiner ses fonctionnalités. La dernière journée de la semaine est consacrée à la préparation de l'évaluation et à l'évaluation en elle-même.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est faite par équipe au travers d'une présentation orale décrivant les choix de conception et les innovations du système, suivie d'une démonstration de ses performances en situation sur la plateforme de test, devant un panel d'enseignants et d'experts industriels.



Moyens

Moyens humains : une équipe d'enseignants spécialistes des différents domaines d'ingénierie concernés (électronique, télécommunications, modélisation, traitement du signal) présents 100% du temps ; des experts industriels du domaine automobile (Renault) et de la modélisation (Mathworks) en visite pendant la semaine et présents pour l'évaluation.

Moyens logistiques : salles de travail pour les équipes d'étudiants, salles d'envergure pour les plateformes de test et d'évaluation, un QG enseignant.

Moyens matériels : robots roulants (incluant 4 roues motrices, une carte Arduino, un nano-ordinateur Raspberry Pi, une caméra et plusieurs autres capteurs embarqués, batteries).

Moyens logiciels : Matlab/Simulink, Linux, Python, C++, OpenCV, ...

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

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

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.

C8.3 Faire appel à l'expertise des autres et repousser ses propres limites. Identifier et exploiter les richesses et les talents.

C8.4 Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation



ST5 – 54 – L'ÉCO-QUARTIER, UN SYSTÈME COMPLEXE. AMÉNAGEMENT DURABLE & MANAGEMENT DE PROJET COMPLEXE

Dominante : CVT (Construction, Ville, Transport) et GSI (Grands Systèmes en Interaction)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

L'éco-quartier est un cas intéressant de système complexe. Il nécessite une approche pluridisciplinaire en combinant l'immobilier et la construction, les mobilités (flux et infrastructures), les réseaux urbains et les problématiques de consommation des ressources naturelles (eaux, énergies, déchets) mais aussi la géographie, la sociologie et l'histoire des lieux et des gens. Il implique une mise en œuvre à des échelles variées depuis les décisions politiques nécessaires à son émergence et à sa réalisation en passant par l'inscription géographique dans le bassin versant et les différentes zones de chalandise des grands équipements, jusqu'au choix des modes de chauffage et d'éclairage de chaque logement.

Le marché de l'aménagement est en pleine transformation, les aménageurs publics cèdent du terrain aux aménageurs privés qui émergent chez les différents promoteurs immobiliers.

La problématique d'ingénieur de la séquence thématique est donc la suivante : comment aborder de front l'ensemble des études nécessaires à la fabrication d'un éco-quartier afin de prendre un ensemble cohérent de décisions ?

Les différentes activités pédagogiques permettront aux étudiants d'acquérir différentes compétences techniques et managériales :

- Savoir concevoir ou transformer les systèmes complexes que sont les éco-quartiers en intégrant les nombreuses parties prenantes ayant des rôles et intérêts différents, voire divergents,
- Savoir concevoir et planifier de grands projets complexes,
- Prendre en compte des paramètres de développement durable pour garantir d'aller vers la notion d'éco-quartier.

Prérequis nécessaires

Aucun

Modules contexte et enjeux : cette partie implique des acteurs majeurs du domaine qui partageront leur vision et leurs feuilles de route. Elle comporte



une présentation d'un projet d'aménagement par un aménageur et un urbaniste, une sensibilisation à la double complexité du système et du projet qui transforme ce système en particulier via une étude de cas, une visite de site, une table ronde autour des nouveaux modèles économiques urbains, une présentation liée aux paradoxes de la micro-planification pour un projet de long terme.

Cours spécifique (60 HEE) : Aménagement et urbanisme durable

- **Brève description** : les deux aspects suivants seront étudiés :
- Smart city et ville durable : quels critères pour quels objectifs ? L'économie circulaire au service de la ville durable
- Introduction à la chaîne de valeur de l'immobilier et de la construction

Enseignement d'intégration : Projet de conception d'un éco-quartier

- **Partenaire associé** : Citelum, Veolia, Unibail, Bouygues Construction (finalisation en cours)
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : Comment construire la ville ? La ville est constituée de différents ouvrages : les rues et les espaces publics, les réseaux urbains et l'énergie en particulier, les transports en commun et individuels, les immeubles et équipements... Les outils de management de projets complexes sont ici appliqués pour décortiquer le jeu d'acteurs qui permet la transformation de la ville et aborder de front l'ensemble des disciplines et des échelles de territoires permettant de réaliser ces grands projets.

La mise en situation correspond au scénario modificatif majeur (imaginaire) suivant : décalage de 20 ans de la ligne 18 du métro, un concours de maîtrise d'œuvre urbaine est lancé pour prendre en compte cette modification fondamentale.

Les objectifs pédagogiques sont les suivants :

- Manipuler sur un cas concret les principaux concepts, méthodes et outils liés à un projet complexe dans le domaine de l'aménagement et de la construction durable. Le caractère générique et réutilisable à d'autres contextes sera également important.
- Acquérir un premier ensemble de connaissances relatif aux champs sectoriels de la planification urbaine, du montage immobilier, des smart grids et autres réseaux urbains, aux mobilités (intermodalité, et infrastructures)

Au terme de l'EI, les étudiant(e)s auront expérimenté les systèmes de décision propres aux projets d'aménagement urbain en ayant analysé les étapes clés de spécification, conception et planification de tels projets.



2SC5410 – Aménagement et urbanisme durables

Responsables : Frédérique DELMAS-JAUBERT

Département de rattachement : MÉCANIQUE GÉNIE CIVIL

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours spécifique intitulé AMénagement et Urbanisme Durable – AMUD - apportera les connaissances de base relatives à la chaîne de valeur de l'immobilier et de la construction, à l'émergence des smart cities et comment les modèles traditionnels de création de valeur en sont bouleversés, aux relations entre économie circulaire, ville, et environnement, et ses impacts sur les ressources naturelles.

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

ST5

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Les êtres humains évoluent dans un cadre qu'ils contribuent à façonner : cadre bâti, espaces naturels aménagés, infrastructures de transport et espaces publics constituent les ingrédients du cadre de vie que nous proposons d'étudier. Ces aménagements et les comportements des hommes et des femmes qui y vivent ont un impact sur les ressources naturelles que sont l'eau, l'air et l'énergie. L'ensemble de ces pratiques sont aujourd'hui bousculées par la montée en puissance de l'économie numérique.

Qu'est qu'un éco-quartier ?

- Critères de durabilité
- Planification ; SCOT, PLU
- Objets à construire



Qui construit quoi ?

- Immobilier résidentiel
- Commerces
- Bureaux
- Espaces publics

Introduction à la chaîne de valeur et management d'une opération de construction

- Promotion immobilière
- Bilan de ZAC
- Concepteurs, entreprises de travaux et autres prestataires : qui fait quoi ?
- Valeur économique et valeur environnementale

Économie circulaire

Les 5 piliers de l'économie circulaire appliqués à la construction seront présentés en cours puis utilisés en format TD.

Cours in situ : visite d'un éco-quartier

- Architecture
- Forme urbaine
- Services et équipements

Smart city : les SIG et les données des usagers

- La géographie urbaine, une discipline qui articule les données spatiales, temporelles, humaines...
- Les outils des Systèmes d'Information Géographique
- La représentation graphique, dynamique et l'aide à la décision
- Propriété des données et business model digital

Smart city et Transports

- Maas : mobility as a service, un exemple de changement de paradigme digital
- Les nouveaux modes de transports individuels et collectifs : innovations techniques et urbaines et infrastructures
- La planification et le rôle et les responsabilités des politiques, et des transporteurs
- Les nouveaux modèles économiques urbains

Résilience urbaine et gestion des risques

- Les risques naturels et l'exposition des populations
- Les ouvrages de prévention, bénéfiques et coûts écologiques
- gestion des risques projet par Franck Marle

Impact sur la ressource Eau

- Effets de l'urbanisation sur la ressource eau
- Techniques traditionnelles et innovantes : installations industrielles et



gestion alternative

- Résilience urbaine et gestion des risques liés à l'eau

Déchets

- Histoire de la collecte des déchets et métiers associés
- Les innovations technologiques : réseaux pneumatiques
- Installations industrielles pour le traitement des déchets et cohabitation avec la ville : gestion des risques, gestion des nuisances

Energie

- Les consommations des bâtiments et les nouveaux usages digitaux
- La question de l'échelle et la mutualisation : réseaux de chaleur <> chaudières individuelles
- Les ressources naturelles et leurs limites

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement comprend :

- Des cours magistraux, délivrés par des enseignants de l'école et des vacataires sur le campus de Gif
- Des cours in situ, délivrés par des enseignants ou vacataires, en parcourant un territoire de projet
- Des TD et recherches thématiques par petits groupes pour approfondir un sujet

22,5 heures de cours

10,5 heures de TD

Organisation de l'évaluation

- Compte-rendu individuel de la visite sur site (obligatoire) précisant notamment le jeu d'acteurs du territoire et les points forts (étonnement) de la visite en maximum 2 pages (15%= 3 points).
- Recherche thématique en petit groupe (en présentiel sur créneaux réservés) : choisir 1 thème parmi plusieurs et rédiger en français ou en anglais un dossier de synthèse portant sur l'actualité de la thématique choisie, le point de vue d'au moins 3 acteurs différents sur cette thématique, la mise en perspective et les évolutions à moyen et long terme attendues. 10 pages maximum. (35% de la note finale = 7 points)
- Examen final : 2 questions à traiter, sans ordinateur, sans internet 1 à choisir parmi les thèmes de la recherche thématique. (25% = 5 points) 1 relative au cours, indépendamment de la recherche thématique réalisée (25% = 5 points) durée de l'examen final : 1h30



Support de cours, bibliographie

<https://www.modeleseconomiquesurbains.com/>

<https://www.iau-idf.fr/>

<https://www.apur.org/fr>

<https://www.societedugrandparis.fr/sgp>

<https://www.epaps.fr/>

<https://www.urw.com/fr-fr>

<https://www.urbanera.fr/>

<https://www.citelum.fr/>

<https://www.ibicity.fr/blog/>

Moyens

Les cours sont dispensés par des Professeurs Chargés de Cours (Frédérique Delmas, François Cointe, Arnaud Lafont), des enseignants-chercheurs (Franck Marle, Yann Leroy, François Cluzel), et des vacataires (Olivier Ledru).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Trois objectifs principaux qui concernent les acteurs, les enjeux et la transformation numérique de la ville :

- A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable d'identifier les parties prenantes d'une opération immobilière et d'un projet urbain (C1.1), d'analyser un projet urbain sous plusieurs points de vue en comparant les intérêts des acteurs (C4.1), de lister les responsabilités sociales, et environnementales de chacun, au-delà de l'analyse de leur modèle économique (C9.2).
- A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de relier entre eux les principaux enjeux économiques, environnementaux, techniques et humains d'une opération urbaine (C1.1) et de comparer les différentes propositions de solutions (C3.6 et C9.4).
- A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de rendre compte des transformations de l'économie des services urbains avec la montée en puissance de l'économie numérique (C6.6).



Description des compétences acquises à l'issue du cours

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

C2.1 : Avoir approfondi le domaine de l'aménagement urbain, dans l'ensemble de ses disciplines et de ses échelles

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

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

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



2SC5490 – Projet de conception d'un éco-quartier

Responsables : Frédérique DELMAS-JAUBERT, Franck MARLE
Département de rattachement : DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION, 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) : 27
Quota :
ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

L'enseignement d'intégration a pour objet la conception préliminaire d'un éco-quartier.

Les projets sont organisés en groupes d'une trentaine d'étudiants, sous-divisés en équipes de 6 à 8 étudiants.

Différents livrables sont attendus au long de la semaine, parmi lesquels :

- Diagnostic du territoire et de la partie du projet urbain déjà réalisée
- Livrables spécifiques par thématique (énergie, eau, déchets, etc...)
- Choix d'aménagement et justification de ces choix
- Maquette virtuelle du projet.

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

ST5

Prérequis

Cours spécifique Aménagement et Urbanisme Durables de la ST5

Plan détaillé du cours (contenu)

(sous réserve de confirmation du cas)

La ZAC de Corbeville : quel avenir à court, moyen et long terme pour l'espace autour de l'échangeur de la N118 sur le plateau du Moulon ? Un projet de ZAC a été soumis par l'EPAPS à enquête publique au printemps 2019. Pour les besoins du cas d'étude, nous modifierons un ou plusieurs paramètres majeurs des études déjà réalisées (orientation politique, solutions de mobilité, ambition de densité, ...) et il vous est proposé d'en étudier les conséquences sur le projet urbain.

L'ensemble des disciplines du projet urbain sont à prendre en compte :



- Stratégie mobilité : quels moyens transitoires et définitifs dans l'attente de l'arrivée du métro ? En particulier transports en commun : tramway, téléphérique, bus à haut niveau de service...
- Espaces publics : les fonctions des espaces publics (circuler, marcher, se promener, s'asseoir, jouer...) doivent-elles être modifiées ? Les liaisons urbaines vers les transports lourds existants sont-elles à renforcer ?
- Traitement des eaux : le questionnement sur les espaces publics est l'opportunité pour améliorer encore la stratégie de traitement des eaux pluviales de la zone.
- Développement immobilier : les charges foncières attendues par l'aménageur peuvent-elles se réaliser ? Les types de programmes attendus sont-ils susceptibles de se réaliser dans les conditions initialement prévues ?
- Si le développement immobilier est modifié, les équipements publics dus au titre de la ZAC sont-ils impactés ?
- Forme urbaine : la forme urbaine cristallise les choix effectués pour les espaces publics, et les programmes immobiliers. Elle est un facteur majeur d'attractivité du territoire. En quoi est-elle impactée ?
- Ville et agriculture : cette modification est l'occasion de questionner le rapport entre ville et agriculture. La question de l'approvisionnement du quartier est posée, avec une demande politique forte de soutenir le développement agricole local.

Données d'entrée :

- Photo aériennes historiques
- Cartes disponibles sur géoportail (notamment IGN avec topographie, cours d'eau, et bâti existant)
- Données insee disponibles en ligne
- Programme et plan guide EPAPS du quartier de Moulon

Déroulement, organisation du cours

Fonctionnement à base de sprints de 3 1/2 journées (3 au total, pour les 4,5 jours de l'EI).

Auto-organisation pendant le sprint, équipes interconnectées entre elles à l'intérieur du groupe de 30, réunion de fin de sprint avec l'encadrant dédié au groupe.

Possibilité de recourir à des expertises spécifiques pendant certaines séances.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu, basé sur les livrables de l'équipe (locaux), du groupe (globaux) et sur le niveau d'organisation de l'équipe. La contribution individuelle au travail collectif est également évaluée.



Moyens

Encadrement par une équipe d'enseignants, architectes, urbanistes, ingénieurs, chercheurs, ...

Franck Marle, Arnaud Lafont, Ulysse Vizzard, François Cointe, François Cluzel, Frédérique Delmas

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de l'enseignement d'intégration, les élèves seront capable de
- développer une approche trans-disciplinaire des éco-quartiers et de l'urbanisme.

- mobiliser un large socle de connaissance scientifiques, techniques, mais aussi sociales et économiques pour concevoir et valider un système complexe d'écoquartier.

- travailler en mode collaboratif pour arriver au résultat annoncé sur un projet d'une telle complexité.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

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.

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

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.

C8.4 Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation

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



ST5 – 55 – LUMIERE ET MATIERE : DEVELOPPEMENT D'INSTRUMENTS DE HAUTE TECHNOLOGIE

Discipline dominante : PNT (Physique et NanoTechnologie)

Langue d'enseignement : Français

Lieu où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

La physique moderne trouve de nombreux débouchés à travers la maîtrise des propriétés de la matière et son ingénierie fonctionnelle. Dans cette ST il s'agira notamment de confronter les étudiants à la problématique d'innovation et développement produit lorsque celui-ci est un instrument de haute technologie mettant en œuvre la physique, développé en petite série pour la recherche ou la R&D. En particulier les étudiants répondront à :

- comment qualifier et répondre à un besoin client dans ce contexte ?
- quelle approche de conception, réalisation et évolution mettre en œuvre ?
- comment concevoir une solution pour un client intermédiaire qui lui-même a des clients aux besoins variés ?

Les cours d'intégration concernent des dispositifs à la pointe de la physique nécessitant une réelle approche d'ingénierie puisque les concepts théoriques sont appliqués à des dispositifs réels qui doivent intégrer des éléments de faisabilité à la fois technique et économique.

Prérequis nécessaires

Il est conseillé d'avoir suivi le cours électif Electromagnétisme ou le cours électif Science des transferts

Modules contexte et enjeux :

Cette partie s'articule autour de demi-journées de formation visant à présenter la séquence, l'enseignement d'intégration et à introduire la thématique. Ainsi seront organisées les conférences/présentations suivantes :

- Interaction Rayonnement Matière ou la découverte du matériel par l'immatériel
- Présentation du monde des synchrotrons et du rôle des ingénieurs de recherche
- Utilisations des lasers dans l'aéronautique et le spatial
- La création d'une start-up de haute technologie
- Sources de lumière : « De l'ampoule au laser à électrons libres » (mise en évidence des verrous technologiques et scientifiques de la thématique)



Cours spécifique (60 HEE) : Physique de la matière

- **Breve description** : Le cours donnera aux élèves les connaissances de base de la physique de la matière à l'état solide. On y abordera la cristallographie et la diffraction des ondes (notamment rayons X), les vibrations du réseau (phonons, effets thermiques), les états électroniques (modèle de Sommerfeld, théorie des bandes), ainsi que des sujets spécifiques : les semiconducteurs, les défauts, la supraconductivité. Le but est de montrer aux élèves que la compréhension et la maîtrise des propriétés des matériaux passe par des études à l'échelle microscopique.

Enseignement d'intégration n°1 : Synchrotron Beamline Design

- **Partenaire associé** : European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), synchrotron SOLEIL, SpRing 8

- **Lieu** : Campus Paris-Saclay

- **Breve description** : les objectifs visés sont les suivants :

Dimensionner un dispositif à l'aide de notions de physique (moderne) de base et en faire la modélisation fonctionnelle.

Identifier les transferts thermiques pertinents, les modéliser, et dimensionner ces systèmes (utilisation du logiciel Comsol).

Connaître les points clés d'une étude d'avant-projet dans un contexte multidisciplinaire

Avoir des ordres de grandeurs réalistes sur les propriétés mécaniques et physiques standards des matériaux « courants ».

Réaliser un avant-projet de conception des instruments scientifiques étudiés en justifiant les choix opérés.

Travailler en équipe, connaître et pouvoir identifier les différents rôles des membres d'une équipe (sur la base de l'outil Belbin), animer, coordonner un groupe de travail, collecter et partager l'information, mettre en forme et exposer le travail réalisé (s'exprimer devant un auditoire / soutenance)

Enseignement d'intégration n°2 : Lasers à cascade quantique

- **Partenaire associé** : MirSense, Airbus-Safran Launchers

- **Lieu** : Campus Paris-Saclay

- **Breve description** : les lasers à cascade quantique sont des nano-dispositifs inventés il y a une vingtaine d'années. Miracles d'ingénierie, leur fonctionnement a été rendu possible par les dernières avancées en mécanique quantique, en optique et en thermique. De par leur très faible taille, longueur d'onde de fonctionnement et précision, ils sont une solution technologique de choix pour la détection de traces infimes de polluants aussi bien que les communications haut-débit en espace libre.



Dans un travail d'équipe, les élèves seront amenés à se familiariser avec ces notions et à acquérir les éléments de mathématiques nécessaires afin de modéliser numériquement le comportement de ces systèmes. Ils devront mettre en œuvre une démarche ingénieure pour transformer leurs connaissances théoriques en un objet contraint par la réalité du monde.



2SC5510 – Physique de la matière

Responsables : Pietro CORTONA

Département de rattachement : PHYSIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Objectif du cours est de donner aux élèves les connaissances de base de la physique des solides. Les introduire, en s'appuyant sur des exemples spécifiques, à certains domaines de pointe, tels que les nanosciences ou l'opto-électronique. Leur donner un aperçu des possibilités que la grande variété des propriétés des matériaux et leur maîtrise ouvrent pour les applications.

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

ST5

Prérequis

Cours de Physique Quantique et Statistique

Plan détaillé du cours (contenu)

Plan du cours:

- L'ordre dans les solides : le réseau cristallin.
- Diffusion d'une onde électromagnétique par la matière – Diffraction.
- Vibrations des solides – Phonons – Propriétés thermiques.
- Métaux et conductivité : modèles de Drude et de Sommerfeld.
- Structure de bandes – Electrons dans les solides massifs et dans les nano-matériaux.
- Semiconducteurs – Puits quantiques : applications à l'opto-électronique.
- Défauts dans les cristaux et leurs conséquences sur les propriétés physiques des matériaux.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux (13 heures et demi), travaux dirigés (18 heures) et 1



seminaire (1 heure et demi).

Organisation de l'évaluation

Contrôle écrit (1h30) sans documents s'il se fera en présentiel.

Contrôle écrit (1h30) avec documents s'il se fera en distanciel.

Support de cours, bibliographie

Polycopié

Physique des solides, Ashcroft et Mermin

Moyens

Equipe enseignante : P. Cortona, H. Dammak, C. Paillard pour trois groupes de TD

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin du cours les élèves sont censés savoir :

- Exploiter la symétrie des cristaux lors de l'étude de leurs propriétés ;
- Déterminer les distances inter-atomiques à partir des résultats d'une expérience de diffraction de rayons X ;
- Différencier un conducteur d'un isolant à partir du comportement de la chaleur spécifique à très basse température ;
- Différencier conducteurs, semi-conducteurs et isolants à partir de leur structure de bandes ;
- Etablir la dépendance de la conductivité des semi-conducteurs de la température et du dopage ;
- Evaluer la concentration des défauts ponctuels (lacunes, interstitiels...) dans un cristal en fonction de la température.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

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

C2.4 : "Créer de la connaissance dans une démarche scientifique".

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



2SC5591 – Conception d'un faisceau de rayons X Synchrotron

Responsables : Pierre-Eymeric JANOLIN

Département de rattachement : DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours pluridisciplinaire est construit sur deux équipes d'une vingtaine d'élèves en charge de comprendre, concevoir et dimensionner les aspects physique, mécanique, thermique et matériaux des éléments technologiques clefs d'une ligne de lumière synchrotron.

Ce cours pluridisciplinaire est construit sur deux équipes d'une vingtaine d'élèves en charge de comprendre, concevoir et dimensionner les aspects physique, mécanique, thermique et matériaux des éléments technologiques clefs d'une ligne de lumière synchrotron. L'utilisation d'outils de CAO est encouragée.

Les équipes seront accompagnées par des experts travaillant dans des synchrotrons français et européen sous la forme d'entretien par vidéoconf.

Une équipe concevra une ligne de lumière permettant de réaliser une angiographie sur un patient humain et l'autre équipe concevra une ligne de lumière permettant de détecter un isotope cancérigène du chrome dans des cellules ovariennes de grenouille.

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

ST5

Prérequis

Connaissances de base en physique moderne et transferts thermiques.

Notions de mécanique.



Plan détaillé du cours (contenu)

- Cristallographie, rayonnement d'une particule accélérée, fluorescence, absorption des rayonnements, diffusion, diffraction
- Transferts thermiques : convection, rayonnement, conduction, stationnaire et instationnaire, mécanique des fluides
- Conception Assistée par Ordinateur (CAO), maquette numérique, avant-projet de conception, pré-dimensionnement de systèmes mécaniques
- Choix des matériaux, propriétés mécaniques standards, résistance en milieu extrême, état de surface, méthodes d'élaboration et de mise en forme
- Travail en équipe dans le cadre d'une conduite de projet, animation de réunion, expression orale

Déroulement, organisation du cours

Les élèves travailleront en mode projet pendant la semaine réservée et suivront des séances de préparation et de debriefing avant et après la semaine réservée.

Les élèves inscrits à ce cours doivent être présents à la soutenance finale qui se fait au synchrotron SOLEIL et est suivie d'une visite de l'installation. .

Organisation de l'évaluation

1/3 travail de la semaine (évaluation des enseignants et des autres élèves de la ligne) 1/3 présentation (un membre du groupe présente et tous les membres du groupe ont la même note) 1/3 rapport final (note commune à toute la ligne)

Support de cours, bibliographie

Ouvrages de référence et bases de données informatiques. ShareDoc (plateforme de travail collaboratif asynchrone), Adobe Connect (visio-conférence et travail collaboratif synchrone), Spaceclaim (CAO mécanique) et Femlab (thermique).



Moyens

L'utilisation d'outils de CAO sera encouragée et pourra être valorisée lors de l'activité synchrotron :

- les élèves ayant déjà des connaissances en CAO (SPACECLAIM, SOLIDWORKS ...) pourront utiliser un de ces outils comme support à leur démarche de conception et de modélisation.
- Les élèves souhaitant se former à un outil de CAO pourront s'autoformer dans les semaines précédant le cours Synchrotron via des tutoriaux en ligne et la mise à disposition d'une licence du logiciel SPACECLAIM.

Il est à noter que des moyens alternatifs à la CAO et tout aussi pertinents pourront être utilisés pour modéliser les systèmes étudiés (dessins, maquettes ...). Cela sera le cas notamment pour certains éléments des lignes considérées.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Dimensionner à l'aide de notions de physique (moderne) de base
- Identifier des transferts thermiques pertinents, modéliser, dimensionner des systèmes (utilisation du logiciel Comsol).
- Connaître les points clés d'une étude d'avant-projet dans un contexte multidisciplinaire
- Manipuler des diagrammes d'Ashby de sélection des matériaux. Ordres de grandeurs réalistes sur les propriétés mécaniques et physiques standards des matériaux « courants ».
- Travailler en équipe, connaître et pouvoir identifier les différents rôles des membres d'une équipe (sur la base de l'outil Belbin), animer, coordonner un groupe de travail, collecter et partager l'information, mettre en forme et exposer le travail réalisé (s'exprimer devant un auditoire / soutenance)



2SC5592 – Lasers à cascade quantique

Responsables : Thomas ANTONI

Département de rattachement : DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif d'acquérir des savoirs nouveaux en physique et mathématiques contemporaines et de voir comment ils permettent le développement de ruptures technologiques industrialisables. Il sera également l'occasion de se confronter une première fois aux concepts de base des nanotechnologies. Au-delà des savoirs-faire il développera également les savoirs-être de l'ingénieur à travers le travail en équipe et la communication écrite et orale.

Les lasers à cascade quantique sont des nano-objets inventés il y vingt ans. Miracles d'ingénierie, leur fonctionnement est possible grâce aux dernières avancées en mécanique quantique, optique et thermique. En équipe, les élèves se familiariseront avec ces notions et mettront en œuvre une démarche ingénieure pour les transformer, numériquement, en un objet contraint par la réalité du monde.

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

ST5

Prérequis

Physique Quantique et Statistique , Équations aux dérivées partielles

Plan détaillé du cours (contenu)

- physique quantique (transport électronique, structures de bande, semi-conducteurs)
- optique (guidage de mode, cavités, émission)
- lasers
- rudiments de nano-technologies
- équations aux dérivées partielles



- simulations numériques via MATLAB ou Python

Déroulement, organisation du cours

Le cours est ouvert à quarante élèves et se déroulera sur une semaine entière bloquée à l'emploi du temps.

Les élèves se répartiront en deux équipes de vingt chacune devant aboutir à laser à cascade quantique sous forme numérique. Les équipes seront constituées de quatre groupes de cinq élèves, chaque groupe ayant la charge de développer plus spécifiquement une brique élémentaire du dispositif.

Organisation de l'évaluation

Présentation orale, rapport, contribution personnelle et QCM.

Support de cours, bibliographie

Liste d'ouvrages disponibles au centre de documentation distribuée lors de la première séance.

Moyens

- Échanges avec des ingénieurs experts des différents domaines abordés
- Ressources bibliographiques
- Utilisation de MATLAB ou Python

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- passer d'un concept théorique à un objet réel
- poser un problème
- faire des ordres de grandeur et itérer
- critiquer un résultat
- savoir aborder un système multi-physique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe
- Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire



- 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
- Évaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées
- Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles
- Rendre intelligible un contenu complexe. Structurer ses idées, son argumentation.
- Synthétiser et prendre du recul
- Susciter l'adhésion et l'appropriation
- Maîtriser la communication scientifique et technique. Être précis, pertinent.
- Rassembler les informations pertinentes et fiables pour soutenir un argumentaire
- Travailler en équipe/en collaboration



ST5 – 56 – SYSTEMES MULTI-ENERGIES

Dominante : ENE (Energie) et GSI (Grands Systèmes en Interaction)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Les objectifs de réduction de la consommation d'énergie et des émissions polluantes rendent nécessaire l'utilisation de systèmes énergétiques faisant appel à des sources dont les rendements et les caractéristiques sont complémentaires. Il en va ainsi des systèmes de production d'électricité où l'essor de la production renouvelable intermittente nécessite plus de flexibilité de la part des moyens de production classiques, et aussi du secteur des transports où les motorisations électrique et thermique se complètent avantageusement.

Ces systèmes multi énergie requièrent des modes de commande avancés pour tirer parti de la complémentarité des sources d'énergies, et satisfaire les besoins des usagers et les contraintes économiques, techniques et environnementales.

Prérequis nécessaires

Il est conseillé d'avoir suivi au moins un des électifs Sciences des Transferts ou Energie Electrique.

Modules contexte et enjeux : cette partie s'organise autour de demi-journées de formation visant à présenter la séquence, l'enseignement d'intégration et à introduire les enjeux et verrous associés, en particulier sous les aspects économiques et liés à l'environnement social et géopolitique de la thématique.

Cours spécifique (60 HEE) : Introduction à la production d'énergie

- **Brève description** : le cours se structure en deux parties :
 1. Conversion d'énergie thermique
 - Moteurs à combustion interne : introduction aux moteurs à combustion interne (architecture, cycle thermodynamique, fonctionnement et contrôle, émissions polluantes, grandeurs basiques de dimensionnement)
 - Turbomachines (turboréacteurs, turboalternateurs) : introduction aux turbomachines (architecture, cycle thermodynamique, fonctionnement, modes de contrôle, intérêt)



- Introduction à la physique des réacteurs nucléaires : présentation de la production d'énergie par réacteurs nucléaires, du réacteur au générateur de vapeur.
- 2. Conversion d'énergie électrique
 - Structure des machines à courant alternatifs, fonctionnement moteur/générateur
 - Convertisseurs électroniques.
 - Principes pour la variation de vitesse des machines (système machines et convertisseurs)

Enseignement d'intégration n°1 : Régulation et commande de systèmes de production et de conversion d'énergie

- **Partenaire associé** : EDF, GE Converteam
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : les objectifs visés sont :
 - Etre capable de modéliser un système physique industriel pour un objectif de commande
 - Comprendre l'impact de la régulation d'une installation sur le fonctionnement global du système électrique
 - Faire la modélisation fonctionnelle pour déterminer la stratégie de commande d'un système
 - Etre en mesure de développer une loi de commande satisfaisant le cahier des charges
 - Prendre en compte les spécificités des éléments de conversion pour les associer et créer un système

Enseignement d'intégration n°2 : Groupe motopropulseur hybride

- **Partenaire associé** : à confirmer
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : les objectifs visés sont :
 - Mettre en œuvre un modèle systémique de la chaîne de traction hybride
 - Mettre en œuvre les outils de traitement numérique sous matlab/Simulink
 - Mettre en œuvre une démarche de contrôle de l'ensemble de la chaîne hybride du conducteur aux roues
- Introduction au dimensionnement sur cycle : complexité du système et contradiction de plusieurs objectifs à atteindre

Enseignement d'intégration n°3 : Propulsion aéronautique hybride

- **Partenaire associé** : Safran Tech
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay



- **Brève description** : l'enseignement d'intégration traite de la gestion de la puissance dans le cadre d'un petit avion monomoteur doté d'une architecture énergétique hybride batteries/pile à combustible. L'avion est propulsé par une hélice alimentée par un moteur électrique et l'électricité est soit directement puisée dans des batteries soit générée par la combinaison de H₂ et O₂ dans une pile à combustible. Les objectifs sont les suivants :
 - Réaliser une partie puis assembler l'ensemble du modèle systémique de l'architecture énergétique de l'avion hybride considéré
 - Mettre en œuvre les outils de résolution numérique via Simulink et analyser les données recueillies
 - Elaborer la stratégie de régulation du système en fonction de contraintes données
 - Critiquer le modèle utilisé par rapport à l'état de l'art



2SC5610 – Introduction à la production d'énergie

Responsables : Maya HAGE HASSAN, Amir ARZANDE

Département de rattachement : ENERGIE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs de réduction de la consommation d'énergie et des émissions polluantes rendent nécessaire l'utilisation de systèmes énergétiques faisant appel à des sources dont les rendements et les caractéristiques sont complémentaires. Il en va ainsi des systèmes de production d'électricité où l'essor de la production renouvelable intermittente nécessite plus de flexibilité de la part des moyens de production classiques, et aussi du secteur des transports où les motorisations électrique et thermique se complètent avantageusement.

Ces systèmes multi énergie requièrent des modes de commande avancés pour tirer parti de la complémentarité des sources d'énergies, et satisfaire les besoins des usagers et les contraintes économiques, techniques et environnementales.

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

ST5

Prérequis

Sciences des Transferts, Energie Electrique : cours de sciences pour l'ingénieur conseillés

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Conversion d'énergie thermique

Turbomachines (turboréacteurs, turboalternateurs)

Moteurs à combustion interne

Introduction à la physique des réacteurs nucléaires



2. Conversion d'énergie électrique
Structure des machines à courant alternatifs, fonctionnement
moteur/générateur
Convertisseurs électroniques.
Principes pour la variation de vitesse des machines (système machines et
convertisseurs)

Déroulement, organisation du cours

Conversion d'énergie thermique : CM1, CM2, CM3, CM4 + TD1, TD2

Conversion d'énergie électrique : CM5, CM6, CM7, CM8 , CM9,+ TD3, TD4

CM : Cours Magistral durée 3h

TD : Travaux Dirigés durée 1h30

Organisation de l'évaluation

Contrôle des connaissances de 1 heure et demi à la fin du cours.

Support de cours, bibliographie

Polycopié de cours

Moyens

- Equipe enseignante : Amir Arzandé, Maya Hage Hassan, Antoine Renaud, Pierre Duquesne (Centrale Lyon), Pascal Yvon (CEA)
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 25
- TD en salle classique et salle informatique

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, les élèves seront capables de

Comprendre une vue d'ensemble des systèmes de conversion d'énergie en mécanique et électrique.

Connaitre différents moyens de conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique (moteur à combustion interne, turbomachine, coeur nucléaire).

Identifier les atouts et contraintes de ces différents modes de production d'énergie ainsi que de proposer des premiers éléments de pré-dimensionnement.

Proposer une modélisation rapide des machines synchrones et les convertisseurs et d'identifier quelques systèmes machines/convertisseurs pour des applications d'hybridation.



Description des compétences acquises à l'issue du cours

Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble.

Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

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

Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

Créer de la connaissance, dans une démarche scientifique

Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur

Etre proactif, prendre des initiatives, s'impliquer

Agir avec éthique, intégrité et dans le respect d'autrui

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



2SC5691 – Régulation et commande de systèmes de production et de conversion d'énergie

Responsables : Guillaume SANDOU

Département de rattachement : DOMINANTE - ENERGIE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet Enseignement d'Intégration "Production et conversion d'énergie" se propose d'aborder la régulation de diverses installations de production d'énergie électrique raccordées au réseau de distribution et de transport.

Les systèmes d'étude proposés aux étudiants seront constitués par exemple d'une installation de production hydroélectrique, d'une ferme éolienne, ou encore d'une installation de production photovoltaïque.

Le travail demandé comportera les étapes principales suivantes :

- Développement d'un modèle de l'installation de production d'énergie à partir de documents et données fournis
- Calcul d'une loi de commande pour l'installation en réponse à un cahier des charges adapté à la problématique particulière de l'installation de production considérée
- Validation en simulation des performances de régulation

Les travaux seront réalisés en partenariat avec EDF, notamment le Centre d'Ingénierie Hydraulique situé au Bourget-du-Lac.

Selon les cas, il s'agira de reproduire en simulation le comportement observé sur l'installation, d'en améliorer le fonctionnement, ou bien d'investiguer une stratégie de commande innovante pour l'installation.

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

ST5

Prérequis

- Automatique et régulation (cours commun de séquence 5)
- Introduction à la production d'énergie (cours spécifique à la ST5 "Systèmes Multi-Energies")



Plan détaillé du cours (contenu)

Déroulé de l'Enseignement d'Intégration :

- Première demi-journée : présentation et répartition des sujets d'étude
- Demi-journées 2 à 8 : réalisation du projet
 - Prise en main de la problématique et des données fournies
 - Réalisation d'un simulateur non linéaire de l'installation en boucle ouverte
 - Détermination d'un modèle exploitable pour la commande
 - Calcul de la loi de commande en fonction du cahier des charges de l'installation considérée
 - Définition, si possible, d'une stratégie de commande innovante
 - Validation sur le simulateur non linéaire
- Dernière demi-journée : restitution, présentation orale des résultats

Déroulement, organisation du cours

Fonctionnement en mode projet par groupe de 4 ou 5 étudiants.

Encadrement par les enseignants de l'école.

Organisation de l'évaluation

Chaque groupe de 4 ou 5 étudiants devra fournir :

- un simulateur complet du travail effectué, incluant un simulateur non linéaire du système, la loi de commande et les fichiers de validation;
- un rapport exposant l'approche proposée et en particulier le mode d'emploi pour utiliser le simulateur et les codes;
- une présentation orale de l'étude.

Support de cours, bibliographie

N. Gionfra, H. Siguerdidjane, G. Sandou, D. Faille, and P. Loevenbruck. Combined Feedback Linearization and MPC for Wind Turbine Power Tracking. 2016 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, International Conference on Control Applications, Buenos Aires, Argentina, September 19th-22nd, 2016.

Boubekeur Boukhezzar and Houria Siguerdidjane. Nonlinear Control of a Variable-Speed Wind Turbine Using a Two-Mass Model. IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 26, no. 1, Mars 2011.



Morten Hartvig Hansen and Lars Christian Henriksen. Basic DTU Wind Energy controller. DTU Wind Energy E-0018. January 2013.

Gérard Robert, Frédéric Michaud. Reduced Models for Grid Connected Hydro Power Plant Application to Generation Control. International Conference on Communications, Computing and Control Applications. 3-5 March 2011. Hammamet, Tunisia

Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo, and Massimo Vitelli. Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method. IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 20, No. 4, July 2005

Rae-Young Kim, and Jih-Sheng Lai. Seamless Mode Transfer Maximum Power Point Tracking Controller For Thermoelectric Generator Applications. IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 23, no. 5, September 2008

Moyens

- Équipe d'enseignants du Département Automatique et du Département Energie;
- Contacts avec des ingénieurs de recherche d'EDF;
- Mise à disposition de documents et de données sur les installations de production d'énergie électrique;
- Utilisation des PCs des étudiants

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce module, les étudiants seront capables de

- Modéliser un système physique industriel pour un objectif de commande ;
- Comprendre l'impact de la régulation d'une installation sur le fonctionnement global du système électrique ;
- Modéliser d'un point de vue fonctionnel le système afin d'en déterminer la stratégie de commande ;
- Développer une loi de commande satisfaisant un cahier des charges ;
- Prendre en compte les spécificités des unités de conversion d'énergie ;
- Valider le comportement d'un système régulé de production d'énergie électrique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Cet enseignement d'intégration sera l'occasion d'approfondir les compétences suivantes :

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

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

C3.6 Évaluer 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

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

C8.1 Travailler en équipe/en collaboration



2SC5692 – Groupe motopulseur hybride

Responsables : Amir ARZANDE, Maya HAGE HASSAN
Département de rattachement : DOMINANTE - ENERGIE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Enseignement d'intégration
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) : 27
Quota :
ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de cet EI est de pouvoir proposer un modèle de chaîne de traction hybride et allier la partie pratique sur un banc de caractérisation et la partie modélisation

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

ST5

Prérequis

Energie électrique : cours de sciences pour l'ingénieur conseillé

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Présentation des différents éléments de la chaîne de traction hybride :
Introduction aux contraintes environnementales, économiques
Présentation des moyens d'augmenter le rendement global du groupe moto-propulseur et la structure d'une chaîne de traction hybride
Présentation moteur thermique, structure de l'industrie automobile
Commande des machines électriques (choix entre MCC et machine synchrone), pour l'intégration dans un modèle système
2. Application et mise au point d'un modèle numérique :
Présentation du modèle système hybride sous Simulink :
Mise en place des différents du schéma bloc : modèle voiture, moteur thermique, boîte de vitesse, couplage moteur électrique, batteries.
Présentation d'une stratégie de gestion de flux sur cycle de consommation WLTP.

Déroulement, organisation du cours

Projet



Organisation de l'évaluation

Soutenance finale

Moyens

Modélisation sur Matlab

Articles

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Mettre en œuvre un modèle systémique de la chaîne de traction électrique puis une chaîne de traction hybride
- Mettre en œuvre les outils de traitement numérique sous matlab/Simulink
- Mettre en œuvre une démarche de contrôle de l'ensemble de la chaîne hybride du conducteur aux roues
- Introduction au dimensionnement sur cycle : complexité du système et contradiction de plusieurs objectifs à atteindre

Description des compétences acquises à l'issue du cours



2SC5693 – Propulsion aéronautique hybride

Responsables : Antoine RENAUD
Département de rattachement : DOMINANTE - ENERGIE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Enseignement d'intégration
Campus où le cours est proposé :
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 40
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 27
Quota :
ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

L'électrification de l'aviation est un sujet d'actualité, compte tenu des enjeux de réduction des émissions polluantes auxquelles la communauté du transport aérien s'est engagée : d'ici la moitié du 21^e siècle, il s'agit de diminuer par deux les émissions de CO₂ de l'ensemble du trafic aérien alors que dans le même temps on estime que le volume de passagers transportés va pratiquement doubler.

Dans ce contexte, il est légitime de s'intéresser à des avions à propulsion électrique ce qui pose le problème du stockage de l'énergie : les batteries sont encore très lourdes et suffisent à peine à mouvoir des appareils légers de deux passagers sur quelques centaines de kilomètres.

Dans le cadre de cet enseignement d'intégration, nous allons nous intéresser à un avion léger de la classe ULM haut de gamme. Pour cette catégorie d'aéronefs on peut envisager dès aujourd'hui une électrification de la propulsion avec les technologies existantes. Nous considérerons en outre une architecture hybride associant une batterie à une pile à combustible à hydrogène.

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

ST5

Prérequis

Cours de sciences pour l'ingénieur conseillé : Sciences des Transferts ou Energie électrique



Plan détaillé du cours (contenu)

Un template Simulink général du modèle sera fourni, avec un certain nombre de sous-modèles vierges qu'il s'agira de compléter. Il faudra ensuite procéder aux tests de validation de chacun des sous-systèmes.

1. Pile à combustible

- Electrochimie du coeur de pile
- Management thermique
- Logique de séquençement

2. Distribution électrique et motorisation

- Moteur et sa régulation
- Batterie et son système de management
- Régulation de la puissance

3. Cellule avion

- Mécanique du vol et roulage
- Boucles de contrôle et pilotage

4. Préparation des essais

- Définition des profils de mission
- Pré- et post-traitements

Dans une seconde partie, les groupes seront redistribués en trois équipes et les modèles des sous-systèmes seront mis en commun. Chaque équipe sera chargée d'assembler son avion et de le tester.

Déroulement, organisation du cours

L'activité sera encadrée par des intervenants de SafranTech ainsi que des enseignants CentraleSupélec. Les étudiants seront divisés en groupes et sous-groupes en fonction des différentes tâches à accomplir. Des reconfigurations auront lieu en cours de semaine en fonction de l'avancement du travail.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se base sur l'assiduité, la motivation et l'efficacité tout au long



de la semaine ainsi que sur deux soutenances en groupe, l'une en milieu de semaine et la seconde le dernier jour.

Moyens

L'ensemble de l'activité se déroulera en utilisant le logiciel Matlab/Simulink pour simuler le problème.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de la semaine, les étudiants auront acquis des notions sur la mécanique du vol, le pilotage d'un avion, le fonctionnement de moteurs électriques et de piles à combustible. Ils auront surtout appris à gérer les contraintes liées à ces différents éléments lorsqu'ils sont assemblés dans un système complexe. Enfin, l'étendue et la complexité du problème demandent nécessairement un travail en équipe avec différents cœurs de métiers, répliquant en cela des situations réelles du monde du travail.

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

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

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.

C8.1: Travailler en équipe/en collaboration.



ST5 – 57 – CONTROLE DE LA POLLUTION ACOUSTIQUE ET ELECTROMAGNETIQUE

Dominante : MDS (Mathématique, Data Science) et Info&Num (Informatique et Numérique)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

La pollution acoustique est aujourd'hui considérée comme une gêne majeure par la population, alors que la pollution électromagnétique soulève pour sa part de nombreuses questions et interrogations liées aux problèmes de santé. Les réalisations pratiques permettant de contrôler cette pollution représentent un défi technique et industriel de premier plan, mais ne bénéficient pas encore des nouveaux développements que peut lui apporter l'analyse mathématique, la simulation numérique et l'informatique.

Cet enseignement s'intéresse à la conception de produits innovants (revêtement acoustique ou électromagnétique) destinés à contrôler la pollution acoustique/électromagnétique. Ayant introduit le contexte physique, il vise à donner aux élèves les notions en mathématique et informatique associées à la conception et la fabrication de tels produits. Cet enseignement propose deux voies de formation :

- **Voie Méthodes mathématiques :** une voie basée sur la théorie mathématique (EDPs, analyse fonctionnelle, dérivée de Fréchet) associée aux méthodes numériques (éléments finis) pour maîtriser le contrôle des ondes pour définir la forme d'un revêtement acoustique ou électromagnétique. En particulier, dans cette voie sont traitées les EDPs sur les bords irréguliers (fractales) et est développée la méthode d'optimisation des formes et la notion de la dérivée par rapport au bord.
- **Voie Calcul Scientifique, méthodes numériques et algorithmique :** cette voie a pour objectif l'approfondissement des méthodes numériques, utilisées en voie mathématique, elle est orientée vers le calcul scientifique. En s'intéressant au même but commun avec la voie mathématique, cette voie permet d'aller plus loin dans l'implémentation numérique de la méthode d'optimisation des formes.



Les deux voies étudient les méthodes (théoriques ou numériques) qui sont utiles au contrôle des ondes acoustiques extérieures (voisinage des autoroutes, des aéroports, des chantiers) ou intérieures (isolation phonique dans les bureaux par des panneaux perforés ou liners acoustiques dans les réacteurs des avions par exemple), ainsi qu'au contrôle de la pollution électromagnétique (chambres anéchoïques).

L'enseignement d'intégration permet de mettre en œuvre les compétences et connaissances acquises dans le cas d'une application choisie pour garantir les meilleures performances tout en tenant compte des contraintes réglementaires, environnementales et économiques.

L'intervention d'industriels (ONERA, SIEPEL) et des spécialistes concepteurs des murs anti-bruits permet de mieux appréhender les contraintes économiques et les enjeux associés à la conception et à l'exploitation de produits innovants.

Prérequis nécessaires

Pour la voie « Méthodes mathématiques » il est demandé une maîtrise du cours de première année EDPs. D'un point de vue général, avoir suivi l'électif « Ingénierie des Ondes » serait un plus.

Modules contexte et enjeux : cette partie s'organise autour de demi-journées de formation visant à présenter la séquence, l'enseignement d'intégration et à introduire les enjeux et verrous associés. Ainsi les thèmes suivants seront abordés : les fractales pour l'innovation dans les applications acoustiques et électromagnétiques, le contrôle par des liners acoustiques dans les réacteurs en aéronautique, les défis actuels du contrôle des ondes électromagnétiques, la recherche et l'innovation dans le contrôle des ondes.

Cours spécifique (60 HEE) : Le contrôle des ondes : la théorie et algorithmique

- **Brève description :** Les deux voies proposées ont les mêmes objectifs. Les concepts du cours commun d'Automatique sont approfondis dans le contexte du contrôle de la dissipation de l'énergie d'une onde. L'observabilité dans ce cas dépend de la géométrie du bord absorbant. Pour illustrer les raisons pour lesquelles on a besoin de l'irrégularité géométrique, on introduit les notions de géométrie fractale avec des résultats connus en physique et, pour la voie théorique, en mathématiques. On présente en particulier les phénomènes de localisation et d'absorption des ondes (acoustiques ou électromagnétiques) qui sont reliées par l'analyse spectrale du modèle (théorique et numérique). Pour mieux comprendre les enjeux environnementaux et sociologiques des développements des barrières acoustiques, on présente quelques aspects psycho-acoustiques, qui montrent l'importance de la dissipation de certaines fréquences. Le cours étudie en particulier, pour une fréquence fixée, l'obtention d'une forme



optimale pour un modèle fréquentiel via les équations de Helmholtz dans le but de permettre son utilisation dans l'EI sur deux types de contrôle : géométrique et topologique. Pour la voie numérique la partie algorithmique de cette méthode sera présentée en détail. Dans la voie mathématique on présentera également ces méthodes numériques mais beaucoup plus brièvement.

On considère ensuite la difficulté principale d'avoir une forme "presque optimale" sur une large bande de fréquences, importante d'un point de vue psycho-acoustique et des intérêts industriels. Le but final dans l'EI est de pouvoir déterminer rapidement et de manière robuste la forme optimale ou la forme « presque optimale » de la géométrie sur une bande de fréquence par la simulation numérique.

Les deux voies proposées prévoient un projet numérique commun sur la localisation des modes propres et deux sujets d'examen différents.

Enseignement d'intégration n°1 : Conception d'un revêtement afin de contrôler la pollution des ondes. Contrôle de la pollution acoustique extérieure

- **Partenaire associé :** ONERA
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay
- **Brève description :** On se positionne sur les enjeux industriels qui imposent les contraintes économiques et les contraintes technologiques nécessaires pour l'amélioration des produits existants du marché, pour concevoir des revêtements innovants pour absorber le bruit des avions, des trains, des voitures. On vise à développer ces produits innovants de manière optimale en contrôlant l'énergie des ondes par la géométrie du mur tout en prenant en compte les contraintes économiques. Par exemple, COLAS et l'École Polytechnique ont développé un mur anti-bruit nommé "mur Fractal" TM, qui a été conçu empiriquement avec une géométrie complexe afin de dissiper les différentes longueurs d'ondes. Toutefois, ce mur même s'il est quatre fois plus performant que les murs classiques pour les basses fréquences, ne se vend quasiment pas... L'explication tient au fait que sa construction, se faisant par démoulage, risque de briser le mur, ce qui entraîne un coût élevé de fabrication. Cet EI se propose de trouver par des méthodes de contrôle des ondes, des formes optimales les plus absorbantes possibles (en décibel) qui satisfont les contraintes imposées par l'industriel, par exemple, le coût de fabrication le moins cher avec la réduction la plus importante des décibels. Des premiers résultats numériques dans ce contexte montrent l'existence des formes optimales "pas trop complexes" capables d'améliorer d'un facteur 6 les performances du "mur Fractal" TM.



Enseignement d'intégration n°2 : Conception d'un revêtement afin de contrôler la pollution des ondes. Contrôle de la pollution acoustique intérieure

- **Partenaire associé :** ONERA
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay
- **Brève description :** On se positionne sur les enjeux industriels qui imposent les contraintes économiques et les contraintes technologiques nécessaires pour améliorer les produits existants sur le marché, dans le but de concevoir des revêtements intérieurs pour absorber le bruit à l'intérieur des bâtiments et également de liners acoustiques dans les réacteurs des avions. Dans ce contexte on s'intéresse à trois applications phares: (i) la conception des revêtements dans les chambres anéchoïques (jusqu'à présent les chambres anéchoïques acoustiques ont été conçue de manière empirique basée sur des géométries utilisant des échelles différentes), (ii) la conception de panneaux absorbants perforés (les matériaux absorbants sont constitués de fibres qui ont de très bonnes propriétés acoustiques absorbantes, et qui sont habituellement couverts de panneaux en bois pour des raisons esthétiques, ce qui nuit malheureusement à leur efficacité) et enfin (iii) les isolations absorbant perforés dans les réacteurs des avions. Dans la dernière application il est important d'optimiser le diamètre et le positionnement des trous dans le matériau. Les objectifs sont de contrôler au mieux les ondes par une analyse de la forme optimale de la surface de ces revêtements afin d'améliorer l'absorption acoustique en décibel en prenant en compte les enjeux et contraintes industrielles.

Enseignement d'intégration n°3 : Conception d'un revêtement afin de contrôler la pollution des ondes. Contrôle de la pollution électromagnétique

- **Partenaire associé :** ONERA
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay
- **Brève description :** On se positionne sur les enjeux industriels, présentés par SIEPEL, qui imposent les contraintes économiques et les contraintes technologiques nécessaires pour améliorer les produits existants du marché, ceci afin d'absorber les ondes électromagnétiques. Comme domaines d'applications, on vise la conception et l'optimisation d'une chambre anéchoïque. On remarque que les matériaux absorbants pour les ondes électromagnétiques sont différents des matériaux dissipatifs pour les ondes acoustiques. La nature différente de ces ondes des ondes acoustique prévoit une adaptation du modèle vu en cours.



2SC5710 – Théorie et algorithmique pour le contrôle des ondes

Responsables : Anna ROZANOVA-PIERRAT

Département de rattachement : MATHÉMATIQUES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

La pollution acoustique est aujourd'hui considérée comme une gêne majeure par la population, alors que la pollution électromagnétique soulève pour sa part de nombreuses questions et interrogations liées aux problèmes de santé. Les réalisations pratiques permettant de contrôler cette pollution représentent un défi technique et industriel de premier plan, mais ne bénéficient pas encore des nouveaux développements que peuvent lui apporter l'analyse mathématique, la simulation numérique et l'informatique.

Cet enseignement s'intéresse à la conception de produits innovants (revêtement acoustique ou électromagnétique) destinés à contrôler la pollution acoustique/électromagnétique.

Ayant introduit le contexte physique dans le module "Contexte et enjeux", il vise à donner aux élèves les notions en mathématique et informatique associées à la conception et la fabrication de tels produits. Cet enseignement propose deux voies de formation :

1) Voie analyse théorique, dirigée par Mme Rozanova-Pierrat: une voie basée sur la théorie mathématique (EDPs, analyse fonctionnelle, dérivée de Fréchet) associée aux méthodes numériques (éléments finis, différences finies) pour maîtriser le contrôle des ondes pour définir la forme d'un revêtement acoustique ou électromagnétique. En particulier, dans cette voie sont traitées les EDPs sur les bords irréguliers (fractales) et est développée la méthode d'optimisation des formes et la notion de la dérivée par rapport au bord.

2) Voie analyse numérique, méthodes numériques et algorithmique,



dirigée par M. Magoulès : cette voie a pour objectif l'approfondissement des méthodes numériques, utilisées dans la voie analyse théorique, elle est orientée vers le calcul scientifique. En particulier, dans cette voie sont traitées les méthodes numériques et l'implémentation de celles-ci pour la propagation des ondes et la méthode d'optimisation des formes.

Les deux voies préparent aux trois EIs proposés par la suite. Plus précisément, elles étudient les méthodes (théoriques ou numériques) qui sont utiles aux thématiques des trois EIs : au contrôle des ondes acoustiques extérieures (voisinage des autoroutes, des aéroports, des chantiers) ou intérieures (isolation phonique dans les bureaux par des panneaux perforés ou liners acoustiques dans les réacteurs des avions par exemple), ainsi qu'au contrôle de la pollution électromagnétique (chambres anéchoïques).

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

ST5

Prérequis

La maîtrise des cours SG de la 1ère année : Algorithmique et complexité (pour la voie Calcul Scientifique) et EDPs (pour la voie Analyse théorique)

Le cours Électif "Physique des Ondes" est conseillé pour l'EI "Contrôle de la pollution électromagnétique"

Plan détaillé du cours (contenu)

On développe sur le cours "Automatique et Contrôle" de la ST, les problèmes de contrôle décrits par des équations aux dérivées partielles (observabilité, commandabilité, dite contrôlabilité) qu'on approfondi dans le contexte du contrôle de la dissipation de l'énergie d'une onde. L'observabilité dans ce cas dépend de la géométrie du bord absorbant. Pour illustrer les raisons dans lesquelles on a besoin de l'irrégularité géométrique, on introduit les notions de géométrie fractale avec des résultats connus en physique et en mathématiques (voie Analyse théorique). On présente en particulier, les phénomènes de localisation et d'absorption des ondes (acoustiques ou électromagnétiques) qui sont reliées par l'analyse spectrale du modèle. Pour mieux comprendre les enjeux environnementaux et sociologiques des développements des barrières acoustiques, on présente quelques aspects psychoacoustiques, qui montrent l'importance de la dissipation des certaines fréquences. Le cours étudie en particulier, pour une fréquence fixée, l'obtention d'une forme optimale pour un modèle fréquentiel sur les équations de Helmholtz dans le but de permettre son utilisation dans l'EI sur deux types de



contrôles : géométrie et topologique. On considère ensuite la difficulté principale d'avoir une forme "presque optimale" sur une large bande des fréquences, importante d'un point de vue psychoacoustique et des intérêts industriels. Dans ce contexte sont également présentées (de manière approfondie pour la voie Calcul Scientifique) les méthodes numériques les plus adaptées afin de pouvoir déterminer rapidement et de manière robuste la forme optimale ou la forme « presque optimale » de la géométrie sur une bande de fréquence par la simulation numérique.

Plan détaillé du cours par séance :

1) Cours/TD sur la thématique commune de deux voies avec des niveaux de la présentation adaptés :

Introduction EDPs: opérateurs Delta, nabla, div, bord d'un domaine, une normale extérieure, intégration par parties. Modèles de la propagation des ondes.

2) Cours/TD a) voie Analyse Théorique : Traces, extensions, ensembles compacts, opérateurs compacts. Équation de Poisson.

b) voie Analyse Numérique : Equation de Poisson, méthode éléments finis, méthode des différences finies, implémentation numérique.

3) Cours/TD a) voie Analyse Théorique : Bords fractales. Analyse du problème de Poisson aux conditions au bord mixtes et du problème spectral associé.

b) voie Analyse Numérique : Bords pré-fractales. Problème spectrale et méthodes numériques associées, implémentation des différentes conditions aux bords, erreur numérique.

4) Cours/TD a) voie Analyse Théorique : modèle de l'Helmholtz avec un bord absorbant, sa résolution théorique et dépendance de l'énergie acoustique des fréquences.

b) voie Analyse Numérique : Méthodes numériques avancées dans le contexte des ondes.

5) Cours/TD sur la thématique commune à deux voies : Résolution numérique du problème de Helmholtz avec une dissipation par le bord et du problème spectrale associé.

6) TDs machines et TPs : Lancement du projet localisation des modes propres pour deux voies.

7) Cours/TD a) voie Analyse Théorique : Optimisation paramétrique (existence d'une forme optimale).

b) voie Analyse Numérique : Introduction de l'optimisation paramétrique, algorithmique et numérique associée.

8) Cours/TD a) voie Analyse Théorique : Dérivée de Fréchet et la dérivée par rapport à un paramètre.

b) voie Analyse Numérique : Notion de la dérivée de Fréchet. Implémentation numérique de l'optimisation paramétrique.

9) Cours/TD a) voie Analyse Théorique : Optimisation des formes. Dérivée par rapport à la forme.

b) voie Analyse Numérique : Introduction à l'optimisation des formes. Implémentation numérique de l'optimisation des formes.



10) Cours avec une adaptation aux deux voies : Algorithme numérique de l'optimisation des formes et l'optimalité sur une plage des fréquences. Contrôle des ondes, lien avec le cours commun "Automatique".

Déroulement, organisation du cours

Cours :12*1h30, : TD 8*1h30, TP 3*1h (TDs sur l'ordinateurs, calculs sur un cluster), projet (en dehors des TDs), polycopié du cours de la voie Analyse théorique, calculs sur un cluster, solutions des exercices des TDs

Organisation de l'évaluation

Contrôle final de 1h30 qui compte pour 70% dans la note finale et le projet qui compte pour 30% dans la note finale.

Support de cours, bibliographie

- *Frédéric Magoulès, Thi Phuong Kieu Nguyen, Pascal Omnes, Anna Rozanova-Pierrat. Optimal absorption of acoustical waves by a boundary, SIAM SICON, à paraître, 2020.*
- *Kevin Arfi, Anna Rozanova-Pierrat. Dirichlet-to-Neumann or Poincaré-Steklov operator on fractals described by d -sets. Discrete and Continuous Dynamical Systems - Series S, American Institute of Mathematical Sciences, 2019, 12 (1), pp.1-26.*
- *G. Allaire Conception optimale de structures, Springer.*
- *A. Henrot, M. Pierre Variation et optimisation de formes. Une analyse géométrique. Springer.*
- *M. Filoche and S. Mayboroda, Universal mechanism for Anderson and weak localization, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 109, 14761 (2012).*
- *M. Filoche and S. Mayboroda, The landscape of Anderson localization in a disordered medium, Contemporary Mathematics, 601 (2013), 113-121*

Moyens

Les étudiants sont divisés en deux groupes correspondant à deux voies mentionnées avant le commencement du cours spécifique. Chaque groupe a des cours destinés à introduire des notions utilisées en TDs et à plus long terme en l'EI (les trois EIs proposés). Il y aura quelques cours sur les méthodes numériques dans la voie mathématique et il y aura quelques cours théoriques élémentaires (comme l'intégration par parties



multidimensionnelle) dans la voie numérique. Il est prévu avoir une séance des TPs (TDs sur l'ordinateur) de 3h commun pour 2 voies à l'issue des quels il y a un projet numérique à rendre (l'influence de la géométrie du mur sur la localisation des modes propres et la dissipation de l'énergie de l'onde). Les étudiants réaliseront la modélisation, la simulation, la visualisation et le rendu du phénomène. Les deux voies prévoient deux sujets d'examen différents. La voie Analyse mathématique est basée sur le polycopié du cours, qui sera mis à disposition de tout le monde. Les étudiants ont également à leur disposition tous les sujets des TDs avec les corrections. Les calculs numériques seront effectués sur un cluster de calcul de CentraleSupélec en se connectant à Jupyter.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Voie Analyse Théorique :

- comprendre les techniques théoriques et numériques du contrôle des ondes acoustiques / électromagnétiques
- Valider les techniques théoriques et numériques de contrôle des ondes acoustiques / électromagnétiques (optimisation de forme)

Voie Analyse Numérique, calcul scientifique, méthodes numériques et algorithmique :

- techniques numériques de contrôle des ondes acoustiques / électromagnétiques
- Implémenter des méthodes numériques pour simuler des phénomènes de propagation d'ondes acoustiques de grandes dimensions (problèmes externes / internes et problèmes pour une large bande de fréquences)
- Valider les techniques numériques de contrôle des ondes acoustiques / électromagnétiques

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1, C2.1, C6.1, C7.1, C9.4

Voie Analyse théorique (analyse fonctionnelle, optimisation de formes):

Pouvoir traiter les problèmes de contrôle décrits par les EDPs.

Savoir traiter l'irrégularité du bord y compris fractale pour montrer le caractère bien posé d'un problème décrit par des EDPs.

Savoir appliquer la méthode d'optimisation des formes et dériver une fonctionnelle d'énergie par rapport au bord du domaine.

Pouvoir déduire à partir des objectifs applicatifs les contraintes du contrôle et le fait d'une existence/non-existence d'une forme optimale.

Cibler les échelles géométriques d'intérêt par rapports aux longueurs d'ondes à dissiper.

Pouvoir traiter les aspects numériques.

Voie Analyse numérique (Calcul Scientifique, méthodes numériques et



algorithmique) :

Pouvoir traiter les problèmes de contrôle décrits par les EDPs.

Pouvoir déduire à partir des objectifs applicatifs les contraintes du contrôle et l'importance d'une forme optimale.

Cibler les échelles géométriques d'intérêt par rapports aux longueurs d'ondes à dissiper.

Maîtriser la méthode des éléments finis et différences finies et leur implémentation.

Connaissance des méthodes de résolutions liées à la simulation de la propagation des ondes.

Maitrise des difficultés numériques liées à la simulation.



2SC5791 – Contrôle de la pollution acoustique extérieure

Responsables : Frédéric MAGOULES, Anna ROZANOVA-PIERRAT
Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Enseignement d'intégration
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) : 27
Quota :
ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

On se positionne sur les enjeux industriels qui imposent les contraintes économiques et les contraintes technologiques nécessaires pour l'amélioration des produits existants du marché, pour concevoir des revêtements innovants pour absorber le bruit des avions, des trains, des voitures. On vise à développer ces produits innovants de manière optimale en contrôlant l'énergie des ondes par la géométrie du mur tout en prenant en compte les contraintes économiques. Par exemple, COLAS et l'École Polytechnique ont développé un mur anti-bruit nommé "mur Fractal" TM, qui a été conçu empiriquement avec une géométrie complexe afin de dissiper les différentes longueurs d'ondes. Toutefois, ce mur même s'il est quatre fois plus performant que les murs classiques pour les basses fréquences, ne se vend quasiment pas... L'explication tient au fait que sa construction, se faisant par démoulage, risque de briser le mur, ce qui entraîne un coût élevé de fabrication. Cet EI se propose de trouver par des méthodes de contrôle des ondes, des formes optimales les plus absorbantes possibles (en décibel) qui satisfont les contraintes imposées par l'industriel, par exemple, le coût de fabrication le moins cher avec la réduction la plus importante des décibels. Des premiers résultats numériques dans ce contexte montrent l'existence des formes optimales "pas trop complexes" capables d'améliorer d'un facteur 6 les performances du "mur Fractal" TM.

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

ST5



Prérequis

les cours de ST5 et en particulier le cours "Théorie et algorithmique pour le contrôle des ondes" 2SC5710 (une des deux voies proposée)

Plan détaillé du cours (contenu)

Travail en équipe "entreprise", définition des enjeux, recherche bibliographique, compréhension physique et de l'intérêt pratique, modélisation mathématique du problème, mise au point de la théorie mathématique correspondante si nécessaire (le problème bien ou mal posé, régularité de la solution, dérivation de l'énergie acoustique par rapport à la géométrie du mur, influence du choix du matériau poreux choisit sur l'absorption de l'énergie,...), développement/implémentation de la méthode numérique, l'analyse numérique des résultats, l'analyse de leurs pertinence, amélioration possible, obtention d'une forme efficace pour une large bande des fréquences.

Déroulement, organisation du cours

Travail en équipe, projet, dialogue avec différents spécialistes du domaine.

Organisation de l'évaluation

Rapport, livrables finaux et intermédiaires, soutenance.

Moyens

Connexion au cluster de calcul à la distance

Les étudiants réaliseront la modélisation, la simulation, la visualisation et le rendu du phénomène choisi. Ils étudieront la chaîne de simulation avec un objectif de performance et de précision sous contraintes économiques (coût de fabrication) et environnemental (gain en décibel ou en potentiel).

Livrables : rapport, logiciel, transparents et soutenance

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre l'apport de la géométrie dans la conception et le développement de nouveaux produits
- Appréhender les techniques théoriques et numériques du contrôle des ondes acoustiques



- Implémenter les méthodes numériques pour simuler des phénomènes de propagation d'ondes acoustiques de grandes dimensions (problèmes extérieurs et problèmes pour une large bande des fréquences)
- Valider les techniques théoriques et numériques du contrôle des ondes acoustiques
- Confronter les étudiants à la réalisation d'un produit complexe par des techniques de simulation 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 : étude de l'intérêt industriel, psychoacoustique et environnemental pour la détermination des contraintes du problème du contrôle, leurs implémentations dans la méthode numérique et l'analyse de leurs suffisances de point de vue théorique pour l'existence du contrôle optimale.

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur : compréhension et application d'une méthodologie mathématique dans le contexte de développement d'un produit innovant ingénieur.

C3.5 Proposer des solutions/outils nouveaux soit en rupture soit en progrès continu : en utilisant l'avancement scientifique des disciplines fondamentales comme les mathématiques et la physique et une implémentation informatique efficace, proposer une nouvelle solution pour concevoir les murs anti-bruit existants.

C4.1 Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socio-économiques : étude de l'intérêt industriel, psychoacoustique et environnementale pour la détermination des contraintes du problème du contrôle.

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 : utilisation et développement d'un code numérique en se basant sur des parties existantes.



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.

Convaincre en travaillant sur la relation à l'autre : en travaillant en équipe le choix stratégique est crucial pour avoir des bons résultats du projet, pour le faire il faut savoir convaincre les autres ; le travail en équipe lui-même ; la soutenance finale devant un jury multidisciplinaire.

C8.1 Travailler en équipe/en collaboration : c'est le principe de l'EI.

C9.4 Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques : la validation et l'analyse des résultats obtenu numériquement en faisant preuve d'esprit critique.



2SC5792 – Contrôle de la pollution acoustique intérieure

Responsables : Anna ROZANOVA-PIERRAT, Frédéric MAGOULES, Éric SAVIN

Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

On se positionne sur les enjeux industriels qui imposent les contraintes économiques et les contraintes technologiques nécessaires pour améliorer les produits existants sur le marché, dans le but de concevoir des revêtements intérieurs pour absorber le bruit à l'intérieur des bâtiments et également de liners acoustiques dans les réacteurs des avions. Dans ce contexte on s'intéresse à trois applications phares: (i) la conception des revêtements dans les chambres anéchoïques (jusqu'à présent les chambres anéchoïques acoustiques ont été conçues de manière empirique basée sur des géométries utilisant des échelles différentes), (ii) la conception de panneaux absorbants perforés (les matériaux absorbants sont constitués de fibres qui ont de très bonnes propriétés acoustiques absorbantes, et qui sont habituellement couverts de panneaux en bois pour des raisons esthétiques, ce qui nuit malheureusement à leur efficacité) et enfin (iii) les isolations absorbant perforés dans les réacteurs des avions. Dans la dernière application il est important d'optimiser le diamètre et le positionnement des trous dans le matériau. Les objectifs sont de contrôler au mieux les ondes par une analyse de la forme optimale de la surface de ces revêtements afin d'améliorer l'absorption acoustique en décibel en prenant en compte les enjeux et contraintes industrielles.

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

ST5

Prérequis

les cours de ST5 et en particulier le cours "Théorie et algorithmique pour le



contrôle des ondes" 2SC5710 (une des deux voies proposées)

Plan détaillé du cours (contenu)

Travail en équipe "entreprise", définition des enjeux, recherche bibliographique, compréhension physique et de l'intérêt pratique, modélisation mathématique du problème, mise au point de la théorie mathématique correspondante si nécessaire (le problème bien ou mal posé, régularité de la solution, dérivation de l'énergie acoustique par rapport à la géométrie du mur, influence du choix du matériau poreux choisit sur l'absorption de l'énergie,...), développement/implémentation de la méthode numérique, l'analyse numérique des résultats, l'analyse de leurs pertinence, amélioration possible, obtention d'une forme efficace pour une large bande des fréquences.

Déroulement, organisation du cours

Travail en équipe, projet, dialogue avec différents spécialistes du domaine.

Organisation de l'évaluation

Rapport, livrables finaux et intermédiaires, soutenance

Moyens

Connexion au cluster de calcul à la distance

Les étudiants réaliseront la modélisation, la simulation, la visualisation et le rendu du phénomène choisi. Ils étudieront la chaîne de simulation avec un objectif de performance et de précision sous contraintes économiques (coût de fabrication) et environnemental (gain en décibel ou en potentiel).

Livrables : rapport, logiciel, transparents et soutenance

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre l'apport de la géométrie dans la conception et le développement de nouveaux produits

Appréhender les techniques théoriques et numériques du contrôle des ondes acoustiques

Implémenter les méthodes numériques pour simuler des phénomènes de propagation d'ondes acoustiques de grandes dimensions (problèmes intérieur et problèmes pour une large bande des fréquences)



Valider les techniques théoriques et numériques du contrôle des ondes acoustiques

Confronter les étudiants à la réalisation d'un produit complexe par des techniques de simulation 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 : étude de l'intérêt industriel, psychoacoustique et environnemental pour la détermination des contraintes du problème du contrôle, leurs implémentations dans la méthode numérique et l'analyse de leurs suffisances de point de vue théorique pour l'existence du contrôle optimale.

C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur : compréhension et application d'une théorie mathématique dans le contexte de développement d'un produit innovant ingénieur.

C3.5 Proposer des solutions/outils nouveaux soit en rupture soit en progrès continu : en utilisant l'avancement scientifique des disciplines fondamentales comme les mathématiques et physique (l'utilisation du cours) proposer une nouvelle solution aux défauts des murs anti-bruit existants (présenter les nouveaux résultats et leurs analyses de la pertinence et l'efficacité).

C4.1 Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socio-économiques : étude de l'intérêt industriel, psychoacoustique et environnemental pour la détermination des contraintes du problème du contrôle.

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 : utilisation et développement d'un code numérique en se basant sur les parties existantes.

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. Convaincre en travaillant sur la relation à l'autre : en travaillant en équipe le choix stratégique est crucial pour avoir des bons résultats du projet, pour le faire il faut savoir convaincre les autres ; le travail en équipe lui-même ;



la soutenance finale devant un jury multi-disciplinaire.

C8.1 Travailler en équipe/en collaboration : c'est le principe général de l'EI.

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



2SC5793 – Contrôle de la pollution électromagnétique

Responsables : Frédéric MAGOULES, Anna ROZANOVA-PIERRAT,
Dominique PICARD
Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA
SCIENCES
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Enseignement d'intégration
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) : 27
Quota :
ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

On se positionne sur les enjeux industriels qui imposent les contraintes économiques et les contraintes technologiques nécessaires pour améliorer les produits existants du marché, ceci afin d'absorber les ondes électromagnétiques. Comme domaines d'applications, on vise la conception/optimisation des chambres anéchoïques électromagnétiques. On remarque que les matériaux absorbants (il y aura une visite chambres anéchoïque dans le bâtiment Bréguet et éventuellement celle de Thales-Limours) de la pour les ondes électromagnétiques sont différents des matériaux dissipatifs pour les ondes acoustiques.

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

ST5

Prérequis

Cours "Ingénierie des Ondes" de la 1ère année serait un plus

Les cours de ST5 et en particulier le cours "Théorie et algorithmique pour le contrôle des ondes" 2SC5710
(une des deux voies proposées)

Plan détaillé du cours (contenu)

Travail en équipe "entreprise", définition des enjeux, recherche bibliographique, compréhension physique et de l'intérêt pratique,



modélisation mathématique du problème, mise au point de la théorie mathématique correspondante si nécessaire (le problème bien ou mal posé, régularité de la solution, dérivation de l'énergie électromagnétique par rapport à la géométrie du mur, influence du choix du matériau poreux choisit sur l'absorption de l'énergie,...), développement/implémentation de la méthode numérique, l'analyse numérique des résultats, l'analyse de leurs pertinence, amélioration possible, obtention d'une forme efficace pour une large bande des fréquences.

Déroulement, organisation du cours

Travail en équipe, projet, dialogue avec différents spécialistes du domaine.

Organisation de l'évaluation

Rapport, livrables finaux et intermédiaires, soutenance

Moyens

Connexion au cluster de calcul à la distance

Les étudiants réaliseront la modélisation, la simulation, la visualisation et le rendu du phénomène choisi. Ils étudieront la chaîne de simulation avec un objectif de performance et de précision sous contraintes économiques (coût de fabrication) et environnemental (gain en décibel ou en potentiel).

Livrables : rapport, logiciel, transparents et soutenance

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre l'apport de la géométrie dans la conception et le développement de nouveaux produits

Appréhender les techniques théoriques et numériques du contrôle des ondes acoustiques

Implémenter les méthodes numériques pour simuler des phénomènes de propagation d'ondes acoustiques de grandes dimensions (problèmes extérieurs et problèmes pour une large bande des fréquences)

Valider les techniques théoriques et numériques du contrôle des ondes acoustiques

Confronter les étudiants à la réalisation d'un produit complexe par des techniques de simulation numérique



ST5 – 58 – SYSTEMES COMPLEXES INDUSTRIELS ET CRITIQUES A LOGICIELS PREPONDERANTS

Dominante : Info&Num (Informatique et Numérique)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Cette séquence thématique aborde un axe des sciences du logiciel à travers la mise en place d'un cycle de développement permettant la conception de systèmes complexes industriels et critiques où le logiciel est prépondérant. Les systèmes industriels modernes sont souvent des systèmes composés de composants hétérogènes en interaction pouvant être définis comme des systèmes complexes (systèmes de systèmes). Ce qui caractérise de tels systèmes est qu'ils sont souvent à logiciels prépondérants (Ex. les systèmes cyber-physiques). De plus, leur comportement est souvent difficilement appréhendable du fait de l'émergence de comportements global que l'on ne peut anticiper à un niveau plus local. Enfin, ils sont critiques dans le sens où la moindre erreur de conception peut avoir des conséquences rédhibitoires sur le comportement global du système.

Plus précisément, cette séquence thématique vise à aborder à la fois la conception et la vérification de tels systèmes complexes et critiques en utilisant des techniques issues du Génie Logiciel. Les composants de tels systèmes étant hétérogènes (c-à-d. à la fois physiques et logiciels), les méthodologies et les outils présentés dans cette séquence seront multiples et s'intègrent dans le cadre d'un cycle de développement. L'idée est de commencer la phase d'analyse en utilisant des outils semi-formels (UML, SysML, ...), souvent utilisés dans l'ingénierie des systèmes pour décrire la structuration du système et ses interactions, puis d'aborder scientifiquement les phases de conception et de validation en utilisant des techniques formelles du Génie Logiciel (modélisation temporisée et hybride, logique temporelle, model-checking). L'interaction du système avec son environnement externe (qui peut être l'utilisateur l'humain ou pas) est l'un des points principaux qui seront pris en compte.

L'objectif principal d'une telle démarche vise à montrer, à travers les modèles formels obtenus, que le système fait bien ce que l'on attend de lui tout en respectant les contraintes imposées par le cahier des charges et par l'environnement, ou dans le cas contraire, à extraire les états du système qui peuvent remettre en cause son bon fonctionnement. Dans ce dernier cas, le gain sur le plan économique est très intéressant et appréciable par les



ingénieurs qui gagneront à corriger les problèmes détectés par la vérification du modèle avant de passer à l'étape de l'implémentation (programmation).

Prérequis nécessaires

Aucun

Modules contexte et enjeux : cette partie s'articule autour de demi-journées de formation visant à présenter la séquence, l'enseignement d'intégration et à introduire la thématique. Ainsi seront organisées des conférences et tables rondes portant sur l'état actuel de l'ingénierie dirigée par les modèles dans le monde industriel et les défis dans du futur ; ou encore intitulée « The application of Formal Methods to Railway Signalling Software ».

Cours spécifique (60 HEE) : Conception et vérification des systèmes critiques

- **Brève description :** un système critique est un système dont la panne peut avoir des conséquences graves, comme les systèmes de transport (trains, avions, voitures, ...) ou les systèmes de production d'énergie (nucléaire, éolien, ...). Ces systèmes sont complexes et afin de garantir leur bon fonctionnement, il est nécessaire de prendre en compte les aspects continus et événementiels de leur dynamique. Une part du cours sera donc dédiée à la conception et à la modélisation des systèmes critiques et complexes. Par ailleurs, leur sûreté de fonctionnement est porteuse d'enjeux économiques et sociétaux considérables. Une autre part du cours sera alors dédiée aux méthodes et outils (formels ou semi-formels) proposés pour garantir les propriétés de sûreté pendant la phase de conception

Enseignement d'intégration n°1 : Conception d'un système de signalisation sûr pour le ferroviaire

- **Partenaire associé :** Systerel
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay
- **Brève description :** dans un système ferroviaire, il est primordial que les aiguilles ne bougent pas lorsqu'un train les parcourt, sinon il risque fort de dérailler. À cette fin, un système de signalisation dispose de signaux (un peu comme les feux tricolores sur la route) qui permettent de demander aux trains de s'arrêter avant les aiguilles. Les choses se compliquent dans le cas où le train est trop proche du signal pour pouvoir s'arrêter (même problématique qu'un feu orange pour une voiture). L'objectif de cette étude de cas est de modéliser formellement un tel système et de montrer qu'il est sûr : les trains ne vont pas dérailler.

Enseignement d'intégration n°2 : Conception de systèmes intelligents pour le contrôle automatisé du trafic aérien



- **Partenaire associé** : à confirmer
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : les systèmes d'informations critiques dans le domaine avionique sont soumis à des contraintes de temps et de fiabilité très importantes. Leur développement nécessite donc des techniques d'ingénierie prenant en compte ces caractéristiques dès les phases amont de leur cycle de vie. Cet EI s'intéresse donc à la conception des modèles des systèmes intelligents pour contrôler trafic aérien et à la vérification des certaines propriétés de sûretés sur ces modèles. Ces systèmes mettent en œuvre de nombreux composants interagissant fortement, qui sont parallèles et asynchrones. Tous ces sous-systèmes sont soumis à la vérification et test pour garantir leur propre fonctionnalité. Par exemple, il est primordial de démontrer l'absence de blocage et la possibilité pour chacun d'assurer un fonctionnement correct dans des délais compatibles avec leurs propres contraintes temporelles. Il est également important d'ordonner les actions de ces sous-systèmes et assurer un contrôle fiable de l'ensemble du système. A titre d'exemple, quelques propriétés (formulées en STL) importantes à vérifier : 1) Le trafic aérien ne devrait jamais être autorisé dans les deux sens simultanément sur le même itinéraire 2) L'aéronef doit répondre aux messages dans un délai limité 3) Pour deux aéronefs, il doit y avoir une séparation avec une distance minimale

Enseignement d'intégration n°3 : Conception et analyse de systèmes de production pour les usines intelligentes

- **Partenaire associé** : à confirmer
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : Industrie 4.0 ou « usines intelligentes » sont des concepts qui définissent la quatrième révolution industrielle, qui a débuté au début du XXIe siècle et qui continue de se développer. Cette révolution est profondément liée à l'évolution des technologies de l'information et de la communication (ITC). Lors de l'intégration de ces technologies aux systèmes de production, de nouvelles caractéristiques apparaissent. En effet, les systèmes de production sont non seulement capables de communiquer avec d'autres systèmes et leur environnement, mais ils sont également capables de prendre des décisions au niveau local. Ces caractéristiques permettent plus de flexibilité et d'agilité dans les stratégies de production et comportent un besoin de fabrication flexible à faible volume et à mélange élevé dans un environnement très incertain dans lequel la planification et le contrôle de la production sous perturbations deviennent un enjeu décisionnel décisif. Au sein de cet EI les élèves vont s'attaquer, à travers des cas d'études particuliers, à des problèmes



caractéristiques dans la conception des systèmes de production flexible (i.e. problème de planification des tâches dans la production, analyse de robustesse de la production, etc). A travers des outils de modélisation (e.g. model checking probabiliste) que permettent de prendre en compte différents facteurs d'incertitude les élèves vont apprendre des principes de base pour l'analyse de performance et l'optimisation de ces systèmes qui sont à la base des usines intelligentes.



2SC5810 – Conception et vérification de systèmes critiques

Responsables : Idir AIT SADOUNE

Département de rattachement : INFORMATIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à aborder à la fois la conception et la vérification des systèmes complexes et critiques en utilisant des techniques issues du Génie Logiciel. Les composants de tels systèmes étant hétérogènes (c-à-d. à la fois physiques et logiciels), les méthodologies et les outils présentés dans ce cours seront multiples et s'intègrent dans le cadre d'un cycle de développement. L'idée est de commencer la phase d'analyse en utilisant des outils semi-formels (UML, SysML, ...), souvent utilisés dans l'ingénierie des systèmes pour décrire la structuration du système et ses interactions, puis d'aborder scientifiquement les phases de conception et de validation en utilisant des techniques formelles du Génie Logiciel (modélisation temporisée, stockastique et hybride, logique temporelle, model-checking). L'objectif principal d'une telle démarche vise à montrer, à travers les modèles formels obtenus, que le système fait bien ce que l'on attend de lui tout en respectant les contraintes imposées par le cahier des charges et par l'environnement, ou dans le cas contraire, à extraire les états du système qui peuvent remettre en cause son bon fonctionnement. Dans ce dernier cas, le gain sur le plan économique est très intéressant et appréciable par les ingénieurs qui gagneront à corriger les problèmes détectés par la vérification du modèle avant de passer à l'étape de l'implémentation (programmation).

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

ST5



Prérequis

- Système d'information et programmation,
- Algorithmique et complexité,
- Modélisation

Plan détaillé du cours (contenu)

- Chapitre 1 - Présentation des logiques temporelles : LTL, CTL (3h Cours et 6h TD).
- Chapitre 2 - Les automates temporisés : Modélisation et Vérification (3h Cours et 6h TD).
- Chapitre 3 - Les modèles stochastiques : Modélisation et Vérification (3h Cours et 3h TD).
- Chapitre 4 - Ouverture sur la modélisation et la vérification des systèmes hybrides (1,5h Cours et 1,5h TD).
- TP (2 x 3h)

Déroulement, organisation du cours

- 10,5h de Cours
- 16h,5 de TD : Travaux dirigés
- 6h de TP : Travaux pratiques sur machine

Organisation de l'évaluation

Examen écrit (1H30)

Moyens

Les intervenants:

- Marc Aiguier, (Département informatique)
- Idir Ait Sadoune, (Département informatique)
- Paolo Ballarini, (Département informatique)
- Lina Ye (Département informatique)

La langue d'enseignement est le français, mais la majorité des ressources pédagogiques sont écrites en Anglais



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Modéliser un système à logiciels critiques en utilisant différentes approches formelles (Logique temporelle, Automates, Automates temporisé, modèles stochastiques, automates hybrides).
- Modéliser un système à logiciels critiques en prenant en considération différents types de contraintes (fonctionnelles, non-fonctionnelles, temporelles, ...)
- Analyser scientifiquement le modèle d'un système à logiciels critiques en utilisant des techniques issues du Génie Logiciel (Technique de Vérification formelle : Model Checking).
- Extraire les états d'un système à logiciels critiques qui peuvent remettre en cause son bon fonctionnement.
- Valider le modèle d'un système à logiciels critiques (le système fait bien ce qu'on attend de lui).

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
- 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
- C6.3 - Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel



2SC5891 – Conception d'un système de signalisation sûre pour le ferroviaire

Responsables : Idir AIT SADOUNE

Département de rattachement : DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Il s'agit de découvrir des activités de modélisation de systèmes dit critiques dans un cadre ferroviaire, en mettant en œuvre la CLEARSY Safety Platform et en prouvant certains éléments de modélisation.

Au cours de ce projet, plusieurs fonctions de sûreté seront développées, mises en œuvre et améliorées, en ayant principalement recours à des équations booléennes. Un tel système comportant habituellement des centaines ou des milliers d'équations, il est bien entendu que ce projet n'adresse qu'un sous-ensemble de celles-ci.

Le contrôle commande de système de signalisation est une activité à risques puisqu'une erreur pourrait permettre :

- A un train de dérailler, en faisant bouger l'aiguillage au moment où le train le franchit ou en position inappropriée
- A deux trains d'entrer en collision par rattrapage, par nez-à-nez ou par prise en écharpe.

Nous allons nous intéresser aux fonctions logiques permettant à un train d'effectuer un déplacement en sécurité pour la topologie de voie retenue.

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

ST5

Prérequis

- Cours: Modélisation et Vérification des systèmes critiques (le cours spécifique de la ST)



- Introduction à la modélisation avec la méthode B (fait pendant la 1e journée de l'enseignement d'intégration)

Plan détaillé du cours (contenu)

- - Introduction à la modélisation en utilisant la méthode B.
- - Introduction à l'utilisation de l'Atelier B
- - Introduction à l'utilisation de la Clearsy Safety platform
- - Modélisation d'un système ferroviaire.
- - Vérification des propriétés de sûreté d'un système ferroviaire.
- - Génération d'un programme informatique embraqué dans des cartes électroniques à partir d'un modèle B.

Déroulement, organisation du cours

Projet sur une semaine (9 demi-journées)

Organisation de l'évaluation

- Les étudiants seront évalués à la suite d'une présentation de 15 à 20 minutes des résultats obtenus.

Support de cours, bibliographie

Atelier B :

<https://www.clearsy.com/outils/atelier-b/>

Clearsy-Safety-Platform

<https://www.clearsy.com/outils/clearsy-safety-platform/>

<https://www.youtube.com/watch?v=QtmzVYNe0Fo>

Moyens

- Utilisation de l'Atelier B, outils de développement avec la méthode formelle B (<https://www.clearsy.com/outils/atelier-b/>)
- Utilisation la Clearsy Safety Platform comportant des cartes élélectroniques et un logiciel de développement (<https://www.clearsy.com/outils/clearsy-safety-platform/>).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours



- - Modéliser un système critique en utilisant la méthode formelle B.
- - Modélisation des propriétés critiques d'un système dans le cadre ferroviaire.
- - Vérification des propriétés de sûreté en utilisant la preuve.
- - Générer un programme informatique embarqué dans une carte électronique à partir d'un modèle formel prouvé.

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
- - C3.6 - Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées
- - C6.3 - Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel



2SC5893 – Système intelligent pour le contrôle automatisé du trafic aérien

Responsables : Lina YE

Département de rattachement : DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Les systèmes d'informations critiques dans le domaine avionique sont soumis à des contraintes de temps et de fiabilité très importantes. Leur développement nécessite donc des techniques d'ingénierie prenant en compte ces caractéristiques dès les phases amont de leur cycle de vie. Cet El s'intéresse donc à la conception des modèles des systèmes intelligents pour contrôler trafic aérien et à la vérification des certaines propriétés de sûretés sur ces modèles. Ces systèmes mettent en œuvre de nombreux composants interagissant fortement, qui sont parallèles et synchrones. Tous ces sous-systèmes sont soumis à la vérification et test pour garantir leur propre fonctionnalité. Par exemple, il est primordial de démontrer l'absence de blocage et la possibilité pour chacun d'assurer un fonctionnement correct dans des délais compatibles avec leurs propres contraintes temporelles.

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

ST5

Prérequis

ST5 - Systèmes complexes industriels et critiques à logiciels prépondérants

Plan détaillé du cours (contenu)

En basant sur la description informelle du système critique, les étudiants sont invités à utiliser une approche de modélisation semi-formelle pour capturer et structurer les exigences de sûreté, puis à les transformer en un



modèle formel (par exemple des automates temporisés) avant d'appliquer des techniques de model-checking pour la vérification formelle. Une partie facultative est dédiée à développer un outil pour détecter un type de scénarios non réalistes dans les modèles, qui peuvent très souvent perturber les résultats de model checker comme UPPAAL.

Déroulement, organisation du cours

Projet d'une semaine en intégrant les contenus de cours de ST5, par les méthodes démonstratives, actives et de découverte.

Organisation de l'évaluation

rapport et soutenance

Support de cours, bibliographie

- Alur. Alur, R., Dill, D.L. A theory of timed automata. Journal of Theoretical Computer Science 126(2), page: 183–235, 1994
- Christel Baier and Joost-Pieter Katoen, Principles of Model Checking (Representation and Mind Series). TheMIT Press, 2008.
- Gerd Behrmann, Alexandre David, Kim Guldstrand Larsen. A Tutorial on Uppaal. Formal Methods for the Design of Real-Time Systems, International School on Formal Methods for the Design of Computer, Communication and Software Systems, SFM-RT, page:200-236, 2004.
- Patricia Bouyer, Uli Fahrenberg, Kim Guldstrand Larsen, Nicolas Markey, Joël Ouaknine, James Worrell, Model Checking Real-Time Systems. Handbook of Model Checking, page:1001-1046, 2018.
- Patricia Bouyer, François Laroussinie, Nicolas Markey, Joël Ouaknine, James Worrell, Timed Temporal Logics. Models, Algorithms, Logics and Tools, page: 211-230, 2017.
- Nicolas Navet and Stephan Merz, Modeling and Verification of Real-Time Systems (1st ed.). Wiley-IEEE Press, 2008.

Moyens

WIFI,
PROJECTEUR,
UPPAAL

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les étudiants doivent savoir et comprendre comment concevoir un système de sûreté avec les approches informelles et formelles en garantissant les exigences de sûreté.



Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les étudiants doivent être capable d'exploiter ses ressources (par exemple leurs propres connaissances nécessaires), de bien maîtriser l'environnement de travail, de faire aboutir les objectifs en produisant des résultats et également de bien développer l'entraide et le partage avec les autres dans le groupe.



2SC5894 – Systèmes de production pour « usines intelligentes »

Responsables : Paolo BALLARINI

Département de rattachement : DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

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) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Les développements récents en ingénierie de fabrication ont conduit à la formulation de nouveaux paradigmes dédiés, tels que le "Industry 4.0" (Allemagne) et le "smart manufacturing" (USA). L'idée principale de ces nouveaux paradigmes est que les futurs systèmes de production seront en mesure de répondre aux besoins de chaque client en adaptant avec souplesse les résultats de la production de manière à produire des variantes de produits dans des lots de très petite taille. Pour ce faire, les systèmes de fabrication doivent devenir "intelligents" et donc comporter des machines intelligentes, des pièces et des infrastructures capables d'échanger et de traiter des informations afin que le processus de production s'adapte aux besoins spécifiques du client. Dans ce contexte, la modélisation et l'analyse des performances des processus de production deviennent fondamentales. Dans ce cours, nous allons nous concentrer sur la modélisation formelle et l'analyse des performances des processus de production ou un certain nombre de machines sujettes aux pannes sont agencées dans une topologie donnée pour obtenir un produit final donné. Nous allons analyser l'impact que différents aspects d'un système de production ont sur les indicateurs de performance pertinents et étudier l'impact de la (re) configuration de ce système sur la productivité.

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

ST5

Prérequis

Les élèves doivent avoir pris part au cours "Systèmes critiques" de la ST5

Plan détaillé du cours (contenu)



Déroulement, organisation du cours

Organisation de l'évaluation

Soutenance finale

Moyens

Une salle de TD/TP pour ~25 élèves avec connexion WiFi

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les étudiants apprendront comment appliquer des méthodes formelles au problème de modélisation et d'analyse des performances d'un système de production, c'est-à-dire un système composé d'un réseau de machines de fabrication réparables et affectées par des pannes, pouvant être configurées de manière flexible en fonction des besoins du marché.

- développement de modèles stochastiques de systèmes de production à partir d'un cahier des charges informel
- prise en compte des injections de défauts dans le modèle de système de production
- conception d'indicateurs de performance clés pertinents pour l'analyse des performances du système de production (tolérance aux pannes, disponibilité, débit, etc.)
- réalisation d'une étude complète d'analyse de performance basée sur des approches de vérification de modèle

Description des compétences acquises à l'issue du cours

voir acquis d'apprentissage



ST5 – 59 – ASSISTANCE ET AUTONOMIE DE LA PERSONNE

Dominante : VSE (Vivant-Santé-Environnement) et ENE (Energie)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Metz

Problématique d'ingénieur

Cette séquence thématique aborde la conception des systèmes motorisés d'assistance aux personnes handicapées, quelle qu'en soit leur nature, dans ses aspects techniques, économiques, ergonomiques. Cette problématique à fort impact sociétal est doublement au cœur des préoccupations. Tout d'abord, le vieillissement de la population accroît le besoin de ce type de systèmes. Par ailleurs, du fait de l'évolution des systèmes informatiques embarqués à bas coût, il devient maintenant possible de proposer des fonctionnalités de plus en plus complexes, permettant d'élargir le spectre des services fournis qui peuvent aller de l'asservissement des moteurs à un contrôle plus évolué (calcul de trajectoires, évitement d'obstacles) ou encore des systèmes connectés et communicants.

Ainsi, par exemple, un dispositif très répandu de nos jours est le fauteuil roulant pour l'aide aux personnes handicapées (paralysie des jambes). Ces fauteuils peuvent être simplement mécaniques ou assistés électriquement. Remboursés par la sécurité sociale, ce sont des dispositifs médicaux soumis à homologation. Au-delà des problèmes techniques, il faut également s'interroger sur le coût (en France le prix est fixé par la sécurité sociale) et sur l'ergonomie. Des expérimentations ont lieu sur des systèmes qui pourraient être différents comme par exemple des exosquelettes.

Prérequis nécessaires

Aucun

Modules contexte et enjeux : cette partie se structure en conférences et table ronde permettant d'appréhender la problématique, les technologies et les enjeux liés aux dispositifs liés à la personne :

- Environnement, type de pathologie, les fauteuils manuels et électriques. Homologation
- Comment améliorer le vécu des personnes
- Démonstration de fauteuils, verrous technologiques, innovation



Cours spécifique (60 HEE) : Commande d'une chaîne de motorisation

- **Brève description** : Ce cours aborde les notions nécessaires à la commande d'une chaîne de motorisation dans ses aspects électroniques (convertisseurs, puissance, alimentation), asservissement (modélisation, observateurs, régulateurs) et numérique (conversion analogique-numérique, programmation, temps réel). Les aspects pratiques seront testés sur cartes à microcontrôleurs afin d'implémenter concrètement un système de régulation de vitesse d'un moteur à courant continu.

Enseignement d'intégration : Conception d'un fauteuil roulant motorisé pour personne handicapée

- **Partenaire associé** : Société Logosilver, CERAH (Centre d'Etudes et de Recherche sur l'Appareillage des Handicapés)
- **Lieu** : Campus de Metz
- **Brève description** : Un fauteuil roulant pour personne handicapée doit assurer un niveau de sécurité minimal fixé par des normes. La conception mécanique et le pilotage des moteurs s'associent pour obtenir ensemble cette sécurité. La confrontation des étudiants aux aspects normatifs et sécuritaires en même temps qu'aux aspects techniques mécaniques et électroniques/informatiques les ouvrent à la dimension multidisciplinaire. La spécificité de cet enseignement d'intégration est la prise en compte de la sécurité dans les conceptions techniques. En outre, les tendances actuelles étant que tous les objets soient de plus en plus « connectés », des fonctions de ce type seront envisagées (pilotage du fauteuil depuis un smartphone, pilotage de la maison depuis le fauteuil...).

Cet enseignement d'intégration est conçu sur mesure pour amener à la réalisation concrète d'un fauteuil roulant. L'ensemble est un mini-projet séquencé en séances individuelles thématiques (mécanique, électronique, informatique, automatique...). Les thématiques peuvent être variables en fonction des groupes d'étudiants (tous les groupes ne font pas toutes les thématiques) et suivront un planning permettant d'arriver au final à un fauteuil opérationnel.



2SC5910 – Commande d'une chaîne de motorisation

Responsables : Jean-Louis GUTZWILLER
Département de rattachement : CAMPUS DE METZ
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Cours ST
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 34,5
Quota :
ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours aborde les notions nécessaires à la commande d'une chaîne de motorisation dans ses aspects électroniques (convertisseurs, puissance, alimentation), asservissement (modélisation, observateurs, régulateurs) et numérique (conversion analogique-numérique, programmation, temps réel). Les aspects pratiques seront testés sur cartes à microcontrôleurs afin d'implémenter concrètement un système de régulation de vitesse d'un moteur à courant continu.

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

ST5

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Moteur à courant continu
- Convertisseurs continu-continu
- Modélisation mécanique
- Synthèse des lois de commande (régulation analogique et régulation numérique)
 - Régulation non linéaire
 - Programmation sur microcontrôleur

Déroulement, organisation du cours

12h de CM, 6h de TD, 15h de TP et 1h30 d'examen.

24 élèves pour les groupes de TD/TP



Organisation de l'évaluation

Un rapport écrit sur les travaux pratiques, à rendre à la date indiquée par le professeur, sera demandé et un examen écrit individuel d'une heure et demi aura lieu à la fin du cours. La note de l'examen individuel comptera pour 60% et la note du rapport de travaux pratiques comptera pour 40% de la note finale. En cas d'absence, la pénalité standard selon le règlement sera appliquée.

En cas d'échec à l'examen, un examen de rattrapage aura lieu sous la forme d'un examen écrit individuel d'une heure et demi.

Support de cours, bibliographie

« Commande des entraînements à vitesse variable », polycopié de cours.

Moyens

Des cours magistraux pour présenter les principes généraux.

Des applications seront testées sur des cartes électroniques pendant des séances de cours dirigés.

Taille des groupes de TD : 24 élèves

Taille des groupes de TP : 24 élèves

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre le fonctionnement des moteurs
- Choisir les caractéristiques et les performances adaptées au problème
- Mettre au point les lois de commandes
- Maîtriser les systèmes d'asservissement

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C3.4 : Prendre des décisions dans un environnement partiellement connu, gérer l'imprévu, savoir prendre des risques
- C3.6 : Évaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées
- C7.4 : Convaincre en travaillant les techniques de communication, Maîtriser le langage parlé, écrit et corporel. Maîtriser les techniques de base de communication



2SC5990 – Fauteuil roulant motorisé pour personne handicapée

Responsables : Jean-Louis GUTZWILLER

Département de rattachement : DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT, DOMINANTE - ENERGIE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

Campus où le cours est proposé : Metz

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement d'intégration, qui fait partie de la séquence thématique "Assistance et autonomie de la personne", aborde les concepts permettant de faire fonctionner un fauteuil électrique pour personne paralysée. Un tel fauteuil dispose d'un joystick permettant de commander des moteurs qui actionnent les roues. Le fonctionnement du fauteuil doit être le plus précis et le plus rapide possible par rapport aux commandes fournies par la personne. La mécanique, l'électronique et les algorithmes utilisés pour l'asservissement participent de concert à obtenir les performances souhaitées.

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

ST5

Prérequis

Commande d'une chaîne de motorisation

Plan détaillé du cours (contenu)

Différents sujets seront proposés comme :

- l'étude et la conception d'une carte électronique de commande pour les moteurs,
- l'étude et la conception du programme informatique à mettre dans le microprocesseur,
- l'étude et la conception de la connectivité avec d'autres objets (smartphone, internet),



-- la simulation du comportement mécanique du système afin d'optimiser la commande...

Déroulement, organisation du cours

Les étudiants choisiront, par groupes de 3 à 5, un des sujets proposés. Ces sujets devront être traités durant le temps du projet (du lundi au jeudi) et une évaluation sera effectuée le dernier jour (vendredi).

Organisation de l'évaluation

Les étudiants devront fournir un compte-rendu écrit par groupe et devront soutenir leur travail par une présentation orale. La note du compte-rendu interviendra pour 50% dans la note finale pour l'ensemble des membres du groupe et la note individuelle obtenue à la présentation orale interviendra également pour 50% sur la note finale.

Moyens

L'enseignement se fera sous forme d'un projet durant lequel les étudiants auront accès au matériel informatique, électronique et mécanique (selon le sujet du projet).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capable de :

- concevoir une partie d'une chaîne de commande de moteur (selon le sujet choisi),
- piloter la réalisation du dispositif (donner au fabricant les instructions claires pour la réalisation du dispositif),
- écrire et tester les programmes informatiques nécessaires au fonctionnement du dispositif.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C2.3 : Identifier et acquérir rapidement des nouvelles connaissances et compétences nécessaires dans les domaines pertinents, qu'ils soient techniques, économiques ou autres.

C6.3 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel (jalon 2).

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 2)



ST5 – 60 – NAVIGATION SEMI-AUTONOME DE DRONES

Dominante : MDS (Mathématiques et Data Sciences)

Langue d'enseignement : Anglais

Campus où le cours est proposé : Metz

Problématique d'ingénieur

La collecte de données par un humain est parfois extrêmement difficile, comme par exemple pour l'exploration/la surveillance de mines abandonnées ou de bâtiments désaffectés, la surveillance de cultures, la surveillance de l'environnement. Ce qui rend difficile l'exploration de ces zones par un humain peut dépendre de l'encombrement de ces zones (e.g. enrochements dans les mines), de l'accessibilité de ces zones (e.g. surveillance de l'état de digues, des bords de rivière, ...), de l'étendue du territoire à couvrir (e.g. surveillance de cultures agricoles, de rivières). A ce titre, le développement récent des drones offre beaucoup d'opportunités mais soulève également plusieurs problèmes. A ce jour, le pilotage d'un drone requiert en effet encore un certain niveau d'expertise puisque son contrôle est assez bas niveau. On peut alors envisager une assistance au pilotage où certains aspects du contrôle du drone sont gérés automatiquement, du fait d'un traitement des flux d'information des capteurs par des techniques d'apprentissage automatique. Ce contrôle semi-autonome nécessite dans ce cas de construire à partir des informations des capteurs des représentations plus intégrées à partir desquelles l'humain, comme le contrôleur automatique qui l'assiste, peuvent assurer de concert une navigation robuste du drone.

Prérequis nécessaires

Aucun

Modules contexte et enjeux : cette partie se structure en conférences et table ronde permettant d'appréhender la problématique, les technologies et les enjeux liés à l'utilisation des drones dans plusieurs domaines cibles de la séquence (interventions à confirmer de Parrot, Safran ...)

Cours spécifique n°1 (10 HEE) : Travaux pratiques d'introduction

- **Brève description** : Ces TPs visent à former les étudiants à l'utilisation de Linux (Ubuntu), OpenCV sous Python. Les connaissances acquises seront utilisées dans les autres activités de la séquence.

Cours spécifique n°2 (60 HEE) : Robotique autonome



- **Brève description** : Ce cours présentera le domaine de la robotique autonome (conduite de véhicules, robot d'exploration et d'inspection, ...) en montrant comment cette problématique intègre des technologies très diverses (localisation (SLAM), nuages de points, planification, reconnaissance de formes) et comment cette intégration se réalise au niveau système (illustrations avec ROS). Les travaux de laboratoire associés au cours seront réalisés sur les robots dont dispose la smartroom du campus de Metz. Ces travaux seront l'occasion d'intégrer différentes techniques d'apprentissage automatique et de traitement du signal sur des robots se déplaçant dans leur environnement. Le cours et les mises en application pratiques permettront de découvrir ces techniques dans des cas réels, avec la perspective de préparer aux enseignements plus approfondis dispensés en troisième année dans la mention « Sciences des Données et de l'Information ».

Enseignement d'intégration : Inspection de bâtiment par un drone (quadricoptère) semi-autonome

- **Partenaire associé** : Parrot
- **Lieu** : Campus de Metz
- **Brève description** : Les étudiants travailleront sur les problématiques liées à l'inspection technique par drones (diagnostic visuel et thermique) des zones difficilement accessibles de sites industriels, sur des cas d'étude fournis par les partenaires industriels pressentis. Ils apporteront ainsi des réponses à leurs besoins en termes d'amélioration de performances énergétiques et de détection d'éventuelles dégradations, permettant en particulier des économies non négligeables au niveau des sites considérés.

Les étudiants auront mis en œuvre des techniques d'asservissement avec la particularité d'inclure un opérateur humain dans la boucle de contrôle. Ils auront également intégré des techniques d'apprentissage automatique (quantification vectorielle, apprentissage supervisé) sur un cas industriel, pour l'interprétation des flux d'information issus des capteurs (vidéo principalement). Il s'agit d'un premier contact, par le versant applicatif et expérimental, avec le domaine de l'apprentissage automatique. Ils auront acquis, au travers de cette expérience, une compétence plus générale sur la conception de systèmes robotiques avec ROS.



2SC6010 – Robotique autonome

Responsables : Jeremy FIX

Département de rattachement : CAMPUS DE METZ

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Cours ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présentera le domaine de la robotique autonome (conduite de véhicules, robot d'exploration et d'inspection, etc...) en montrant comment cette problématique intègre des technologies très diverses (localisation (SLAM), nuages de points, planification, reconnaissance de formes) et comment cette intégration se réalise au niveau système (illustrations avec ROS). Les travaux de laboratoire associés au cours seront réalisés sur les robots dont dispose la smartroom du campus de Metz et en simulation. Ces travaux seront l'occasion d'intégrer différentes techniques d'apprentissage automatique et de traitement du signal sur des robots se déplaçant dans leur environnement. Le cours et les mises en application pratiques permettront de découvrir ces techniques dans des cas réels, avec la perspective de préparer aux enseignements plus approfondis dispensés en troisième année dans la mention Sciences des Données et de l'Information.

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

ST5

Prérequis

1C1000 : Systèmes d'information et programmation

1C4000 : Traitement du signal

Des connaissances en probabilité seront utiles.

Plan détaillé du cours (contenu)



- CM1 (1h30) : Introduction à la robotique autonome
- CM2 (1h30) : Introduction à ROS et à la simulation
- *TP supplémentaire de prise en main (6h00) : Simulateur, ROS, ROS avancé, expérimentation sur robot réel*
- CM3 (1h30) : Rappels de probabilités
- CM4 (1h30) : Estimation d'état
- TD1 (1h30) : Filtre de Kalman et estimation d'état
- TP2 (1h30) : Filtre de Kalman et estimation d'état
- CM5 (1h30) : Localisation
- TD2 (1h30) : Localisation (Markov et Monte Carlo)
- TP3 (3h00) : Localisation (Markov et Monte Carlo)
- CM6 (1h30) : Cartographie et SLAM
- TP4 (3h00) : Cartographie et SLAM
- CM7 (1h30) : Planification de mouvement
- TP5 (3h00) : Planification déterministe et stochastique
- CM8 (1h30) : Navigation
- TP6 (3h00) : Suivi de trajectoire et évitement d'obstacle
- CM9 (1h30) : Architectures et interaction
- TP7 (3h00) : Intégration sur un robot réel

Déroulement, organisation du cours

Le cours est organisé autour d'un enseignement magistral accompagné de TDs et TPs pour l'assimilation des concepts. Les TPs, avec des plateformes robotiques réelles ou simulées, seront en particulier l'occasion d'implémenter et expérimenter les différents concepts vus en cours. Afin que les TPs soient les plus profitables possibles, ils feront l'objet d'une préparation en amont dans la part des étudiants à l'aide d'une fiche de travail qui leur sera transmise.

Cette mise en œuvre reposera fortement sur ROS qui sera présenté en détail en début de cours. La programmation se fera principalement en Python et l'ensemble des expérimentations se dérouleront sous Linux.

Organisation de l'évaluation

Un examen écrit d'1h30.

Support de cours, bibliographie

- Latombe, **Robot Motion Planning**, Kluwer Academic Publishers, 1991.
- Thrun et al., **Probabilistic Robotics**, MIT Press, 2005.
- Lavelle, **Planning Algorithms**, Cambridge University Press, 2006.
- Siegwart et al., **Introduction to Autonomous Mobile Robots**, MIT Press, 2011.
- Siciliano et al., **Springer Handbook of Robotics**, Springer, 2016.

Moyens

Equipe enseignante : Francis Colas (INRIA)



Encadrant de TP : Francis Colas, Jeremy Fix

Taille des TD : 1 groupe de 30 élèves avec 1 enseignant

Taille des TPs : 2 groupes de 15 élèves avec 2 enseignants

Outils logiciels : Uniquement des logiciels libres (Linux, Python, ROS, Gazebo)

Matériel : Turtlebot équipés d'un LIDAR (x6)

Salles de TP : Salle de TP avec les logiciels pré-installés

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Connaître les différents éléments composant un système robotique autonome
- Conduire des expériences de robotique avec ROS, en environnement simulé ou réel
- Formaliser un problème d'estimation d'état
- Implémenter et tester des algorithmes d'estimation d'état, de localisation, navigation, planification

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.3, Jalon 2B : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C1.4, Jalon 2 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

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



2SC6090 – Navigation semi-autonome de drone en environnement intérieur

Responsables : Jeremy FIX, Herve FREZZA-BUET

Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Les étudiants travailleront sur les problématiques liées à l'inspection technique par drones (diagnostic visuel et thermique) d'environnements intérieurs. Ils apporteront ainsi des réponses à des besoins en termes d'amélioration de performances énergétiques et de détection d'éventuelles dégradations, permettant en particulier des économies non négligeables au niveau des sites considérés.

Dans le cadre de l'enseignement d'intégration, on s'intéresse à aider un opérateur humain en automatisant autant que possible le contrôle du drone et en offrant à l'opérateur un contrôle logique de haut niveau. Les étudiants auront ainsi mis en œuvre des techniques d'asservissement avec la particularité d'inclure un opérateur humain dans la boucle de contrôle. Ils auront également intégré des techniques d'apprentissage automatique et de reconnaissance de forme pour l'interprétation des flux d'information issus des capteurs embarqués (vidéo principalement). Il s'agit d'un premier contact, par le versant applicatif et expérimental, avec le domaine de l'apprentissage automatique.

Ils auront acquis, au travers de cette expérience, une compétence plus générale sur la conception de systèmes robotiques avec ROS.

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

ST5



Prérequis

Les étudiants devront être à l'aise sous Linux/Ubuntu , avec ROS et OpenCV. Ces pré-requis seront enseignés durant la séquence thématique à laquelle l'EI est associé.

Plan détaillé du cours (contenu)

L'enseignement d'intégration est divisé en trois grands modules. Le premier module traite 1) de la boucle d'asservissement de bas niveau régulant les angles de roll/pitch et les vitesses ascensionnelles et de rotation et 2) de quelques asservissements de plus haut niveau (demi-tour, translation le long d'un axe). Le deuxième module porte sur la gestion dans le temps de comportements directs (vitesses linéaires/angulaires) et de comportements logiques (prendre la porte à gauche, avancer dans le couloir). Le troisième module comprend toutes les fonctionnalités de traitement d'image (détection des lignes de fuite, calcul du flux optique, ..). Ces trois modules sont découpés avec une granularité plus fine pour que les étudiants puissent paralléliser le travail.

Déroulement, organisation du cours

- Présentation des cas d'étude par les partenaires industriels
- Conception de solutions aux problèmes proposés
- Développement des solutions proposées dans un environnement réel
- Mise en œuvre sur de vrais drones et ajustement éventuel des solutions
- Présentation/Démonstration des solutions aux partenaires industriels

Organisation de l'évaluation

Les étudiants présenteront leur travail lors d'un oral avec la possibilité de faire des démonstrations de leurs solutions. Un mini-rapport, recueil de résultats expérimentaux, accompagnera la présentation. Les notes sont pour 50 % une note de groupe et pour 50% une note individuelle. La note de groupe tiendra compte de la présentation en soutenance et des résultats atteints par l'ensemble du groupe. La note individuelle tiendra compte de l'implication et le travail de chacun dans la réalisation des sous-tâches qui lui sont affectées.

Moyens

Equipe enseignante : Hervé Frezza-Buet, Jérémy Fix

Taille des groupes : environ 5 élèves

Outils logiciels : Uniquement des logiciels libres (Linux, Python, ROS, Gazebo-Sphinx)

Matériel : Chaque groupe disposera d'un bebop2 (prêtés par Parrot), d'un joystick et d'un PC portable

Salles de TP : Salle de TP avec les logiciels pré-installés



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Être capable de réaliser un projet ambitieux de bout en bout
- Travailler en équipe
- Diviser et se répartir le travail d'un projet en sous tâches
- Expérimenter avec une plateforme robotique réelle
- Réaliser un projet logiciel mêlant robotique, traitement du signal et informatique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.3, Jalon 2B : Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation

C1.4, Jalon 2 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

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



ST5 – 61 – SMART PHOTONICS SYSTEMS FOR CONTROL AND MEASURE

Dominante : PNT (Physique et NanoTechnologie), SCOC (Systèmes Communicants et Objets Connectés)

Langue d'enseignement : Anglais

Campus où le cours est proposé : Metz

Problématique d'ingénieur

Les systèmes utilisant la photonique – sciences et technologies exploitant la lumière- permettent de mesurer, de réguler et de commander des grandeurs physiques. Ces propriétés des systèmes photoniques sont utilisées largement dans la régulation d'un laser pour les systèmes de production, dans le contrôle de la déviation d'un faisceau pour visualiser un objet ou observer la dynamique de cellules biologiques, ou encore dans la stabilisation d'impulsions ultra-courtes en télécommunications. Par ailleurs, les systèmes photoniques sont des systèmes intelligents dont les mesures servent à faciliter la régulation, par exemple avec le développement de la télémétrie et vélocimétrie laser – techniques utilisées largement en production industrielle et dans nos véhicules et essentielles pour l'industrie du futur et le véhicule autonome.

Très récemment les systèmes photoniques ont amorcé une révolution dans leur principe et leur usage avec le développement de systèmes qui exploitent la lumière à l'échelle du nanomètre et de l'attoseconde. Ces systèmes innovants par leur physique nouvelle posent des challenges importants pour à la fois la mesure de leurs propriétés physiques – compte tenu des échelles spatiales et temporelles très courtes - et l'exploitation de cette mesure pour le développement de capteurs et de systèmes innovants de régulation, compte tenu des limitations de nos systèmes de traitement du signal. En étudiant des systèmes photoniques, cette séquence thématique sera également l'occasion d'apprendre et de maîtriser les notions générales d'analyse, d'identification et de commande de systèmes physiques non-linéaires.

Prérequis nécessaires

Connaissances de base en électromagnétisme, matériaux, électricité générale et électronique

Modules contexte et enjeux : cette partie se structure en conférences et table ronde, notamment autour du thème de « la télédétection laser », en



construction une visite sur le site d'Airbus GDI simulation sur le site d'Elancourt.

Cours spécifique (60 HEE) : Photonique pour le contrôle des systèmes physiques

- **Brève description :** Ce cours enseignera les notions essentielles de la mesure et de l'exploitation des grandeurs physiques des ondes électromagnétiques optiques, dans le contexte de l'exploitation de la photonique pour l'observation et le contrôle de systèmes physiques. Ainsi ce cours assemblera des connaissances de :
 - Mesure et instrumentation optique : généralités en métrologie et analyse d'erreur, photométrie, et détecteurs optiques, métrologie holographique, vélocimétrie, interférométrie.
 - Technologies des sources lasers : compléments de physique du solide, matériaux et semi-conducteurs.
 - Modélisation et contrôle de sources : analyse et dynamique non-linéaire des sources lasers.
 - Génération de signaux optiques : techniques de modulation spatiale et temporelle de signaux optiques; ingénierie et design de faisceaux optiques.

Les notions traitées dans le cours sont :

- Métrologie optique
- Technologies photoniques incluant les matériaux semi-conducteurs et les fibres optiques, la modulation de phase et d'intensité
- Analyse des signaux exploitant notamment la dynamique non-linéaire d'un système physique
- Propriétés et régulation des systèmes non-linéaires

Enseignement d'intégration : Télédétection laser (LIDAR) pour la surveillance optronique et la détection de cibles

- **Partenaire associé :** Airbus GDI Simulation
- **Lieu :** Campus de Metz
- **Brève description :** Cet EI est basé sur l'utilisation des lasers en tant qu'outils pour contrôler l'infiniment petit et l'ultra rapide pour, notamment, des applications dans le domaine de la surveillance optronique et la détection de cibles. Il est proposé de développer une solution innovante de contrôle-commande pour la génération d'impulsions lasers ultra-courtes et la mise en œuvre d'un système photonique dont l'application visée est la télémétrie laser (LIDAR : radar laser). Ces lidars ont un potentiel énorme pour la défense, l'environnement, la sécurité : identification de mobiles, détection de gaz, imagerie active, ... La détection et l'identification de danger ou de cibles est un élément clé des dispositifs de défense et sécurité, et sont des éléments clés par exemple des dispositifs développés par AIRBUS pour l'aviation civile ou la simulation de tir laser pour l'entraînement des forces armées



Les avancées récentes dans la réalisation de faisceaux optiques innovants permettront d'explorer de nouvelles topologies de faisceaux (ex faisceaux d'Airy : non-diffractants, de trajectoire curviligne, auto-régénérant en cas d'obstacles) qui ouvrent la voie à une amélioration des performances (résolution spatiale, rapidité, etc.). Grâce à cet EI, les élèves mettront en application : i/ la compréhension des grandeurs physiques essentielles relatives à une onde électromagnétique optique ii/ la conception et la réalisation d'un système photonique asservi iii/ la simulation numérique du système optique iv/ l'ingénierie de faisceaux optiques innovants en exploitant des techniques de modulation spatiale et temporelle de signaux v/d'être capable de faire un choix de dispositifs pour répondre à un problème économique de dimensionnement et de consommation énergétique.



2SC6110 – Photonique pour le contrôle des systèmes physiques

Responsables : Nicolas MARSAL

Département de rattachement : CAMPUS DE METZ

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Cours ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours enseignera les notions essentielles de la mesure et de l'exploitation des grandeurs physiques des ondes électromagnétiques optiques, dans le contexte de l'exploitation de la photonique pour l'observation et le contrôle de systèmes physiques.

Notions traitées dans le cours :

- Métrologie optique
- Technologies photoniques incluant les matériaux semi-conducteurs et les fibres optiques, la modulation de phase et d'intensité
- Analyse des signaux exploitant notamment la dynamique non-linéaire d'un système physique
- Propriétés et régulation des systèmes non-linéaires

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

ST5

Prérequis

Connaissances de base en électromagnétisme, matériaux, électricité générale et électronique.

Plan détaillé du cours (contenu)



- Mesure et instrumentation optique : généralités en métrologie et analyse d'erreur, photométrie, et détecteurs optiques, métrologie holographique, vélocimétrie, interférométrie.
- Technologies des sources lasers : compléments de physique du solide, matériaux et semi-conducteurs.
- Modélisation et contrôle de sources : analyse et dynamique non-linéaire des sources lasers.
- Génération de signaux optiques : techniques de modulation spatiale et temporelle de signaux optiques ; ingénierie et design de faisceaux optiques.

Déroulement, organisation du cours

30h00 CM et 3h00 TD-TP

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.

Moyens

Intervenants de cours : Delphine Wolfersberger, Marc Sciamanna, Nicolas Marsal, Damien Rontani

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Grâce à ce cours, les étudiants apprendront les grandeurs et les outils physiques qui permettent de caractériser spatialement des faisceaux optiques, d'analyser leurs fréquences, de moduler leurs intensités, leurs phases de les guider dans différents systèmes physiques (fibre, guide d'onde...)

Ils verront les dynamiques linéaires et non linéaires associées à ces faisceaux lorsqu'ils se propagent dans différents matériaux et/ou systèmes physiques.

Grâce à ce cours et en complément de l'EI, l'étudiant sera capable de concevoir physiquement un LIDAR, d'en tester ses performances, de le comparer à d'autres équipements utilisés en métrologie optique.

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



2SC6190 – Télédetection laser (LIDAR)

Responsables : Marc SCIAMANNA, Delphine WOLFERSBERGER

Département de rattachement : DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

Campus où le cours est proposé : Metz

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet EI est basé sur l'utilisation des lasers en tant qu'outils pour contrôler l'infiniment petit et l'ultra rapide pour, notamment, des applications dans le domaine de la surveillance optronique et la détection de cibles. Il est proposé de développer une solution innovante de contrôle-commande pour la génération d'impulsions lasers ultra-courtes et la mise en œuvre d'un système photonique dont l'application visée est la télémétrie laser (LIDAR : radar laser). Ces lidars ont un potentiel énorme pour la défense, l'environnement, la sécurité : identification de mobiles, détection de gaz, imagerie active,... La détection et l'identification de danger ou de cibles est un élément clé des dispositifs de défense et sécurité, et sont des éléments clés par exemple des dispositifs développés par AIRBUS pour l'aviation civile ou la simulation de tir laser pour l'entraînement des forces armées.

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

ST5

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Les élèves seront répartis en différents groupes réalisant chacun 4 travaux pratiques de durée 1/2 journée.

Proposition de Travaux pratiques :



1/ une séance sur le laser émetteur : réalisation et caractérisation d'un émetteur laser régulé en température de manière à maintenir sa puissance constante

2/ une séance sur la génération d'une impulsion laser : étude de la génération d'une impulsion laser via l'utilisation d'une boucle de rétroaction optique

3/ une séance sur la mise en forme du faisceau laser : mise en forme du faisceau laser via l'optique adaptée et/ou via l'utilisation d'un modulateur spatial de lumière (SLM) permettant à terme l'utilisation de faisceaux non conventionnels (ex faisceaux d'Airy)

4/ une séance sur le récepteur : mise au point du dispositif de réception et d'analyse du signal optique

Ces 4 séances seront suivies par une séance sur la synthèse des différentes expériences pour la réalisation d'un dispositif de télémétrie et éventuellement la mise au point du système d'asservissement nécessaire pour que le signal laser touche la cible.

Déroulement, organisation du cours

Réalisation expérimentale et numérique en équipe sous la forme d'un challenge

Organisation de l'évaluation

Présentation orale devant les professeurs de CS et le partenaire industriel Airbus -GDI simulation

Moyens

Dispositifs expérimentaux optiques

Equipe pédagogique : Delphine Wolfersberger - Marc Sciamanna - Nicolas Marsal - Damien Rontani

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les avancées récentes dans la réalisation de faisceaux optiques innovants permettront d'explorer de nouvelles topologies de faisceaux (ex faisceaux d'Airy : non-diffractants, de trajectoire curviligne, auto-régénérant en cas d'obstacles) qui ouvrent la voie à une amélioration des performances (résolution spatiale, rapidité, etc.).

Grâce à cet EI, les élèves mettront en application :

i/ la compréhension des grandeurs physiques essentielles relatives à une onde électromagnétique optique

ii/ la conception et la réalisation d'un système photonique asservi

iii/ la simulation numérique du système optique

iv/ l'ingénierie de faisceaux optiques innovants en exploitant des techniques de modulation spatiale et temporelle de signaux



v/d'être capable de faire un choix de dispositifs pour répondre à un problème économique de dimensionnement et de consommation énergétique.

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

C8 Mener un projet, une équipe



ST5 – 62 – INTELLIGENCE ENERGETIQUE ET SMART BUILDING

Dominante : GSI (Grands Systèmes en Interaction) et SCOC (Systèmes Communicants et Objets Connectés)

Langue d'enseignement : Anglais

Campus où le cours est proposé : Rennes

Problématique d'ingénieur

Le bâtiment ne doit plus être considéré comme un simple consommateur mais comme un véritable acteur énergétique parfaitement intégré dans son écosystème et doit s'inscrire pleinement dans une vision de société renouvelée, où confort et santé sont en harmonie avec la gestion de l'énergie. Il faut donc pour ce faire, repenser les systèmes qui le composent, par de nouvelles fonctions de pilotage et par des interactions plus fortes avec les occupants. L'écosystème « bâtiment » est complexe, car il est constitué d'un ensemble hétérogène des systèmes : production locale, stockage, approvisionnement, vente, et les différents équipements, qui doivent être coordonnés pour une gestion optimisée.

Les défis de l'ingénieur qui se posent alors sont d'abord l'analyse des besoins et la spécification des systèmes intelligents de contrôle. Cette conception repose l'intégration d'algorithmes de contrôle déployés sur des systèmes communicants pour atteindre un compromis optimal entre technologie – coût – efficacité, comme par exemple la performance en boucle fermée, fréquence et protocole de communication, autonomie des capteurs et durée de vie des actionneurs.

Prérequis nécessaires

Aucun

Modules contexte et enjeux : cette partie s'organise autour de plusieurs conférences qui doivent donner aux élèves les clés pour comprendre les grands enjeux associés à cette séquence thématique. A commencer par les enjeux industriels : quels sont les besoins d'aujourd'hui et à venir, en termes de services et de technologies : challenges et verrous scientifiques. Puis présentation des difficultés rencontrées pour la captation de données hétérogènes à partir desquelles on peut faire des analyses et exploiter ces données.

Des apports de connaissances seront donnés pour comprendre les besoins et l'hétérogénéité à prendre en compte pour la gestion des confort (qualité



de l'air, confort thermique, ...). Enfin, une dernière intervention présentera le point de vue « Recherche » autour des bâtiments intelligents.

Cours spécifique (60 HEE) : Communications à haute performance énergétique

- **Brève description :** Avec une consommation électrique mondiale de 6 à 10% correspondant à 4% des émissions de gaz à effet de serre, les STIC (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication) doivent repenser leur façon de transmettre, traiter et stocker les données. L'arrivée de la 5G (5^{ème} Génération de mobiles) et l'explosion des objets connectés (Internet of Things) laissent en particulier présager une croissance du secteur encore très forte pour les années à venir, justifiant d'autant plus l'urgence pour proposer des communications plus respectueuses de l'environnement. Les besoins en efficacité spectrales (transmettre un débit dans une bande passante donnée) doivent alors se conjuguer avec une forte contrainte d'efficacité énergétique (transmettre tout en consommant le moins possible). Ce cours forme aux concepts et outils de communication numérique pour lesquels l'efficacité énergétique est explicitement prise en compte.

Enseignement d'intégration : Pilotage hiérarchisé du confort thermique

- **Partenaire associé :** Bouygues Energies & Services
- **Lieu :** Campus de Rennes
- **Brève description :** L'objectif est de définir un système modulaire, permettant d'implémenter des stratégies de commande hiérarchisée entre une régulation locale du confort par zone et un superviseur gérant l'intermittence de l'occupation, la limitation de puissance disponible afin de minimiser la consommation liée au confort thermique. Les challenges induits par ce projet sont la prise en compte des enjeux sociétaux (humain, confort et efficacité énergétique), des contraintes techniques (limitation de puissance, facilité de mise en œuvre et robustesse de la solution) et les technologies permettant la mise en œuvre. Les différents groupes devront collaborer pour aborder les différents aspects du projet et aboutir à une réalisation preuve de concept.



2SC6210 – Communications à haute performance énergétique

Responsables : Yves LOUET

Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Cours ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Avec une consommation électrique mondiale de 6 à 10% correspondant à 4% des émissions de gaz à effet de serre, les STIC (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication) doivent repenser leur façon de transmettre, traiter et stocker les données. L'arrivée de la 5G (5ième Génération de mobiles) et l'explosion des objets connectés (Internet of Things) laissent en particulier présager une croissance du secteur encore très forte pour les années à venir, justifiant d'autant plus l'urgence pour proposer des communications plus respectueuses de l'environnement. Les besoins en efficacité spectrales (transmettre un débit dans une bande passante donnée) doivent alors se conjuguer avec une forte contrainte d'efficacité énergétique (transmettre tout en consommant le moins possible).

Les objectifs du cours sont alors

- de faire prendre conscience de l'empreinte carbone du domaine des STIC
- de dresser un état des lieux des communications actuelles et des raisons qui expliquent la consommation des équipements
- de présenter les éléments clés d'une chaîne de communications et les éléments dimensionnant (débit, bande passante, bilan de liaison, qualité de service, efficacité spectrale, efficacité énergétique, ...).
- de comprendre les différences entre signaux à enveloppe constante/enveloppe non constantes



- de présenter les formats de transmission à enveloppe constante (CPM, MSK, GMSK, FSK, OQPSK,) et les récepteurs associés
- de présenter les standards dans lesquels ces standards sont utilisés (téléphonie mobile, IoT, Bluetooth,)
- de comparer les schémas de transmission entre eux (modulations linéaires et non linéaires)

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

ST5

Prérequis

Une partie des prérequis de ce cours coïncident avec les notions abordées dans le cours de 1A "Traitement du signal" (1CC4000). On retiendra en particulier :

- Modélisation déterministe des signaux
- Notions de puissance, énergie, corrélation
- Caractérisation spectrale des signaux et transformation de Fourier
- Analyse spectrale
- Opération de filtrage et convolution linéaire
- Échantillonnage des signaux et repliement spectral
- Transformation de Fourier discrète

Plan détaillé du cours (contenu)

- **Introduction : l'empreinte carbone des STIC**

- a. Les réseaux
- b. Les équipements

2. Les modulations linéaires

- a. Codage binaire à symboles
- b. Codage symbole à signal ; filtrage de mise en forme ; interférence entre symboles
- c. Densité spectrale de puissance
- d. Exemple de standards

3. Les modulations non linéaires

- a. CPM (FSK, MSK, GMSK, ...)
- b. Architectures des récepteurs
- c. Exemples de standards

4. Comparaisons modulations linéaires / non linéaires



- a. Efficacité spectrale
- b. Efficacité énergétique
- c. Taux d'erreur binaire sur canal gaussien

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement sera décomposé entre trois parties pour les heures de présentiel élève (HPE) :

- 18 heures de cours magistraux
- 4,5 heures de travaux dirigés
- 10,5 heures d'études de laboratoires

Par ailleurs, 25,5 heures de travail personnel sont programmées. Enfin cet enseignement sera évalué par un examen de 1,5 heures.

Les enseignants intervenants sont Yves Louët (responsable du cours) ainsi qu'Haïfa Fares et Georgios Ropokis.

Organisation de l'évaluation

Cet enseignement sera évalué par : une note de compte-rendus de travaux de laboratoires (coefficient 0,2) une note d'un examen écrit d'une durée de 1h30 (coefficient 0,8)

Support de cours, bibliographie

- [1] J. B. Anderson, T. Aulin, and C.-E. Sundberg, Digital Phase Modulation. New York: Plenum Press, 1986.
- [2] L. H. J. Lampe, R. Tzschoppe, J. B. Huber, and R. Schober, "Noncoherent Continuous- Phase Modulation for DS-CDMA," in Communications, 2003. ICC '03. IEEE International Conference on, vol. 5, pp. 3282–3286 vol.5, May 2003.
- [3] M. Mouly and M.-B. Pautet, The GSM System for Mobile Comm.. Telecom Publishing, 1992.
- [4] M. K. Simon, Bandwidth-Efficient Digital Modulation with Application to Deep-Space Communications. John Wiley & Sons, 2005.
- [5] Reducing the Energy Consumption of Photonics Hardware in Data Center Networks Authors: Richard Penty, Jonathan Ingham, Adrian Wonfor, Kai Wang, Ian White Richard Penty, Core Switching and Routing Working Group Adrian Wonfor, Green Touch, 2012

Moyens

Cet enseignement sera décomposé en trois parties pour les heures de présentiel élève (HPE) :

18. 18 heures de cours magistraux



19. 4,5 heures de travaux dirigés
20. 10,5 heures d'études de laboratoires

Par ailleurs, 25,5 heures de travail personnel sont programmées. Enfin cet enseignement sera évalué par un examen de 1,5 heures.

Les enseignants intervenants sont Yves Louët (responsable du cours) ainsi qu'Haïfa Fares et Georgios Ropokis.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- évaluer l'impact environnemental du domaine des STIC (Sciences et Technologies de l'Information et des Communications)
- identifier les traitements & éléments les plus consommateurs en énergie pour transmettre une information
- argumenter sur le choix des paramètres d'une transmission en fonction des besoins
- simuler une transmission radio à haute efficacité énergétique et d'en établir les performances
- connaître les traitements numériques nécessaires pour transmettre une information
- expliquer le compromis entre efficacité spectrale (recherche du débit) et efficacité énergétique (économie d'énergie) pour une transmission
- justifier l'emploi de formes d'onde à haute efficacité énergétique dans des contextes bien particuliers (Internet des Objets, transmissions à bas débit, besoin d'autonomie, ...).

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

C2.4 Créer de la connaissance, dans une démarche scientifique

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.

C6.6 Comprendre l'économie numérique

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



2SC6290 – Pilotage hiérarchisé du confort thermique

Responsables : Hervé GUEGUEN, Romain BOURDAIS

Département de rattachement : DOMINANTE - SYSTÈMES

COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS, DOMINANTE - GRANDS
SYSTÈMES EN INTERACTION

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

Campus où le cours est proposé : Rennes

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

Le bâtiment ne doit plus être considéré comme un simple consommateur mais comme un véritable acteur énergétique parfaitement intégré dans son écosystème et doit s'inscrire pleinement dans une vision de société renouvelée, où confort et santé sont en harmonie avec la gestion de l'énergie. Il faut donc pour ce faire, repenser les systèmes qui le composent, par de nouvelles fonctions de pilotage et par des interactions plus fortes avec les occupants. L'écosystème «bâtiment» est complexe, car il est constitué d'un ensemble hétérogène des systèmes : production locale, stockage, approvisionnement, vente, et les différents équipements, qui doivent être coordonnés pour une gestion optimisée.

Les défis de l'ingénieur qui se posent alors sont d'abord l'analyse des besoins et la spécification des systèmes intelligents de contrôle. Cette conception repose l'intégration d'algorithmes de contrôle déployés sur des systèmes communicants pour atteindre un compromis optimal entre technologie – coût – efficacité, comme par exemple la performance en boucle fermée, fréquence et protocole de communication, autonomie des capteurs et durée de vie des actionneurs.

L'objectif est de définir un système modulaire, permettant d'implémenter des stratégies de commande hiérarchisée entre une régulation locale du confort par zone et un superviseur gérant l'intermittence de l'occupation, la limitation de puissance disponible afin de minimiser la consommation liée au confort thermique. Les challenges induits par ce projet sont la prise en compte des enjeux sociétaux (humain, confort et efficacité



énergétique), des contraintes techniques (limitation de puissance, facilité de mise en œuvre et robustesse de la solution) et les technologies permettant la mise en œuvre. Les différents groupes devront collaborer pour aborder les différents aspects du projet et aboutir à une réalisation preuve de concept.

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

ST5

Prérequis

Automatique (cours commun 2A)

L'un des deux cours spécifiques :

11. Communication à haute efficacité énergétique (cours spécifique)
12. Architecture Système et Modélisation (cours spécifique)

Plan détaillé du cours (contenu)

Cet enseignement d'intégration est construit à partir d'un simulateur/émulateur du comportement thermique d'un bâtiment, dont les données météorologiques et conditions d'utilisation sont issues des données de la ville de Rennes.

Le gestionnaire d'énergie que les élèves devront construire devra être implémenté et validé dans le simulateur.

Déroulement, organisation du cours

L'activité pédagogique alterner travail en commun et travail en mini-groupe pour arriver à une proposition collective en fin de semaine.

Organisation de l'évaluation

L'activité sera évaluée lors des différents points quotidiens et lors de la présentation finale.

Moyens

Une salle, équipée de différents ordinateurs, de boîtiers d'acquisition entrée/sortie, est mise à disposition des élèves. Des cartes Arduino et différents objets de communication seront fournis par l'équipe de recherche en communication numérique du campus. Cet enseignement d'intégration est encadré par 3 enseignants chercheurs de l'école aux compétences complémentaires (Modélisation système, automatique et communications numériques).



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- de mettre en oeuvre une stratégie de commande collaborative et de la valider en simulation
- de concevoir un protocole de communication entre objets connectés et de le valider expérimentalement
- de présenter une solution technologique et de la valoriser d'un point de vue technico-économique

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

C1.4 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe

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

C8.1 : Travailler en équipe/en collaboration.



ST5 – 63 – SYSTEMES INTELLIGENTS ET EMBARQUES POUR LA SANTE

Dominante : GSI (Grands Systèmes en Interaction), VSE (Vivant-Santé-Environnement) et SCOC (Systèmes Communicants et Objets Connectés)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Rennes

Problématique d'ingénieur

Les avancées technologiques en termes de miniaturisation des éléments de mesure et de pilotage de grandeurs physiologiques permettent d'entrevoir de nouvelles solutions pour le soin des patients : substitution pour le contrôle d'organes défectueux, délivrance continue, automatisée et adaptée au patient, de traitements thérapeutiques. D'autre part l'intégration des capacités de communication numérique entre ces éléments de contrôle et les objets connectés du quotidien (smartphone, tablettes, ...) ouvrent de nouvelles opportunités pour une meilleure implication du patient dans son protocole, ou pour le suivi par son médecin.

Les enjeux sociétaux sont évidents, qu'il s'agisse de gain en santé et en confort de vie quotidienne pour le patient tout autant que de diminution de risques de pathologies graves à plus long terme.

Pour l'ingénieur, le défi est de proposer une solution intégrée fiable, simple d'utilisation et de réglage, peu énergivore, et facilement adaptable à une grande diversité de patients.

Prérequis nécessaires

Aucun

Modules contexte et enjeux : cette partie s'organise autour de plusieurs conférences qui doivent donner aux élèves les clés pour comprendre les grands enjeux associés à cette séquence thématique. Ainsi, seront abordés les aspects médicaux avec le cas du traitement du diabète, la problématique de l'embarqué pour la santé, les aspects éthiques, sociaux et humains au travers de l'influence des objets connectés, la sécurité des données personnelles, l'incidence des antennes.

Cours spécifique (60 HEE) : Communications à haute performance énergétique

- **Brève description** : Avec une consommation électrique mondiale de 6 à 10% correspondant à 4% des émissions de gaz à effet de serre, les STIC (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication) doivent repenser leur façon de transmettre, traiter et stocker les données. L'arrivée de la 5G (5^{ème}



Génération de mobiles) et l'explosion des objets connectés (Internet of Things) laissent en particulier présager une croissance du secteur encore très forte pour les années à venir, justifiant d'autant plus l'urgence pour proposer des communications plus respectueuses de l'environnement. Les besoins en efficacité spectrales (transmettre un débit dans une bande passante donnée) doivent alors se conjuguer avec une forte contrainte d'efficacité énergétique (transmettre tout en consommant le moins possible). Ce cours forme aux concepts et outils de communication numérique pour lesquels l'efficacité énergétique est explicitement prise en compte.

Enseignement d'intégration : Système intelligent pour la régulation personnalisée de glycémie

- **Partenaire associé :** CHU Rennes – Service Diabétologie, University of Bern, ARTORG Center for Biomedical Engineering Research, Diabetes Technology Research Group
- **Lieu :** Campus de Rennes
- **Brève description :** L'objectif est de proposer un système d'aide à la régulation de glycémie pour des patients diabétiques. Ce système doit répondre à des problématiques diverses : sûreté de fonctionnement et confort d'utilisation pour le patient, intégration numérique des algorithmes de pilotage, capacité d'interaction avec des éléments de contrôle (capteur sous-cutané de glycémie, micro pompe de délivrance d'insuline, ...) via des protocoles de communications divers et de faible coût énergétique. Il doit permettre une interaction en local avec le patient et à distance avec un médecin pour le suivi des données biomédicales.



2SC6310 – Architecture Système et Modélisation

Responsables : Hervé GUEGUEN, Nabil SADOU

Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES

Langues d'enseignement :

Type de cours : Cours ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Les systèmes actuels sont de plus en plus complexes. Cette complexité provient de la complexité de leur structure et des interactions entre les différents éléments constitutifs, de l'augmentation et de la complexité des données échangées, de l'hétérogénéité des concepts, des substances, des métiers, des standards, mais aussi de la complexité humaine (organisation, ergonomie, psychologie, sociologie...).

Afin de mieux maîtriser cette complexité il est souvent nécessaire de s'appuyer sur une modélisation des différents artefacts du système. Cette modélisation permet à différentes phases de la vie du système de mieux comprendre les besoins auxquels il doit répondre, de structurer son architecture, de faire des analyses afin de prédire son comportement et ainsi de faire un choix justifié entre plusieurs solutions. Les différents modèles constituent un référentiel commun pour les différentes parties prenantes de la conception du système.

L'objectif de ce cours est de former les élèves à la modélisation et la structuration d'une architecture système. Les systèmes technologiques seront privilégiés avec des domaines tels que l'avionique, le ferroviaire, l'industrie, la santé, l'énergie etc. L'accent sera aussi mis sur la capacité à identifier les attributs caractéristiques de la performance essentiels dans la conception, l'implémentation, l'exploitation et le management des systèmes complexes.



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

ST5

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction à la modélisation système
2. Modélisation des besoins des parties prenantes et des exigences
3. Modélisation et structuration de l'architecture système
4. Modélisation discrète et continue/ composition
5. Choix d'une structuration organique
6. Modélisation des différentes solutions techniques et analyse des compromis

Déroulement, organisation du cours

Cours, TD, BE

Organisation de l'évaluation

Examen écrit (1h30) (50%) et contrôle continu (50%)

Moyens

Cours TD, BE.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, les élèves seront capables de :

- Concevoir et déployer la modélisation d'un système (Observer, Définir le système, Proposer un modèle formel, Analyser et Exploiter les résultats)
- Comprendre les concepts de la modélisation système (notion de composants, différentes hiérarchies utilisées dans la modélisation, principes de décomposition) avec un accent particulier sur les interactions entre les composants d'un système (causale ou noncausale, synchrone ou Asynchrone, interfaces d'échange d'information ou d'énergie, etc.)
- Comprendre et analyser les interactions afin de bien structurer l'architecture d'un système pour favoriser sa modularité et ses futures évolutions.
- Maitriser et déployer les différentes techniques de modélisation comportementale d'un système afin de prédire son comportement



Description des compétences acquises à l'issue 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 économique
 - 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 humaine
 - C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème
- C8 Mener un projet, une équipe
 - C8.1 Travailler en équipe/en collaboration.



2SC6390 – Système intelligent pour la régulation personnalisée de glycémie

Responsables : Marie-Anne LEFEBVRE

Département de rattachement : DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT, DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS, DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif est de proposer un système d'aide à la régulation de glycémie pour des patients diabétiques;

Ce système doit répondre à des problématiques diverses : sûreté de fonctionnement et confort d'utilisation pour le patient, intégration numérique des algorithmes de pilotage, capacité d'interaction avec des éléments de contrôle (capteur sous-cutané de glycémie, micro pompe de délivrance d'insuline,..) via des protocoles de communications divers et de faible coût énergétique;

Il doit permettre une interaction en local avec le patient et à distance avec un médecin pour le suivi des données biomédicales.

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

ST5

Prérequis

Modélisation

Systèmes d'information et programmation



Plan détaillé du cours (contenu)

Compréhension de la problématique

Définition des exigences(sûreté, confort,..)

Définition des architectures fonctionnelles et physiques du système de régulation

Modélisation et étude d'un correcteur

Etude de l'intégration embarquée du correcteur

Etude des aspects interface patient et communications avec le contrôleur embarqué

Intégration et Validation

Synthèse

Déroulement, organisation du cours

Travail en groupes de 5-6 étudiants

Organisation de l'évaluation

Notes de synthèse, Soutenance finale et démonstration

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les élèves seront capables :

- d'appliquer les principes d'une méthodologie système
- d'analyser et réaliser l'intégration d'une régulation temps réel
- avoir des bases de programmation pour les composants logiciels dédiés à l'embarqué et leur intercommunication

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.2 Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques, économiques et humaines

C3.7 Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées

C6.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel complexe

C8.1 Travailler en équipe / en collaboration



ST5 – 64 – MODELISATION ET CONCEPTION D'UN SYSTEME DE SUPERVISION DE CAPTEURS

Dominante : Info&Num (Informatique et Numérique) et SCOC (Systèmes Communicants et Objets Connectés)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Rennes

Problématique d'ingénieur

Aujourd'hui, l'informatique est omniprésente, et permet en particulier de réaliser la supervision de capteurs et objets connectés, ainsi que le traitement et l'analyse des données provenant de ceux-ci. Par exemple, dans le cadre médical, des pompes à insulines ou pacemakers connectés peuvent remonter les informations collectées afin de réaliser des historiques, statistiques sur des ensembles d'individus, etc. Dans le cadre "smart building", les systèmes d'information déportent par exemple le pilotage ou la facturation.

L'objectif d'un tel système de supervision est d'une part de fournir des informations agrégées aux utilisateurs et superviseurs, mais également de permettre une régulation du système via l'envoi de commandes de pilotage aux capteurs et aux objets connectés. Ainsi, l'implémentation logicielle d'un tel système repose sur plusieurs services, avec de multiples utilisateurs manipulant des données spécifiques à leur rôle. La difficulté d'une telle implémentation réside dans la modélisation et le volume des données traitées en temps réel, mais aussi dans le choix et la définition de l'architecture logicielle qui permettra d'obtenir un système efficace tout en assurant une maintenabilité aisée.

Dans cette ST, nous proposons d'étudier la conception d'un tel système. Pour ce faire, nous étudierons d'une part la modélisation et la gestion des données, et d'autre part, les schémas de conception qui vont permettre d'accélérer le développement tout en facilitant la maintenabilité du système. Par ailleurs, l'enseignement d'intégration sera l'occasion d'illustrer les bénéfices d'une organisation AGILE en permettant de concevoir un système fonctionnel au plus tôt et de le faire évoluer en fonction du besoin client.

Prérequis nécessaires

Aucun

Modules contexte et enjeux : Les modules contexte et enjeux de cette séquence thématique s'appuient sur ceux des deux autres séquences thématiques proposées sur le campus de Rennes, « Santé » et « Smart Building ». Les 4 premiers ateliers sont donc « partagés » avec ces séquences sur la semaine 1. Sur la semaine 2, des ateliers spécifiques à la méthode AGILE sont présentés par les industriels. Une mise en pratique et une restitution de ces éléments sont prévus dans l'enseignement d'intégration.



Cours spécifique (60 HEE) : Modèles de données et schémas de conception

- **Brève description** : Ce cours permet de découvrir les notions nécessaires à la conception de logiciels manipulant de grandes quantités de données. Il aborde la programmation orientée objet, au travers de deux langages, Java et Scala. Il aborde ensuite les méthodologies de génie logiciel en lien étroit avec le cours de modélisation système dans lequel sont vus les différents diagrammes (classes, séquence, etc.). Le cours permet à l'étudiant de se questionner sur la pertinence de la structuration d'un code logiciel au regard des patrons de conception existants. A cet effet, les travaux dirigés qui s'appuient sur le cours de modélisation système qui se déroule en parallèle seront réalisés en pédagogie inversée.

Dans une seconde partie le cours s'intéresse au stockage à la manipulation des données proprement dites. Il s'agira de découvrir les fondements des logiciels de base de donnée et les problématiques théoriques que cela pose (mise en forme, requêtes). Enfin, cette partie se conclut par l'introduction des logiciels de mapping objet-relation qui permettent de lier les données avec le code métier de l'application et pour lesquels une compétence de modélisation particulière doit être acquise.

Enseignement d'intégration : Développement d'un système de supervision de capteurs

- **Partenaire associé** : Kerlink et une ESN (Entreprise du Service Numérique)
- **Lieu** : Campus de Rennes
- **Brève description** : En partenariat avec un industriel (par exemple, une ESN présente localement) et en collaboration avec les étudiants des séquences thématiques du campus de Rennes « Smart Building » et « Santé », l'objectif est de développer le système d'information qui permettra de collecter et de traiter les données en provenance de capteurs, et de fournir des services pour la régulation de ceux-ci. Le partenaire industriel fournira une expertise sur les choix technologiques appropriés au développement du système d'une part, et d'autre part, guidera les étudiants dans la mise en place d'une organisation AGILE. L'objectif pédagogique est de percevoir l'intérêt des choix de conception pour faciliter l'évolution logicielle, et les bénéfices d'une organisation AGILE.



2SC6410 – Modèles de données et schémas de conception

Responsables : Jean-Francois LALANDE

Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5 (+ module contexte et enjeu : 0,5)

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours permet de découvrir les notions nécessaires à la conception de logiciels manipulant de grandes quantités de données. Il aborde la programmation orientée objet, au travers de deux langages, Java et Scala. Il aborde ensuite les méthodologies de génie logiciel en lien étroit avec le cours de modélisation système dans lequel sont vus les différents diagrammes (activités, séquence, blocs, etc.). Le cours permet à l'étudiant de se questionner sur la pertinence de la structuration d'un code logiciel au regard des patrons de conception existant.

Dans une seconde partie le cours s'intéresse au stockage à la manipulation des données proprement dites. Il s'agira de découvrir les fondements des logiciels de base de donnée et les problématiques théoriques que cela pose (mise en forme, requêtes). Enfin, si le temps le permet, cette partie se conclut par l'introduction des logiciels de mapping objet-relation qui permettent de lier les données avec le code métier de l'application et pour lesquels une compétence de modélisation particulière doit être acquis.

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

ST5

Prérequis

- Système d'information et programmation
- Algorithmique et complexité



Plan détaillé du cours (contenu)

Programmation orientée objet (Java/Scala)

17. Héritage, encapsulation, polymorphisme, dispatch dynamique
18. Généricité, covariance, contravariance, invariance
19. Fonctions et classes anonymes
20. Typage et inférence de type

TL : prise en main des langages en illustrant les notions vues en cours.

Travail personnel : Approfondir : Réflexivité, sérialisation, Java NIO, JNI, Garbage collector

Génie logiciel

- Méthodes historiques : cycle en V, cycle en spirale, tests
- Diagramme UML : utilisation des diagrammes vus dans « Modélisation système » (use case, séquences, classes, état transition)
- Test et intégration continue

Travail personnel : Finir le TL de génie logiciel

Bases de données relationnelles

- Algèbre relationnelle,
- Conception de bases de données, normalisation
- Langage SQL, requêtage, indexation
- Optimisation de requêtes

Introduction au patrons de conception

Déroulement, organisation du cours

34.5 HPE: 12h de cours, 3h de TD, 18h de TP, 1,5 Examen

Organisation de l'évaluation

Examen final : 1h30 : 50 % Contrôle continu: TL génie logiciel, par binôme:



15 min de présentation + 10 min de questions : 50 % En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Support de cours, bibliographie

- Java et Eclipse Développez une application avec Java et Eclipse (2e édition), Editions ENI
- JPA et Java Hibernate, Editions ENI
- SQL, Les fondamentaux du langage, Eyrolles
- Neo4j : données-graphes - Volume 2
- Design Patterns en Java, Eyrolles

Moyens

TP sur machine :

- Eclipse, IntelliJ
- Logiciel de base de données

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Effectuer de la programmation orientée objet
- Choisir correctement les patrons de conception
- Savoir manipuler des données dans une base de données
- Modéliser avec un mapping objet-relation

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

C6.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel complexe



2SC6490 – Développement d'un système de supervision de capteurs

Responsables : Jean-Francois LALANDE

Département de rattachement : DOMINANTE - SYSTÈMES

COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS, DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Enseignement d'intégration

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 27

Quota :

ECTS Erasmus : 2

Présentation, objectifs généraux du cours

En partenariat avec un industriel (par exemple, une ESN présente localement) et en collaboration avec les étudiants des ST « Smart Building » et « Santé », l'objectif est de développer le système d'information qui permettra de collecter et de traiter les données en provenance de capteurs, et de fournir des services pour la régulation de ceux-ci. Le partenaire industriel fournira une expertise sur les choix technologiques appropriés au développement du système d'une part, et d'autre part, guidera les étudiants dans la mise en place d'une organisation AGILE. L'objectif pédagogique est de percevoir l'intérêt des choix de conception pour faciliter l'évolution logicielle, et les bénéfices d'une organisation AGILE.

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

ST5

Prérequis

- Système d'information et programmation
- Algorithmique et complexité



Plan détaillé du cours (contenu)

D'un point de vue technique, on visera à développer par une équipe une infrastructure complète pour collecter, traiter et visualiser des données issus de capteurs. Les données issues des autres groupes projets des autres ST remonteront des données qui seront hébergées sur un serveur local mais qui seront ensuite poussées sur une infrastructure de type cloud. Un court-circuit de la partie Cloud peut être prévu, si le temps de développement est trop long ou suivant les échecs des différentes équipes. A ce stade, aucun traitement n'est réalisé. Les données sont ensuite ré-extraites et peuvent subir un traitement afin d'être projetées dans un modèle de donnée final propice à la manipulation pour présentation. Ces données seront stockées dans une base de données à mettre en œuvre par l'équipe de développement. Ces données sont alors présentées via une API REST à la partie de l'équipe développant le frontend applicatif.

Déroulement, organisation du cours

Les étudiants seront répartis en équipe projet s'organisant autour d'un chef projet (qui pourra changer chaque jour). En début de journée, chaque équipe projet se verra attribuer des fonctionnalités devant être fournies en fin de journée. Par ailleurs, chaque jour, des améliorations mineures devront être apportées afin de répondre au plus vite aux besoins exprimés par les étudiants des autres ST à l'occasion de réunion regroupant l'ensemble des étudiants des ST concernées.

Pour supporter l'EI, il est à prévoir :

- Une salle informatique permettant d'accueillir maximum 25 personnes
- Un accès à une infrastructure de type Cloud Computing
- D'éventuels VPN pour connecter les différents composants logiciels

Organisation de l'évaluation

Présentation orale

Moyens

- Ordinateur
- Capteurs de test et des autres STs

Acquis d'apprentissage visés dans le cours



- Interpréter et modéliser le besoin client
- Implémenter en équipe une solution répondant au besoin client

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C4.1 Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socio-économiques
- C8.4 Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation



COURS SEQUENCE THEMATIQUE 7



ST7 – 71 – MODELISATION MATHÉMATIQUE DES MARCHÉS FINANCIERS ET GESTION DES RISQUES

Dominante : MDS (Mathématiques, Data Sciences)

Langue d'enseignement : Anglais

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

La financiarisation de l'économie est un phénomène majeur de ces trente dernières années. Elle place les marchés financiers au cœur de l'économie mondialisée. En conséquence, la bonne gestion des risques portés par les institutions financières est cruciale pour l'ensemble de l'économie.

L'objectif de ce sujet est d'initier les étudiants aux concepts fondamentaux de la gestion des risques financiers, en particulier à ses aspects mathématiques. Cette séquence permettra aux étudiants de se familiariser avec les modèles stochastiques d'évaluation d'actifs, de découvrir les principaux produits dérivés et d'aborder des problématiques réelles de gestion des risques. Pour l'ingénieur travaillant sur les marchés financiers, la maîtrise de ces modèles est indispensable.

Prérequis nécessaires

Il est nécessaire d'avoir suivi les enseignements fondamentaux de CIP, EDP et d'Algorithmique et complexité.

Il n'est PAS nécessaire d'avoir suivi la ST4 Données et Statistiques en Finance.

Modules contexte et enjeux : Un ensemble de conférences présentera différents domaines d'application des méthodes de gestion des risques financiers. Les conférences seront les suivantes :

- le marché des produits dérivés ;
- la gestion d'actifs: allocation de portefeuille et gestion des risques ;
- l'actuariat et la gestion du risque en assurance.

Dans la mesure du possible, les partenaires des projets de la séquence participeront à ces conférences pour une première mise en contexte des projets à suivre.

Cours spécifique (60 HEE) : Modélisation des risques financiers

- **Brève description** : Ce cours est une introduction aux mathématiques financières en temps discret. Y sont en particulier abordées la valorisation et la couverture des produits dérivés ainsi que la gestion des risques dans un cadre stochastique à temps discret.



Contenu : Calcul stochastique en temps discret. Introduction aux produits dérivés financiers. Modèles de marchés financiers en temps discret. Mesures de risques et optimisation de portefeuille. Investissement optimal, critère de risque et couverture optimale dans les marchés en temps discret. Passage au temps continu, vers le modèle de Black & Scholes.

Projet : Gestion des risques financiers

- **Partenaire associé** : Société Générale / Generali / Malakoff-Médéric (à confirmer)
- **Lieu** : Paris-Saclay
- **Brève description** : Cet enseignement se déroule sous la forme d'un projet, au cours duquel les étudiants sont invités à proposer une solution à un problème d'optimisation dans un contexte de gestion du risque financier. Les projets sont proposés par un partenaire industriel ou académique.

Objectifs d'apprentissage : être capable de modéliser un problème de gestion du risque financier, être capable d'implémenter une solution numérique.

Chaque projet s'appuie sur l'étude d'un article de recherche ayant trait à la gestion du risque financier, que ce soit du point de vue de l'évaluation (pricing) ou de la couverture (hedging) d'un produit financier, ou plus généralement de la gestion d'un portefeuille d'investissement. Des données réelles pourront être fournies soit par le partenaire du projet, soit par la Chaire de Finance Quantitative du laboratoire MICS de CentraleSupélec. Chaque projet nécessite l'implémentation de la solution proposée.



2SC7110 – Stochastic Finance and risk modelling

Responsables : Ioane MUNI TOKE

Département de rattachement : MATHÉMATIQUES

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est une introduction aux mathématiques financières en temps discret. Y sont en particulier abordés la valorisation et la couverture des produits dérivés ainsi que la gestion des risques dans un cadre stochastique à temps discret.

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

ST7

Prérequis

Cours communs 1A de mathématiques et informatique (CIP, EDP, Algo et complexité, Statistiques)

Plan détaillé du cours (contenu)

Calcul stochastique en temps discret. Introduction aux produits dérivés financiers. Modèles de marchés financiers en temps discret. Passage au temps continu, vers le modèle de Black & Scholes. Mesures de risques. Allocation optimale de portefeuilles.

Déroulement, organisation du cours

CM/TD/TP

18h de CM, 9h de TD, 6h de TP

Organisation de l'évaluation



TP (25%) et examen final (75%) d'une durée de 1H30. En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Support de cours, bibliographie

Jacod, J., & Protter, P. (2012). *Probability essentials*. Springer.

Föllmer, H., & Schied, A. (2011). *Stochastic finance: an introduction in discrete time*. Walter de Gruyter.

Shreve, S. (2005). *Stochastic calculus for finance I: the binomial asset pricing model*. Springer.

Lamberton, D., & Lapeyre, B. (2000) *Introduction to Stochastic Calculus Applied to Finance*. Chapman and Hall.



2SC7190 – Risk Management on financial markets

Responsables : Ioane MUNI TOKE

Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Projet de ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement se déroule sous la forme d'un projet, au cours duquel les étudiants sont invités à proposer une solution à un problème d'optimisation dans un contexte de gestion du risque financier. Les projets sont proposés par un partenaire industriel ou académique.

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

ST7

Prérequis

Stochastic Finance and Risk Modelling (ST7 MDS)

Plan détaillé du cours (contenu)

Chaque projet s'appuie sur l'étude d'un article de recherche ayant trait à la gestion du risque financier, que ce soit du point de vue de l'évaluation (pricing) ou de la couverture (hedging) d'un produit financier, ou plus généralement de la gestion d'un portefeuille d'investissement. Des données réelles pourront être fournies par le partenaire du projet. Chaque projet nécessite l'implémentation de la solution proposée.

Liste des sujets 2020 (peut différer en 2021) :

- Optimal portfolio allocation (en partenariat avec BNP Paribas)
- Optimization for insurance products (en partenariat avec Generali)
- Hybrid portfolio optimization (en partenariat avec Volga Technologies)

**Déroulement, organisation du cours**

Projet avec suivi régulier. Mini-cours selon les besoins du projet.

Organisation de l'évaluation

Code, rapport technique et soutenance orale



ST7 – 72 – OPTIMISATION DE L'INFRASTRUCTURE DES RESEAUX POUR LES VILLES INTELLIGENTES

Dominante : SCOC (Systèmes Communicants et Objets Connectés)

Langue d'enseignement : Anglais

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

L'avènement de l'internet des objets ainsi que la multiplication des applications basées sur les réseaux de capteurs peu coûteux ouvre aujourd'hui la voie vers le développement des villes intelligentes, connectées et durables. De nombreuses villes en Europe (Antony, Dijon, Malaga, Santander, Barcelone etc.) sont en train de créer des environnements intelligents avec des expérimentations déployées pour une meilleure gestion adaptative des trafics et des transports, pour une meilleure gestion de la consommation d'énergie, de l'eau, une réduction du niveau CO₂, du niveau de pollution, de la qualité de vie etc. La création et la gestion de villes intelligentes nécessitent des infrastructures transversales de communications à haut débit et des réseaux d'extrémité pour la collecte, l'acheminement et le traitement d'une grande quantité d'informations (capteurs de trafic, caméras, véhicules géo-localisables, profils et déplacements des usagers/personnes, etc.), ce qui surchargera les réseaux de *télécommunications* actuels et/ou nécessitera le développement de nouveaux systèmes de communications. Il est estimé que la densité des objets connectés dans les villes intelligentes atteindra un million d'objets par Km² en 2020. Bien évidemment, l'optimisation des réseaux de communications est essentielle. Dans ce contexte, un des objectifs principaux de la cinquième génération des systèmes de communications est de pouvoir répondre aux besoins des villes intelligentes, en permettant notamment la communication d'un grand nombre de machines, la virtualisation des fonctions, et le traitement intelligent des données. L'acheminement des paquets dans le réseau, l'affectation des serveurs pour le traitement des données et transmission des paquets sont d'une ultime importance pour optimiser et dimensionner les infrastructures des réseaux. Cette séquence thématique est centrée sur ces problématiques qu'il s'agit de comprendre et d'appliquer au contexte des villes intelligentes. Vu la grande densité des objets, l'utilisation des techniques de décisions distribuées, notamment la théorie des jeux, est d'une grande importance dans ce contexte. Cette séquence thématique présentera les principes



fondamentaux de la théorie des jeux et abordera son utilisation pour l'optimisation des performances et des fonctions du réseau.

Prérequis nécessaires

Avoir suivi les cours en promotion complète de Modélisation, Statistiques et apprentissage et Traitement du signal.

Modules contexte et enjeux : ces modules comprennent une conférence portant sur les smart cities (enjeux et expérimentations), une table ronde dédiée aux marchés et aux modèles économiques confrontant les visions des opérateurs de télécommunication et de services ainsi que des services publics, des interventions des partenaires de la séquence portant sur les verrous technologiques et scientifiques.

Cours spécifique (60 HEE) : Optimisation des infrastructures de réseau

- **Brève description** : Ce cours donne une bonne vision des problèmes émergents dans les réseaux de télécommunications pour répondre à la problématique des villes intelligentes (par exemple collecte et routage d'information, décharge du réseau, etc). Ce cours explique ensuite les concepts liés à l'optimisation de l'infrastructure des réseaux et présente les outils mathématiques nécessaires. En particulier, ce cours explique les principes fondamentaux de la théorie des jeux et présente son utilisation pour l'optimisation des performances et des fonctions d'un réseau de télécommunications dans le contexte des villes intelligentes.

Projet : Smart cities : les cités connectées

- **Partenaire associé** : TCL, Orange, Nokia, Thales, Veolia
- **Lieu** : Paris-Saclay
- **Brève description** : Les projets sont centrés autour d'applications pratiques de l'optimisation (combinatoire, convexe) et de la théorie des jeux aux problématiques actuelles des villes intelligentes et des réseaux de télécommunication. Les projets seront pluridisciplinaires et serviront à mettre en perspective les cours de la séquence et à initier les élèves à la recherche scientifique dans le domaine des SCOC.

Exemples de projet : *optimisation de services dans une ville intelligente en prenant en compte des contraintes réseaux (capacité du réseau, débit, signalisation, consommation énergétique, etc.) et les gains économiques et les bénéfices pour les habitants.*

Le contexte pratique du projet est lié à un service précis dans les villes intelligentes (collecte d'information de capteurs, régulation de température, vidéo surveillance ainsi que d'autres services à faible latence et grande fiabilité) et il est donné comme complément des cours. Les élèves devront proposer et implémenter (collaborativement) des algorithmes pour



optimiser l'envoi des informations dans le réseau (lien avec les notions d'optimisation, de théorie des jeux, et de routage d'information vues en cours). Les élèves testeront leurs approches sur des données réelles. Chaque groupe proposera au reste des élèves une solution parmi celles testées, en argumentant leur choix par des critères de performance, de coût, d'équité et de risque opérationnel. La solution optimale est choisie par un consensus de tous les élèves.



2SC7210 – Optimisation des infrastructures de réseau

Responsables : Mohamad ASSAAD

Département de rattachement : TÉLÉCOMMUNICATIONS

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours donne une bonne vision des problèmes émergents dans les réseaux de télécommunications pour répondre à la problématique des villes intelligentes (e.g. collecte et routage d'information, décharge du réseau, etc.). Ce cours explique ensuite les concepts liés à l'optimisation de l'infrastructure des réseaux et présente les outils mathématiques nécessaires. En particulier, ce cours explique les principes fondamentaux de la théorie des jeux et présente son utilisation pour l'optimisation des performances et fonctions d'un réseau de télécommunications dans le contexte des villes intelligentes

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

ST7

Prérequis

traitement du signal, réseaux de télécommunications (notions de bases), optimisation

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction générale
 - Grands enjeux de la ville du futur (énergie, transport, télécommunications, etc.)
 - Ville intelligente et Théorie des jeux
 - Théorie des jeux: Forme normale et extensive



- Décision et concepts de solution (rationalité, équilibre de Nash, etc)
- Equilibres corrélés
- Différents types de jeux et application aux problématiques des villes intelligentes
 - Jeux à somme nulle et à somme non nulle
 - Jeux finis et stratégies mixtes
 - Jeux de routage
 - Jeux révolutionnaires
 - Jeux répétés
 - Matching stables : problèmes de mariages stables
- Etude de cas : Application aux problèmes de recharge intelligente, application à l'allocation des fréquences dans les réseaux sans fil

Déroulement, organisation du cours

Déroulement, organisation du cours (séquençage CM, TD, EL/TP...) :

- Introduction générale : 6h CM+ 1.5h TD
- Différent types de jeux (jeux à somme nulle, routage, etc.): 9h CM + 7.5h TD
- Etude de cas : 3h CM

Organisation de l'évaluation

- Exercices à résoudre et à rendre (25%) - Examen final (75%) - 1.5h

Support de cours, bibliographie

- Rida Laraki, Jérôme Renault, Sylvain Sorin, Bases Mathématiques de la Théorie des Jeux, Ecole Polytechnique, 2013.

-E. Altman, Advances in Dynamic Games and Applications, 2013

- D.Bertsekas and J. Tsitsiklis, Parallel and Distributed : Numerical Methods, athena scientific, 2015.

- D. Bertsekas and R. Gallager, Data Networks, Prentice Hall.

- Chen, C., Zhu, S., Guan, X., Shen, X.S, Wireless Sensor Networks : Distributed Consensus Estimation, Springer, 2014.

- G. Ferrari, Sensor Networks : Where Theory Meets Practice, Springer-Verlag, 2009.

- Recent papers on IoT, smart cities and wireless networks.



Moyens

- Equipe enseignante : Mohamad Assaad (CS), Mikael Touati (Orange Labs)
- 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 :

- 1- connaître les problèmes émergents dans les réseaux de télécommunications pour les villes intelligentes.
- 2- modéliser un réseau dans le contexte des villes intelligentes avec ses fonctions principales.
- 3- formuler les problèmes émergents dans les villes intelligentes sous la forme de problèmes d'optimisation distribuée
- 4- connaître les outils de la théorie des jeux utilisés pour l'optimisation des performances et fonctions d'un réseau de télécommunications dans le contexte des villes intelligentes
- 5- implémenter des algorithmes de la théorie des jeux sous Matlab

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les acquis d'apprentissage 1, 2 et 3 permettent d'atteindre le jalon 1 de la compétence C1.1, c'est-à-dire « Savoir faire la liste des paramètres influents sur le système étudié, la liste des éléments avec lesquels il est en relation » et « Savoir identifier les paramètres importants vis-à-vis du problème posé ». Les acquis d'apprentissage 2 et 3 permettent d'atteindre le jalon 1 de la compétence C1.2, c'est-à-dire « Savoir utiliser un modèle présenté en cours de manière pertinente. Faire le choix d'hypothèses simplificatrices adaptées au problème étudié ». Les acquis d'apprentissage 3,4, et 5 permettent d'atteindre les jalons 1B et 3B de la compétence C1.3, c'est-à-dire "Résoudre un problème avec une pratique de l'approximation" et "Faire un choix de simulation pertinent pour un problème donné". L'acquis d'apprentissage 5 permet aussi d'atteindre le jalon 2B de la compétence C1.3, c'est-à-dire « Connaitre les limitations des simulations numériques et ce qu'on peut en attendre, savoir critiquer des résultats de simulations numériques ».



2SC7290 – Smart cities : les cités connectées

Responsables : Mohamad ASSAAD

Département de rattachement : TÉLÉCOMMUNICATIONS

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les projets sont centrés autour d'applications pratiques de l'optimisation (combinatoire, convexe) et de la théorie des jeux aux problématiques actuelles des villes intelligentes et des réseaux de télécommunication. Les projets seront pluridisciplinaires et serviront à mettre en perspective les cours de la séquence et à initier les élèves à la recherche scientifique dans le domaine des Systèmes Connectés (SCOC).

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

ST7

Prérequis

Traitement du signal, réseaux de télécommunications (notions de bases), optimisation, Matlab

Plan détaillé du cours (contenu)

Exemple de projet : *optimisation de services dans une ville intelligente en prenant en compte des contraintes réseaux (capacité du réseau, débit, signalisation, consommation énergétique, etc.) et les gains économiques et les bénéfices pour les habitants.*

Le contexte pratique du projet est lié à un service précis dans les villes intelligentes (collecte d'information de capteurs, régulation de température, vidéo surveillance ainsi que d'autres services à faible latence et grande fiabilité) il sera donné comme complément des cours. Les élèves



devront proposer et implémenter (collaborativement) des algorithmes pour optimiser l'envoi des informations dans le réseau (lien avec les notions d'optimisation, de théorie des jeux, et de routage d'information vues en cours). Les élèves testeront leurs approches sur des données, si possible réelles. Chaque groupe proposera au reste des élèves une solution parmi celles testées, en argumentant leur choix par des critères de performance, de coût, d'équité et de risque opérationnel. La solution optimale est choisie par un consensus de tous les élèves.

Déroulement, organisation du cours

Chaque projet est associé en moyenne à 5 élèves et encadré principalement par un enseignant de CentraleSupélec. Certains projets sont proposés conjointement avec des partenaires industriels et co-encadrés par des ingénieurs de ces entreprises. Une salle informatique sera mise à disposition des élèves. Les encadrants assureront un suivi régulier (une réunion/groupe/semaine au début et une réunion quotidienne par groupe durant la semaine finale). La collaboration inter groupes sera encouragée (si c'est possible), et les élèves seront évalués sur leur capacité de travail en équipe (leadership, partage des tâches, communication).

Organisation de l'évaluation

rapport à rédiger+soutenance (par groupe)

Moyens

- Outil logiciel : Matlab

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin du projet, l'élève sera capable de :

1- connaître des problèmes émergents dans les réseaux de télécommunications pour les villes intelligentes.

2- modéliser un réseau dans le contexte des villes intelligentes avec ses fonctions principales.

3- formuler des problèmes émergents dans les villes intelligentes sous la forme de problèmes d'optimisation

4- implémenter des algorithmes d'optimisation (convexe, combinatoire) et de théorie des jeux sous Matlab



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 : Agir, Entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique

C3.1 : Etre proactif, prendre des initiatives, s'impliquer

C3.2 : Remettre en cause ses hypothèses de départ, ses certitudes. Surmonter ses échecs. Prendre des décisions

C6 : Etre à l'aise et innovant dans le monde numérique

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 : Mener un projet, une équipe

C8.1: Travailler en équipe/en collaboration.

C8.2 : Mobiliser et entraîner un collectif (faire preuve de leadership)

C8.4 : Travailler en mode projet en mettant en oeuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation

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



ST7 – 73 – ECONOMIE CIRCULAIRE ET SYSTEMES INDUSTRIELS

Dominante : GSI (Grands Systèmes en Interaction), VSE (Vivant-Santé, Environnement), CVT (Construction, Ville et Transports)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Les **entreprises** sont en train de devenir des **acteurs de la transition vers une économie plus respectueuse de l'environnement**. Plusieurs d'entre elles ont par exemple demandé un accord fort lors de la COP21 et elles sont de plus en plus nombreuses à décider d'agir et de transformer leurs pratiques vers des modèles plus « circulaires ». Cette nouvelle conduite des affaires traduit dans les actes plusieurs facteurs qui se renforcent mutuellement : la **sensibilisation croissante aux enjeux de la transition écologique et énergétique**, la **multiplication des initiatives à l'échelle territoriale**, le **renforcement de lois et de normes vers une économie plus durable**, et des équilibres de marché qui changent et rendent **plus rentables les pratiques durables**.

L'**économie circulaire** vise à **sortir d'une culture de l'extraction et du déchet** et à **optimiser l'usage des ressources** afin de minimiser l'impact des activités humaines sur l'environnement. L'**écologie industrielle** est une **approche scientifique de métabolisme intégré** permettant de mettre en œuvre cette économie circulaire, via – entre autres – les **synergies industrielles** (mutualisations de flux de matières, d'eau ou d'énergie entre entreprises), l'écoconception des produits et services, ou encore l'économie de la fonctionnalité.

C'est un **formidable champ d'innovation**, de **différenciation commerciale** et un **relais de croissance durable** et profitable qui est en train d'éclorre. **Il faut à cette économie circulaire des chefs d'orchestres capables d'en comprendre les enjeux, formés pour initier et piloter des projets ambitieux à l'échelle des entreprises et des territoires.**

Prérequis nécessaires

Aucun.

Modules contexte et enjeux : L'introduction de la séquence s'organise autour de trois demi-journées visant à présenter la séquence, les projets et à introduire les enjeux de l'économie circulaire, avec les activités suivantes :



- Conférences introductives et table ronde : introduction à l'Économie Circulaire par les acteurs de terrain (Institut National de l'Économie Circulaire, Cabinet d'avocat spécialisé en Économie Circulaire)
- Ateliers de découverte : atelier « Produit éco-innovant » : le Fairphone, atelier « Consommation durable » : la Recyclerie Sportive de Massy, présentation détaillée de la ST
- Visite de site : le réseau de chaleur Paris-Saclay

Cours spécifique (60 HEE) : Économie Circulaire et méthodes de l'écologie industrielle

- **Brève description** : Le cours vise à parcourir les différentes dimensions de l'Économie Circulaire pour donner aux étudiants une vision d'ensemble du domaine. Puis le focus sera fait sur les outils opérationnels de l'Écologie Industrielle que les étudiants apprendront à manipuler (logiciels de MFA et d'ACV) pour mener à bien un projet d'Écologie Industrielle en modélisant les flux de matières, d'énergie, et en mesurant des impacts environnementaux. Ces outils seront directement mobilisés dans le projet industriel de la séquence thématique.

Projets :

La séquence est construite autour de deux projets portés par les dominantes VSE et CVT respectivement. Les sujets décrits sont ceux de 2020. Ceux de 2021 seront sur des thématiques similaires.

Projet n°1 : Bioraffinerie : optimisation des flux et/ou des procédés associés

- **Partenaire associé** : Chaire de Biotechnologie, ARD
- **Lieu** : Paris-Saclay puis Pomacle (CEBB et site industriel partenaire)
- **Brève description** : La bioraffinerie peut se définir comme un écosystème industriel permettant de valoriser la biomasse (ressources végétales, animales déchets) sous forme de divers produits, alimentaire ou non (énergies, intermédiaires chimiques, matériaux, cosmétiques, santé, etc.). La France est, à l'échelle mondiale très en pointe dans ce domaine, notamment grâce à la bioraffinerie de Pomacle Bazancourt qui traite plus de 4 Mt de biomasse par an. La bioraffinerie est donc d'un des outils industriels crédible pour accompagner la transition écologique, à la fois pour répondre aux enjeux climatiques et humanitaires mais aussi pour relocaliser l'industrie, notamment au sein des bassins de production agricoles ou forestiers. Elle répond ainsi au triple objectif du développement durable (environnemental, social et économique).

L'objectif de ce projet est, à l'échelle du site industriel, de comprendre l'organisation des procédés et des flux pour ensuite dégager les opportunités d'optimisation. Par une approche pluridisciplinaire (data sciences, modélisation-simulation-optimisation, génie des procédés, etc.), les élèves devront travailler en groupe pour identifier, développer et



présenter une solution opérationnelle contribuant à la réduction de l'impact environnemental de la bioraffinerie.

Projet n°2 : Chantiers du Grand Paris

- **Partenaire associé** : Valerian
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : « 200 km de lignes automatiques, soit autant que le métro actuel, et 68 gares : le Grand Paris Express est le plus grand projet urbain en Europe ! » Bien plus qu'un réseau de transport, il ouvre de nouveaux horizons et offre de nombreuses opportunités. Avec lui, la métropole devient plus grande et plus unie. 90% du réseau du futur Grand Paris Express sera souterrain, ce qui nécessite d'excaver d'énormes volumes de terres, dans le cadre de chantiers gigantesques mobilisant au total une vingtaine de tunneliers. Les déchets du BTP en Île de France représentent environ 30 millions de tonnes par an. Les chantiers du Grand Paris Express vont représenter un surcroît de déchets de 10 à 20% par an. Ce projet vise à faire travailler les étudiants sur des scénarios technico-économiques de valorisation des déblais du Grand Paris Express, dans une perspective d'économie circulaire. Dans une première phase du projet, en partenariat avec l'entreprise Spie batignolles valérian, les étudiants monteront en compétences et caractériseront les gisements de terres disponibles issues des chantiers du Grand Paris Express. Dans une seconde phase, les étudiants travailleront sur un des deux sujets de valorisation des terres suivants :
 - Valorisation des terres excavées pour les remblais de la future ligne CDG Express qui desservira l'aéroport Roissy-Charles de Gaulle à l'horizon 2025, sujet proposé par Spie batignolles valérian ;
 - Valorisation des terres excavées comme matériaux innovants de construction en terre crue, sujet proposé par le projet Cycle Terre et CRAterre.



2SC7310 – Economie circulaire et méthodes de l'écologie industrielle

Responsables : Yann LEROY, François CLUZEL

Département de rattachement : DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'économie circulaire vise selon l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) à changer de paradigme par rapport à l'économie dite linéaire, en limitant le gaspillage des ressources et l'impact environnemental, et en augmentant l'efficacité à tous les stades de l'économie des produits ; elle est composée de 7 piliers : approvisionnement durable, éco-conception, écologie industrielle et territoriale, économie de la fonctionnalité, consommation responsable, allongement de la durée d'usage et recyclage.

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 matières 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, ou la notion de déchet n'existe plus. Tous les secteurs économiques sont concernés.

Le cours vise à parcourir les différentes dimensions de l'économie circulaire pour donner aux étudiants une vision d'ensemble du domaine. Puis le focus sera fait sur les outils opérationnels de l'écologie industrielle que les étudiants apprendront à manipuler (logiciels de MFA (Material Flow Analysis, outil de cartographie des flux de matière et d'énergie) et d'Analyse de Cycle de vie (ACV, outil de calcul des impacts environnementaux)) pour mener à bien un projet d'écologie industrielle.



Ces outils seront directement mobilisés dans le projet industriel de la séquence thématique.

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

ST7

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours est structuré en 11 séances de 3h.

1. Introduction à l'Économie Circulaire et aux impacts environnementaux (Yann Leroy et/ou François Cluzel)

A. Les piliers de l'Économie Circulaire

Les séances 2 à 6 sont construites sur un format cours/TD d'application sur un cas industriel. Elles permettent de parcourir les 7 piliers de l'Économie Circulaire selon la définition de l'ADEME.

2. Fin de vie des produits (Yann Leroy et/ou François Cluzel)
3. Éco-conception, allongement de la durée d'usage et consommation responsable (Yann Leroy et/ou François Cluzel)
4. Approvisionnement durable (Yann Leroy et/ou François Cluzel)
5. Économie de la fonctionnalité et consommation responsable (Patrice Vuidel, ATEMIS)
6. Écologie Industrielle et Territoriale (Yann Leroy et/ou François Cluzel et/ou Andreas Hein)

B. Méthodes et outils de l'Écologie Industrielle

Les séances 7 à 11 (Yann Leroy et/ou François Cluzel) sont consacrées à l'enseignement (cours et TP sur ordinateur) du Material Flow Analysis (MFA), de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) et des indicateurs de Circularité et Soutenabilité. Les trois approches seront appliquées sur un cas d'étude en groupe.

12. Examen final d'une durée de 1h30

Déroulement, organisation du cours

Selon les séances, les modules alterneront entre cours magistraux, TD sur des cas industriels (sous forme de cas d'étude ou de serious game), TP sur des outils logiciels mobilisables pour le projet de la ST. Certaines séances pourront être organisées en mode classe inversée.

Organisation de l'évaluation



Contrôle final écrit (1h30, sur papier) sur les séances 1 à 6 (50% de la note)
+ évaluation en groupe des TDs 7 à 11 (50 % de la note)

Support de cours, bibliographie

- Adoue, C., 2007. Mettre en œuvre l'écologie industrielle. PUR, Lausanne.
- Buclet, N., Barles, S., 2011. Écologie 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

Équipe enseignante : François Cluzel, Yann Leroy, Flore Vallet, Andreas Hein, Michael Saidani, Yasmine Salehy (tous enseignants-chercheurs ou doctorants au Laboratoire Génie Industriel) + quelques intervenants extérieurs

Outils logiciels : logiciel d'Analyse de Cycle de Vie (OpenLCA) et logiciel de Material Flow Analysis (Stan)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Être sensibilisé aux grands enjeux environnementaux
- Connaître les 7 piliers de l'économie circulaire
- Maîtriser les principaux outils de l'écologie industrielle : Material Flow Analysis, Analyse de Cycle de Vie, indicateurs de circularité et soutenabilité
- Savoir modéliser et simuler un système industriel dans une perspective d'économie circulaire
- Savoir optimiser un système industriel dans une perspective d'économie circulaire

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
- C1.5 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
 - a. C2.1 Avoir approfondi un domaine ou une discipline relative aux sciences fondamentales ou aux sciences de l'ingénieur.
 - b. C2.5 Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior)
- C6 Être à l'aise et innovant dans le monde numérique
 - C6.2 Pratiquer la conception collaborative au travers d'outils de conception et de prototypage de produits (CAO, imprimante 3D...).
 - C6.5 Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.
- C9 Agir en professionnel responsable. Penser, agir de façon éthique.
 - a. C9.1 Comprendre et analyser les conséquences possibles de ses choix et de ses actes
 - b. C9.2 Percevoir le champ de responsabilité des structures auxquelles on contribue, en intégrant les dimensions environnementales, sociales et éthiques
 - c. C9.4 Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques



2SC7391 – Bioraffinerie : optimisation des flux et/ou des procédés associés

Responsables : Julien LEMAIRE, Yann LEROY, François CLUZEL

Département de rattachement : DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION, DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Projet de ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet Bioraffinerie a été proposé aux étudiants sur l'année 2019-2020 pour la première édition de la ST7. Un projet similaire ou proche sera proposé sur l'année 2020-2021 mais pourra être sujet à modification par rapport au descriptif ci-dessous, qui permet néanmoins de bien illustrer les problématiques d'ingénieur, les sujets, méthodes et outils qui seront abordés dans un tel projet.

Le projet « **Bioraffinerie : optimisation des flux et/ou des procédés associés** » est l'un des projets concluant la ST7 « Économie Circulaire et Systèmes Industriels ». Il vise à faire appliquer des outils des cours spécifiques ou communs pour mener à bien un projet d'Écologie Industrielle en modélisant les flux de matière et d'énergie, et en mesurant des impacts environnementaux. En particulier, les élèves pourront s'appuyer sur deux outils clés des cours spécifiques pour dimensionner et orienter des démarches d'économie circulaire et comprendre la nature multicritère des problématiques environnementales : le Material Flow Analysis, qui consiste à cartographier et quantifier les flux de matière et d'énergie transitant sur un site ; et l'Analyse de Cycle de Vie qui consiste à quantifier les impacts environnementaux d'un produit ou d'un système sur l'ensemble des étapes de son cycle de vie. Ces outils leur permettront de modéliser le système industriel dans leur globalité afin d'identifier puis déployer des pistes d'optimisation, par exemple en valorisant certains flux.



La bioraffinerie peut se définir comme un écosystème industriel permettant de valoriser la biomasse (coproduits ou déchets d'origine animale ou végétale) sous forme de divers produits à vocation alimentaire ou non (énergie, intermédiaires chimiques, matériaux, cosmétique, santé, ...). La France est, à l'échelle mondiale, très en pointe dans ce domaine, notamment grâce à la bioraffinerie de Bazancourt-Pomacle qui traite plus de 4 Mt de biomasse végétale par an. La bioraffinerie est l'un des outils industriels crédibles pour accompagner la transition écologique, à la fois pour répondre aux enjeux climatiques et sociétaux mais aussi pour relocaliser l'industrie, notamment au sein des bassins de production agricoles ou forestiers. Elle répond ainsi au triple objectif du développement durable (environnemental, social et économique).

Bien que ses matières premières soient en grande partie renouvelables, cela ne suffit pas à garantir le caractère durable de ses activités. L'usage sobre des ressources reste indispensable, tant pour des questions de réduction des consommations d'atomes et d'énergies que pour limiter la production et le coût de gestion des déchets. Cela nécessite une optimisation des procédés, de leur intégration dans le site et des flux au sein et entre les ateliers de production.

L'objectif de ce projet est, à l'échelle du site industriel, de comprendre l'organisation des procédés et des flux pour ensuite dégager les opportunités d'optimisation. Par une approche pluridisciplinaire (data sciences, modélisation-simulation-optimisation, génie des procédés, etc.), les élèves devront travailler en groupe pour identifier, développer et présenter une solution opérationnelle qui dégage de la valeur ajoutée pour l'industriel et contribue en même temps à la réduction de l'impact environnemental de la bioraffinerie.

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

ST7

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le projet sera étalé sur 6 à 8 semaines avec 16 créneaux « projet » de 3h au début, intercalés avec les créneaux des cours spécifiques et communs, puis de 6h lors des 2 dernières semaines.

Après la 1ère séance de présentation des 2 projets (SVE ou CVT), les élèves devront choisir un des projets et se constituer rapidement en groupe de 5. Avant la journée de visite de la bioraffinerie, programmée de préférence



lors de la 3^{ème} séance, les groupes devront bien prendre connaissance du sujet et des enjeux, et commencer un travail bibliographique.

La visite de la bioraffinerie (CEBB, ARD et Cristanol) et la présentation de cet écosystème par deux de ses acteurs : Jean Marie Chauvet (chef de projet de la plateforme BRI) et Christian Beloy (Responsable du département Environnement de l'entreprise ARD), leur permettra de définir un périmètre d'étude et des objectifs à atteindre. Les élèves devront se répartir les tâches et les rôles au sein des groupes mais également entre les groupes qui devront être complémentaires pour arriver à étudier cet écosystème complexe.

Tout au long des séances, les élèves devront donc travailler en groupe, en coordination avec les autres groupes, avec l'appui de l'équipe pédagogique, et la possibilité de solliciter le partenaire industriel lors de différents points d'étape.

La dernière séance sera consacrée aux présentations orales des travaux des différents groupes en présence du partenaire industriel. 2 semaines supplémentaires seront alors laissées aux élèves afin de rendre un compte-rendu ainsi que leurs livrables, en tenant compte des éventuelles remarques soulevées lors des soutenances.

Déroulement, organisation du cours

Apprentissage par projet

8 groupes de 5 élèves interdépendants avec un découpage pertinent de l'étude de la bioraffinerie

Travail en groupe avec appui des encadrants

Plusieurs échanges programmés avec le partenaire industriel

Utilisation de Teams pour faciliter les échanges et le travail de groupe

Organisation de l'évaluation

Les élèves sont évalués en fonction de la qualité de leur présentation orale et de leurs livrables, incluant un compte-rendu (note individuelle et collective). Leur note sera basée en particulier sur un document à rendre précisant les tâches et rôles spécifiques de chaque élève dans chaque groupe.

Présentation orale : 35%

Compte-rendu et livrables : 65%

Support de cours, bibliographie

Diaporamas et supports du cours de la ST7

Diapositives des différentes présentations

Bioraffinerie 2030 : Une question d'avenir, Pierre-Alain SCHIEB, Honorine LESCIUEUX-KATIR, Maryline THÉNOT et Barbara CLÉMENT-LAROSIÈRE, L'Harmattan, 2014.

Rapports et livrables des années précédentes



Documents et données fournies par l'entreprise ARD

Moyens

Équipe enseignante : Julien LEMAIRE (LGPM – Chaire de biotechnologie), Yann LEROY (LGI)

Taille de l'effectif : 40 élèves maximum

Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : 40 licences (logiciel ACV (OpenLCA) et Logiciel MFA (Stan))

Salles informatiques (40 postes)

1 journée de visite sur la bioraffinerie de Bazancourt-Pomacle

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- 1) Être sensibilisé aux grands enjeux environnementaux
- 2) Maîtriser les principaux outils de l'écologie industrielle : MFA et ACV
- 3) Savoir modéliser et simuler un système industriel dans une perspective d'économie circulaire
- 4) Savoir optimiser un système industriel dans une perspective d'économie circulaire
- 5) Savoir s'organiser en équipes interdépendantes et gérer un projet
- 6) Savoir définir un périmètre d'étude et des objectifs précis pour répondre aux besoins industriels
- 7) Savoir réduire de façon pertinente la complexité d'un problème
- 8) Savoir faire face à l'incertitude ou au manque de données
- 9) Avoir un regard critique sur les données et les modèles

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1, jalon 1 : Savoir faire la liste des paramètres influents sur le système étudié et des éléments avec lesquels il est en relation. Identifier ceux qui sont importants vis-à-vis du problème posé

C1.1, jalon 2 : Savoir conduire une démarche de questionnement pour aborder les différents aspects du problème et mettre en évidence ses interactions avec l'extérieur, en s'appuyant sur une culture scientifique et économique

C1.2, jalon 1 : Savoir utiliser un modèle présenté en cours de manière pertinente (modèle décrivant un phénomène, sans couplages). Faire le choix d'hypothèses simplificatrices adaptées au problème étudié.

C1.2, jalon 2 : Savoir choisir le modèle adapté pour un problème donné, choisir l'échelle de modélisation

C1.2, jalon 3 : Savoir choisir, enrichir des modèles décrivant des phénomènes impliquant plusieurs échelles ou des couplages

C1.3, jalon 1B : Résoudre un problème avec une pratique de l'approximation

C1.3, jalon 2B : Connaître les limitations des simulations numériques et ce



qu'on peut en attendre, savoir critiquer des résultats de simulations numériques

C1.5, jalon 2 : Savoir mobiliser ses connaissances afin de pouvoir résoudre un problème ingénieur (Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire)

C2.1 : Savoir répondre à une problématique d'ingénieur avec les outils adéquats (c'est à dire avec des méthodes scientifiques d'un niveau suffisamment élevé, correspondant à l'état de l'art – niveau ingénieur)

C2.5 : Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior)

C3.1, jalon 1 : Être proactif, prendre des initiatives, s'impliquer - Maintenir le contact avec les acteurs concernés et vérifier l'alignement avec les parties prenantes.

C3.1, jalon 2 : Être force de proposition vis-à-vis de la demande formulée en anticipant le cas échéant les difficultés

C3.3, jalon 1 : Entreprendre des projets ambitieux à fort impact et quantifier cet impact - se comporter de façon professionnelle (ponctualité, respect des intervenants...), avoir une exigence personnelle.

C6.1, jalon 1 : Utiliser des outils de création de contenus (textes, feuilles de calcul, vidéos, mindmap, storyboard, pages web, cartes, ...), Utiliser des outils de travail collaboratifs, Installer les logiciels nécessaires à son travail

C6.2, jalon 1 : Pratiquer la conception collaborative au travers d'outils de conception et de prototypage de produits (CAO, imprimante 3D...) - Avoir vécu une expérience collaborative de conception d'un objet matériel ou logiciel et si possible de prototypage (en fonction du contexte)

C6.3, jalon 1 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel

C6.5, jalon 1 : Être capable de mettre en œuvre une méthode de traitement de données (récupération, nettoyage, transformation, analyse, interprétation, visualisation)

C6.5, jalon 2 : Savoir choisir une méthode de traitement de données pour des données hétérogènes (format, qualité, producteur) en grande quantité (c'est-à-dire ne pouvant pas être traitées par un tableur)

C7.1, jalon 2 : 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

C8.1, jalons 1 à 3 : Travailler en équipe/en collaboration - Avoir une écoute active de ses coéquipiers - Savoir se positionner dans une équipe, identifier ce qu'on peut apporter à un collectif - Chercher à associer chaque membre de l'équipe en fonction de ses forces - 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

C8.4, jalons 1 et 2 : Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation

C9.1, jalon 1 : Comprendre et analyser les conséquences possibles de ses choix et de ses actes - Situer son action dans une organisation et dans la temporalité de l'activité

C9.2, jalons 1 à 3 : Percevoir le champ de responsabilité des structures auxquelles on contribue, en intégrant les dimensions environnementales, sociales et éthiques

C9.4, jalon 1 : Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques



2SC7393 – Chantiers du Grand Paris

Responsables : Yann LEROY, François CLUZEL, Frédérique DELMAS-
JAUBERT

Département de rattachement : DOMINANTE - CONSTRUCTION VILLE
TRANSPORTS, DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet Grand Paris a été proposé aux étudiants sur l'année 2019-2020 pour la première édition de la ST7. Un projet similaire ou proche sera proposé sur l'année 2020-2021 mais pourra être sujet à modification par rapport au descriptif ci-dessous, qui permet néanmoins de bien illustrer les problématiques d'ingénieur, les sujets, méthodes et outils qui seront abordés dans un tel projet.

Le projet « **Chantiers du Grand Paris** » est l'un des projets concluant la ST7 « Économie Circulaire et Systèmes Industriels ». Il vise à faire appliquer des outils des cours spécifiques ou communs pour mener à bien un projet d'Économie Circulaire en modélisant les flux de matière et d'énergie, et en mesurant des impacts environnementaux. En particulier, les élèves pourront s'appuyer sur deux outils clés des cours spécifiques pour dimensionner et orienter des démarches d'économie circulaire et comprendre la nature multicritère des problématiques environnementales : le Material Flow Analysis, qui consiste à cartographier et quantifier les flux de matière et d'énergie transitant sur un site ; et l'Analyse de Cycle de Vie qui consiste à quantifier les impacts environnementaux d'un produit ou d'un système sur l'ensemble des étapes de son cycle de vie. Ces outils leur permettront de modéliser le système industriel dans leur globalité afin d'identifier puis déployer des pistes d'optimisation, par exemple en valorisant certains flux.



« 200 km de lignes automatiques, soit autant que le métro actuel, et 68 gares : le Grand Paris Express est le plus grand projet urbain en Europe ! Bien plus qu'un réseau de transport, il ouvre de nouveaux horizons et offre de nombreuses opportunités. Avec lui, la métropole devient plus grande et plus unie. 90% du réseau du futur Grand Paris Express sera souterrain, ce qui nécessite d'excaver d'énormes volumes de terres, dans le cadre de chantiers gigantesques mobilisant au total une vingtaine de tunneliers. Les déchets du BTP en Île de France représentent environ 30 millions de tonnes par an. Les chantiers du Grand Paris Express vont représenter un surcroît de déchets de 10 à 20% par an. La Société du Grand Paris, en charge de la construction du Grand Paris Express, s'engage fortement sur la traçabilité, le mode d'évacuation (éviter le routier au maximum) et la valorisation des terres excavées. Les modes de valorisation évoqués sont notamment la valorisation "matière" : béton, sous-couche routière, remblais, digues, cimenterie, plâtre ; mais aussi la valorisation "volume" : réaménagement ou comblement de carrières, parcs urbains... La SGP est également à l'écoute de solutions innovantes, comme la création de terre fertiles, la transformation en matériaux de construction, etc.

Ce projet vise à faire travailler les étudiants sur des scénarios technico-économiques de valorisation des déblais du Grand Paris Express, dans une perspective d'économie circulaire. Dans une première phase du projet, en partenariat avec l'entreprise Spie batignolles valérian, les étudiants monteront en compétences et caractériseront les gisements de terres disponibles issues des chantiers du Grand Paris Express. Dans une seconde phase, les étudiants travailleront sur un des deux sujets de valorisation des terres suivants :

- Valorisation des terres excavées pour les remblais de la future ligne CDG Express qui desservira l'aéroport Roissy-Charles de Gaulle à l'horizon 2025, sujet proposé par Spie batignolles valérian ;
- Valorisation des terres excavées comme matériaux innovants de construction en terre crue, sujet proposé par le projet Cycle Terre et CRAterre.

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

ST7

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le projet sera étalé sur 6 à 8 semaines avec 16 créneaux « projet » de 3h au début, intercalés avec les créneaux des cours spécifiques et communs, puis de 6h lors des 2 dernières semaines (4 jours pleins).



Après la 1ère séance de présentation des 2 projets (SVE ou CVT), les élèves devront choisir un des projets et se constituer rapidement en groupes de 10 à 12. Lors de la seconde séances, le ou les partenaire(s) industriel(s) viendront présenter en détail le sujet. Les étudiants signeront un accord de confidentialité et travailleront en lien étroit avec leur client tout au long du projet. Le client transmettra les données nécessaires à leur avancement, pourra faire des interventions spécifiques ou mettre les étudiants en relation avec différents experts. Les étudiants pourront également se être amenés à se déplacer sur le terrain, au moins pour une demi-journée de visite au début du projet.

Les étudiants appliqueront le management agile de projet, avec l'aide d'un enseignant en gestion de projet. Tout au long des séances, les élèves devront donc travailler en groupe, éventuellement en coordination avec les autres groupes, avec l'appui de l'équipe pédagogique, et la possibilité de solliciter le ou les partenaire(s) industriel(s) lors de différents points d'étape. Au milieu du projet (séance 8/16), les étudiants feront une présentation intermédiaire de leurs travaux qui permettra aux enseignants et au client de faire un retour aux étudiants, les conseiller, identifier les données manquantes, et éventuellement réorienter les travaux.

La dernière séance sera consacrée aux présentations orales des travaux des différents groupes en présence du partenaire industriel. 2 semaines supplémentaires seront alors laissées aux élèves afin de rendre un compte-rendu ainsi que leurs livrables, en tenant compte des éventuelles remarques soulevées lors des soutenances.

Déroulement, organisation du cours

Apprentissage par projet

4 groupes de 10 à 12 élèves

Travail en groupe avec appui des encadrants, en mode agile

Plusieurs échanges programmés avec le partenaire industriel

Utilisation de Teams pour faciliter les échanges et le travail de groupe

Organisation de l'évaluation

Les élèves sont évalués en fonction de la qualité de leur présentation orale et de leurs livrables (rapport intermédiaire, rapport final, présentations, et l'ensemble des fichiers justifiant de la démarche et des résultats). Leur note sera basée en particulier sur un document à rendre précisant les tâches et rôles spécifiques de chaque élève dans chaque groupe.

Support de cours, bibliographie

Diaporamas et supports du cours de la ST7

Diapositives des différentes présentations

Documents et données fournies par les industriels partenaires



Moyens

Équipe enseignante : Frédérique DELMAS-JAUBERT (Ingénieur, Architecte, enseignante en Aménagement Durable à CentraleSupélec), François Cluzel (LGI), Franck Marle (LGI)

Partenaire(s) industriel(s) : les étudiants seront en interaction directe avec un ou plusieurs partenaires industriels qui joueront le rôle de client.

Taille de l'effectif : 50 élèves maximum

Outils logiciels : logiciel ACV (OpenLCA) et Logiciel MFA (Stan)

Au moins 1/2 journée de visite sur site

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- 1) Être sensibilisé aux grands enjeux environnementaux
- 2) Maîtriser les principaux outils de l'écologie industrielle : MFA et ACV
- 3) Savoir modéliser et simuler un système industriel dans une perspective d'économie circulaire
- 4) Savoir optimiser un système industriel dans une perspective d'économie circulaire
- 5) Savoir s'organiser en équipes interdépendantes et gérer un projet
- 6) Savoir définir un périmètre d'étude et des objectifs précis pour répondre aux besoins industriels
- 7) Savoir réduire de façon pertinente la complexité d'un problème
- 8) Savoir faire face à l'incertitude ou au manque de données
- 9) Avoir un regard critique sur les données et les modèles

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1, jalon 1 : Savoir faire la liste des paramètres influents sur le système étudié et des éléments avec lesquels il est en relation. Identifier ceux qui sont importants vis-à-vis du problème posé

C1.1, jalon 2 : Savoir conduire une démarche de questionnement pour aborder les différents aspects du problème et mettre en évidence ses interactions avec l'extérieur, en s'appuyant sur une culture scientifique et économique

C1.2, jalon 1 : Savoir utiliser un modèle présenté en cours de manière pertinente (modèle décrivant un phénomène, sans couplages). Faire le choix d'hypothèses simplificatrices adaptées au problème étudié.

C1.2, jalon 2 : Savoir choisir le modèle adapté pour un problème donné, choisir l'échelle de modélisation

C1.2, jalon 3 : Savoir choisir, enrichir des modèles décrivant des phénomènes impliquant plusieurs échelles ou des couplages

C1.3, jalon 1B : Résoudre un problème avec une pratique de l'approximation

C1.3, jalon 2B : Connaître les limitations des simulations numériques et ce qu'on peut en attendre, savoir critiquer des résultats de simulations numériques

C1.5, jalon 2 : Savoir mobiliser ses connaissances afin de pouvoir résoudre



un problème ingénieur (Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire)

C2.1 : Savoir répondre à une problématique d'ingénieur avec les outils adéquats (c'est à dire avec des méthodes scientifiques d'un niveau suffisamment élevé, correspondant à l'état de l'art – niveau ingénieur)

C2.5 : Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior)

C3.1, jalon 1 : Être proactif, prendre des initiatives, s'impliquer - Maintenir le contact avec les acteurs concernés et vérifier l'alignement avec les parties prenantes.

C3.1, jalon 2 : Être force de proposition vis-à-vis de la demande formulée en anticipant le cas échéant les difficultés

C3.3, jalon 1 : Entreprendre des projets ambitieux à fort impact et quantifier cet impact - se comporter de façon professionnelle (ponctualité, respect des intervenants...), avoir une exigence personnelle.

C6.1, jalon 1 : Utiliser des outils de création de contenus (textes, feuilles de calcul, vidéos, mindmap, storyboard, pages web, cartes, ...), Utiliser des outils de travail collaboratifs, Installer les logiciels nécessaires à son travail

C6.2, jalon 1 : Pratiquer la conception collaborative au travers d'outils de conception et de prototypage de produits (CAO, imprimante 3D...) - Avoir vécu une expérience collaborative de conception d'un objet matériel ou logiciel et si possible de prototypage (en fonction du contexte)

C6.3, jalon 1 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel

C6.5, jalon 1 : Être capable de mettre en œuvre une méthode de traitement de données (récupération, nettoyage, transformation, analyse, interprétation, visualisation)

C6.5, jalon 2 : Savoir choisir une méthode de traitement de données pour des données hétérogènes (format, qualité, producteur) en grande quantité (c'est-à-dire ne pouvant pas être traitées par un tableur)

C7.1, jalon 2 : 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

C8.1, jalons 1 à 3 : Travailler en équipe/en collaboration - Avoir une écoute active de ses coéquipiers - Savoir se positionner dans une équipe, identifier ce qu'on peut apporter à un collectif - Chercher à associer chaque membre de l'équipe en fonction de ses forces - 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

C8.4, jalons 1 et 2 : Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation

C9.1, jalon 1 : Comprendre et analyser les conséquences possibles de ses choix et de ses actes - Situer son action dans une organisation et dans la temporalité de l'activité

C9.2, jalons 1 à 3 : Percevoir le champ de responsabilité des structures auxquelles on contribue, en intégrant les dimensions environnementales,



sociales et éthiques

C9.4, jalon 1 : Faire preuve de rigueur et d'esprit critique dans l'approche des problèmes sous tous les angles, scientifiques, humains et économiques



ST7 – 74 – OPTIMISATION DE SYSTEMES DE TRANSPORT PASSAGERS

Dominante : GSI (Grands Systèmes en Interaction), Info&Num (Informatique & Numérique)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Les systèmes de transport sont aujourd'hui essentiels à l'activité de la société car ils fournissent des services de mobilité cruciaux tant du point de vue des déplacements personnels que professionnels. La massification des déplacements et la diversité des services de mobilité, les nouveaux véhicules autonomes, rendent ses systèmes complexes à dimensionner, concevoir et opérer.

L'optimisation de tels systèmes est donc tout à fait essentielle. Pour une compagnie aérienne, il s'agit, en particulier, d'être capable :

de tirer parti des informations disponibles pour prévoir la demande sur des « origines destinations » et définir les planning de vols qui couvrent au mieux la demande,

de tarifier au mieux les vols pour assurer un taux de remplissage des avions et assurer un revenu à la compagnie (revenue management),

de dimensionner les services (enregistrement, bagages, ...) aux hubs permettant d'opérer les plans de vols,

de prévoir les plannings des personnels navigants respectant la législation et les préférences des équipages,

d'affecter les avions aux vols afin de minimiser les couts, d'être robuste à des retards éventuels.

Au-delà de la capacité à opérer efficacement les opérations, l'ingénieur a aussi pour rôle d'éclairer des décisions stratégiques par des modèles quantitatifs évaluant différents scénarios dans lesquels une compagnie pourrait choisir de s'engager.

Prérequis nécessaires

Cours de SIP et Algorithmique et Complexité

Modules contexte et enjeux : ces modules comprennent une conférence introductive de la thématique, des interventions portant sur les verrous



technologiques et scientifiques de l'optimisation des transports passagers, ainsi qu'une présentation des projets associés.

Cours spécifique (60 HEE) : Aide à la décision / Recherche opérationnelle (AD/RO)

- **Brève description** : L'optimisation et la prise de décision est une activité intrinsèque au métier d'ingénieur/manager. Pour appréhender les problèmes de décision complexes auxquels ils seront confrontés, les ingénieurs et managers de demain doivent disposer des concepts et méthodes d'optimisation permettant de formaliser un problème de décision. Le cours vise à introduire un certain nombre de modèles classiques permettant de représenter et résoudre des problèmes de décision dans différents contextes. Il s'agit de présenter des modélisations de différents problèmes concrets de décision.

Projet : Le projet vise à mettre les étudiants en situation réelle de résolution d'un problème de décision impliquant la formulation d'un modèle, le choix d'une/de méthode(s) de résolution, l'implémentation d'une solution permettant une résolution sur des jeux de données réelles, la validation de la solution par des tests numériques. L'objectif du projet à travers cette activité est de faire progresser les étudiants dans la compréhension des enjeux scientifiques, techniques, mais aussi humains et économiques qui sous-tendent la mise en place d'un projet de recherche opérationnelle et d'aide à la décision dans une organisation.

Projet n°1 : Optimisation de systèmes de transport à la demande

- **Partenaire associé** : Yuso
- **Lieu** : Paris-Saclay
- **Brève description** :
- **Brève description** : Le problème considéré consiste à concevoir des itinéraires et des horaires de véhicules pour n utilisateurs qui spécifient des demandes de prise en charge et de dépose entre les origines et les destinations. L'objectif est de planifier un ensemble de parcours de véhicules à coût minimum capable d'accueillir le plus d'utilisateurs possible, sous un ensemble de contraintes. Les données concernent un système de navette qui véhiculent des clients en banlieue vers des gares RER.

Projet n°2 : Optimisation des opérations d'une compagnie aérienne

- **Partenaire associé** : Air France - Groupe Recherche Opérationnelle / Intelligence Artificielle



- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : Il s'agit de traiter un des multiples problèmes de gestions des opérations d'une compagnie aérienne : par exemple affectation des vols à des portes d'embarquement, placement des passagers dans un avion, affectation des vols prévu à une flotte d'avions, ...

Projet n°3 : Optimisation de systèmes de transport à la demande

- **Partenaire associé** : LFV
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : dans le secteur du contrôle aérien, il s'agit d'optimiser les trajectoires des avions à l'approche de l'aéroport de sorte de minimiser l'utilisation du carburant, de limiter l'impact en terme de bruit et de limiter le couloir aérien utilisé



2SC7410 – Aide à la Décision : Modèles, algorithmes et implémentation

Responsables : Vincent MOUSSEAU

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

La prise de décision est une activité intrinsèque au métier d'ingénieur et conduit très souvent optimiser un/plusieurs aspects d'un système. Mais ces décisions s'appuient aussi sur des jugements/préférences d'un décideur/utilisateur. Les préférences jouent donc un rôle clé dans de nombreuses applications de l'informatique et des technologies de l'information modernes. C'est le cas du marketing computationnel, des systèmes de recommandations, des interfaces utilisateurs adaptatives, ... Les décisions concernées peuvent être de nature stratégiques, tactiques ou opérationnelles, dans des contextes complexes, concurrentiels, incertains, faire intervenir un seul critère à optimiser, ou trouver un compromis entre des critères conflictuels... Pour appréhender les problèmes de décision complexes auxquels ils seront confrontés, les ingénieurs doivent disposer des concepts et méthodes et algorithmes permettant de formaliser un problème de décision.

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

ST7

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction à l'aide à la décision, concepts de base,



- Modélisations de problèmes de décision utilisant la programmation mathématique. Présentation d'outils de modélisation et de résolution (modeleurs et solveurs),
- Implémentation TP Julia JUMP,
- Décision en présence de risque, décision dans l'incertain, théorie de l'utilité, arbres de décision,
- Décision multicritère et modélisation des préférences, introduction à quelques modèles d'agrégation simples,
- Analyse expérimentale du comportement décisionnel,
- Apprentissage de modèle de préférences à partir de données, apprentissage incrémental,
- Métaheuristiques pour les problèmes combinatoires,
- Optimisation multiobjectif,

Déroulement, organisation du cours

Cours : 13,5h

TD : 10,5h

TP : 9h

Cette distribution C/TD/TP peut évoluer à la marge

Organisation de l'évaluation

examen (1h30) : 70%TP : 30%

Support de cours, bibliographie

Les slides de cours et feuilles de TDs seront fournis

Les TPs seront effectués sur un notebook Jupyter

Bibliographie :

D. Bouyssou, T. Marchant, M. Pirlot, P. Perny, A. Tsoukiàs, P. Vincke "Evaluation and Decision models: A critical perspective", Kluwer, 2000.

W. Cooper, L. Seiford, and K. Tone, "Introduction to Data Envelopment Analysis and its use", Springer, 2006.

C. Guéret, C. Prins, M. Sevaux. "Programmation linéaire, 65 problèmes d'optimisation modélisés et résolus avec Visual Xpress", Eyrolles, 2003

C. Kwon, "Julia programming for operations research", 2019, second edition, <http://www.chkwon.net/julia>

P. Vallin, D. Vanderpooten, "Aide à la décision, une approche par les cas", 2e édition, Ellipses. 2002.

H.P. Williams. "Model building in mathematical programming". J. Wiley, New York, 2013. 5ème édition,

Moyens

équipe enseignante (V. Mousseau + chargés de TD/TP à valider)

logiciels : jupyter hub + julia + jump + CPLEX + librairies de métaheuristiques

TD à ~30 étudiants



TP à ~20 étudiants

Wifi ABSOLUMENT INDISPENSABLE en salle de TP et TD

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Ce cours vise à développer les aptitudes des étudiants à élaborer et mettre en oeuvre des modèles et algorithmes pertinents face à une situation de décision.

À l'issue du cours, les étudiants maîtriseront quelques méthodes/modélisation d'aide à la décision. Ils sauront manipuler les modèles, les utiliser de façon opérationnelle et les implémenter efficacement. Ils auront aussi les éléments nécessaires pour prendre du recul et avoir un sens critique par rapport à ces méthodes, et ainsi en distinguer leurs performances et leurs limites d'application.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 (toutes les sous compétences) : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

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

C6.3 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel

C6.4 : Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle Nouvelle compétence

C6.5 : Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.



2SC7491 – Optimisation des opérations d'une compagnie aérienne

Responsables : Asma GHAFARI

Département de rattachement : DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION, DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le travail qui sera fait par groupe de 4 à 5 élèves consiste à examiner une problématique d'optimisation d'une ou plusieurs ressources nécessaires aux opérations d'exploitation de la compagnie Air France. La problématique sera exposée et détaillée par des personnes du service Recherche Opérationnelle de Air France. L'objectif sera de poser la problématique sous forme d'un modèle mathématique et d'élaborer un programme informatique pour traduire le modèle et le résoudre pour optimiser la décision à préconiser aux corps de métiers concernés. Des représentants des décideurs d'Air France impliqués par la problématique seront présents tout au long du projet pour éclairer les enjeux de la situation et expliquer les attentes des parties prenantes.

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

ST7

Prérequis

L'étudiant doit avoir une connaissance générale des modèles d'optimisation combinatoire, en particulier la programmation mathématique, ainsi qu'une aisance dans la manipulation d'au moins un langage de programmation.

Déroulement, organisation du cours

Pédagogie de projet avec accompagnement par des professeurs et des



professionnels des métiers concernés par la problématique et du métier de la recherche opérationnelle.

Organisation de l'évaluation

Le projet sera évalué à l'occasion d'une soutenance.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Apprendre à :

sur les enjeux de l'exploitation d'une compagnie aérienne modéliser une problématique d'optimisation réelle et complexe par la programmation mathématique traduire un modèle mathématique en un programme informatique avec des outils d'optimisation spécifiques

Choisir une méthode de résolution adaptée à un problème d'optimisation donné

Traduire et utiliser des méthodes théoriques d'optimisation dans un langage informatique

Interagir avec des experts en métiers de l'aérien et de la recherche opérationnelle



2SC7492 – Optimisation des trajectoires des avions à l'approche d'un aéroport

Responsables : Oualid JOUINI

Département de rattachement : DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION, DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

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

ST7

Prérequis

Pas de prérequis.



2SC7493 – Organisation de systèmes de transport à la demande

Responsables : Jakob PUCHINGER

Département de rattachement : DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE, DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Karhoo est une startup qui développe une solution SaaS de dispatch et d'optimisation en temps réel, qui s'adresse aux flottes de transport à la demande : taxis/VTC, logistique du dernier kilomètre et secteur du bus à la demande. Nous comptons actuellement une cinquantaine de clients dans le monde, pour un volume total de plus de 2 millions de trajets, et nous sommes soutenus depuis août 2017 par le groupe Renault-Nissan via RCI Bank. Notre intégration au plus grand constructeur automobile mondial a pour but à terme de nous faire travailler sur la gestion des flottes de voitures autonomes, révolution industrielle majeure de la prochaine décennie. Des expérimentations sont déjà en cours comme sur le plateau de Saclay (cf. article)

Introduction

Le projet présenté ici est inspiré de problématiques réelles que nous avons dans le secteur du bus à la demande. Nous exploitons, avec Ratp Dev, un service de transport collectif à la demande dans le Vexin autour de Mantes-la-Jolie (<https://www.karhoo.com/fr/pool-transport-a-la-demande/>). Cette solution permet de répondre aux besoins des habitants de certaines communes rurales en assurant la liaison vers des points de destination les plus courants de la vie quotidienne. Pour le prix d'un ticket de bus, ils peuvent réserver un trajet à bord du véhicule entre 2 stations proches de leurs lieux de départ et d'arrivée. Certains trajets sont mutualisés dans le



même véhicule afin d'offrir plus de disponibilité et de réduire les coûts de transport pour l'opérateur.

Le Problème de Transport À la Demande (*DARP - Dial-a-Ride Problem*) est une extension du problème de tournées de véhicules qui consiste à déterminer les tournées d'une flotte de véhicules afin de livrer une liste de clients. Il étend ce problème par le fait de considérer des requêtes de transport (prises et déposes), par l'ajout de fenêtres de temps sur ces prises et ces déposes, et par l'ajout d'un temps maximal de transport entre les prises et les déposes. Cette dernière contrainte s'explique par le fait que, contrairement au problème de collecte et livraison (*PDP - Pickup and Delivery Problem*) par exemple, les requêtes concernent le transport de personnes et non d'objets. Cette contrainte vise donc à maintenir une qualité de service pour les clients.

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

ST7

Support de cours, bibliographie

- J.-F. Cordeau and G. Laporte. The dial-a-ride problem: models and algorithms. *Annals of operations research* 153:29-46, 2007. [cordeau2007.pdf](#)
- S.C. Ho, W.Y. Szeto, Y.-H. Kuo, J.M.Y. Leung, M. Petering, T.W.H. Tou. A survey of dial-a-ride problems: Literature review and recent developments. *Transportation Research Part B*, 111:395-421, 2018 [ho2018.pdf](#)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Donner une modélisation PLNE du problème.
- Trouver à l'aide d'un solveur (CPLEX ou Gurobi par exemple), une solution optimale pour le petit jeu de données `day_data`.
- Construire une métaheuristique ou heuristique calculant une bonne solution réalisable dans des temps très courts (quelques secondes) pour les 2 jeux de données.
- La qualité des solutions données par votre heuristique sera évaluée sur un 3e jeu de données comparable au gros jeu de données `week_data`, qui vous sera fourni au moment de l'évaluation finale. Veillez donc à être en mesure de lancer vos heuristiques sur d'autres données !



ST7 – 75 – OPTIMISATION ET GESTION DE FLUX DE SYSTEMES COMPLEXES

Dominante : GSI (Grands Systèmes en Interaction) et VSE (Vivant-Santé, Environnement)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

La complexité croissante des produits et services, la mondialisation des opérations et les exigences de plus en plus grandes des clients placent la problématique de pilotage des flux au cœur des préoccupations des entreprises industrielles et de services.

La compétitivité de ces entreprises est fortement liée à leur capacité à s'organiser pour produire et distribuer des produits et des services répondant aux attentes du client tout en assurant la pérennité de l'entreprise dans ses dimensions économiques, sociales et environnementales.

Ceci amène ces entreprises à développer des solutions innovantes :

- dans la définition des services proposés aux clients (délai, personnalisation, lieu de mise à disposition,...)
- dans la meilleure manière de dimensionner et utiliser leurs ressources (ressources matérielles, infrastructures, ressources humaines, systèmes d'information,...)

L'un des enjeux majeurs pour répondre à ces objectifs porte sur l'optimisation du pilotage des flux, allant des fournisseurs aux clients finaux.

Ce sujet aborde ces thèmes en présentant les approches, modèles qualitatifs et quantitatifs issus du Génie Industriels et la Recherche Opérationnelle.

Prérequis nécessaires

Aucun

Modules contexte et enjeux : ces modules comprennent :

- une conférence introductive sur la mondialisation des opérations et les enjeux associés de pilotage des flux
- une table ronde multisectorielle illustrant les problématiques de pilotage de flux, les mutations technologiques et organisationnelles, les défis pour les futurs ingénieurs



- la visite d'au moins un site industriel générique, défini en liaison avec des partenaires de ST
- des interventions des partenaires pour introduire les projets

Cours spécifique (60 HEE) : Optimisation et gestion de flux

- **Brève description** : Flux de produits dans une usine, flux de colis dans un centre postal, flux de patients dans un hôpital, flux de clients dans un supermarché, flux d'étudiants dans une filière d'enseignement : les problématiques liées à la compréhension et à la gestion des flux sont présentes dans tous les secteurs d'activité. Plus qu'une problématique spécifique, la gestion des flux est une approche des problèmes industriels adaptable dans de nombreux secteurs.

Savoir comprendre et maîtriser les flux est un enjeu majeur de performance industrielle. Ce cours introduit les problématiques liées à la gestion de flux industriels et une boîte à outils pour s'attaquer à ces problèmes.

Projet n°1 : Gestion des flux dans la supply chain des bouteilles de gaz

- **Partenaire associé** : Air Liquide
- **Lieu** : Paris-Saclay
- **Brève description** : le projet a comme objectifs de découvrir le monde de la supply chain, les acteurs, les objectifs et les contraintes associées, découvrir les méthodes, approches et outils d'ingénierie et de gestion de la supply chain. Pour cela, le projet s'articulera autour des thèmes suivants :
 - Clarifier les indicateurs de performance pertinents, les coûts et les enjeux liés au pilotage de flux dans une supply chain
 - Utiliser une méthode d'optimisation de flux (de matières premières, de produits, etc.) satisfaisant les performances identifiées et respectant les contraintes (de délais, de coût des opérations, de contraintes réglementaires, préférences ressources humaines, etc.)
 - Prendre en compte les systèmes d'information et de données disponibles et évaluer leurs impacts sur l'optimisation des flux



2SC7510 – Optimisation et gestion de flux

Responsables : Guillaume LAMÉ

Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Flux de produits dans une usine, flux de colis dans un centre postal, flux de patients dans un hôpital, flux de clients dans un supermarché, flux d'étudiants dans une filière d'enseignement : les problématiques liées à la compréhension et à la gestion des flux sont présentes dans tous les secteurs d'activité. Plus qu'une problématique spécifique, la gestion des flux est une approche des problèmes industriels adaptable dans de nombreux secteurs.

Savoir comprendre et maîtriser les flux est un enjeu majeur de performance industrielle. Ce cours introduit les problématiques liées à la gestion de flux industriels et des outils pour s'attaquer à ces problèmes.

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

ST7

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Principes de la simulation à événements discrets de systèmes de flux.

Utilisation du logiciel Simul8.

Optimisation de systèmes de flux.

Utilisation du logiciel OptQuest couplé à Simul8 pour la simulation-optimisation.

Perspectives sur l'implémentation de ces techniques en industrie.

Cas d'études en secteur manufacturier et de services.



Déroulement, organisation du cours

Le module alternera séances de cours, en présentiel ou sous forme de vidéos et lectures à préparer individuellement, et cas d'applications et exercices.

Organisation de l'évaluation

Contrôle écrit de 90 minutes.

Travail intermédiaire à rendre.

Note composée à 50% du contrôle final et 50% du travail intermédiaire.

Support de cours, bibliographie

Sujets de TDs distribués en cours, notes de cours.

Moyens

Logiciel de simulation à événements discrets Simul8, et son extension OptQuest pour la simulation-optimisation.

Le logiciel Simul8 n'existe qu'en version Windows. Les étudiants munis de portables Mac OS devront installer une machine virtuelle, ce qui peut ralentir la vitesse d'exécution du logiciel et compromettre son ergonomie générale.

Cours, vidéos, exercices et cas d'application industriels.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de mobiliser des techniques de simulation et d'optimisation pour comprendre et améliorer la performance d'un système de flux

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Maîtrise d'un formalisme de modélisation de systèmes industriels, la simulation à événements discrets, et d'un logiciel l'implémentant, Simul8.



2SC7591 – Gestion des flux dans la supply chain des bouteilles de gaz

Responsables : Guillaume LAMÉ, Loïc PINEAU

Département de rattachement : DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ,
ENVIRONNEMENT, DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Projet de ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce projet permettra, sur un cas industriel proposé par un partenaire, la mise en application des outils vus dans le cours spécifique, et en particulier de la simulation à événements discrets des systèmes de flux industriels.

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

ST7

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

En parallèle du cours spécifique de ST7, les étudiants appliqueront progressivement les notions abordées en cours sur un problème réel qu'ils aborderont dans toute sa complexité.

Des rappels de cours seront fournis si nécessaire.

Déroulement, organisation du cours

Cas d'étude industriel.

Organisation de l'évaluation

Projet en groupe.



Support de cours, bibliographie

Supports du cours spécifique de ST7.
Données du cas d'étude industriel.

Moyens

Cas d'étude industriel, avec données et présentation du contexte et de la problématique, supervisé par un tuteur.

Logiciel de simulation à événements discrets Simul8, et son extension OptQuest pour la simulation-optimisation.

Le logiciel Simul8 n'existe qu'en version Windows. Les étudiants munis de portables Mac OS devront installer une machine virtuelle, ce qui peut ralentir la vitesse d'exécution du logiciel et compromettre son ergonomie générale.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Implémentation de la simulation à événements discrets.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Implémentation de la simulation à événements discrets sur un cas réel.



ST7 – 76 – SIMULATION A HAUTE PERFORMANCE POUR LA REDUCTION D'EMPREINTES

Dominante : MDS (Mathématiques, Data Science) et INFONUM

Langue d'enseignement : Anglais

Campus où le cours est proposé : Gif

1. Description générale de la séquence thématique

La simulation est aujourd'hui au cœur de nombreuses démarches de conception et d'optimisation pour diminuer l'empreinte ou l'impact des produits créés : réduction du risque de destruction en cas de catastrophe naturelle, réduction d'une traînée d'avion pour minimiser le carburant consommé et le CO₂ émis, réduction du temps d'un calcul à large échelle et des ressources exploitées (les simulations elles-mêmes finissent par consommer beaucoup d'énergie sur beaucoup de processeurs), ...

Mais il s'agit souvent de simulations de *systèmes complexes*, qui demandent à la fois des compétences en *simulations à haute performance* et à *large échelle*, et en *méthodes d'optimisation* pour limiter le champ des investigations et les heures de calculs nécessaires. De plus, chaque étude doit encore se faire en recherchant un compromis entre la qualité de la solution trouvée et le nombre d'heures de calcul utilisées, car les heures de calculs coûtent cher (notamment sur des clusters de calculs performants ou à grande échelle dans des *clouds*). Il est donc indispensable d'apprendre à *gérer un quota d'heures de calcul*.

Cette ST comprend ainsi des mathématiques numériques, de l'informatique parallèle, des méthodes d'optimisation, et des développements et expérimentations sur des clusters de PC ou dans des *clouds*. Les étudiants apprendront :

- à développer des modélisations et simulations parallèles afin de réduire la durée de la phase la plus coûteuse de la boucle d'optimisation,
- à associer ces simulations à des méthodes et algorithmes d'optimisation adaptés, qui minimiseront le nombre de configurations à simuler et évaluer (on évitera les approches *brut force*),
- à expérimenter la programmation de plates-formes de calculs à haute performance (clusters de PC ou *clouds*),
- à exploiter ces plates-formes sous la contrainte d'un quota d'heures de calculs à ne pas dépasser.



2. Organisation de la séquence thématique

2.1 Modules contexte et enjeux

Les modules de présentation du contexte et des enjeux commenceront par une présentation des objectifs et de l'organisation de la ST. Puis, une succession d'exposés des partenaires industriels illustrera différents cas d'utilisation de la simulation à haute performance pour la réduction d'empreinte (réduction de consommation énergétique, réduction du coût financier, réduction des temps de simulation, réduction des volumes des données...). A cette occasion, les verrous scientifiques et techniques associés seront identifiés, ainsi que les besoins induits en optimisation.

Les sujets des projets de la ST seront également présentés durant les modules *contexte et enjeux* : en aéronautique, en exploration sismique, en détection d'onde infrasonores, en calcul de risques sur le *cloud*, et en optimisation temporelle et énergétique de calculs parallèles. Ces exposés présenteront également les problématiques économiques et sociétales dues aux investissements associés pour réaliser des simulations à haute performance, et à l'impact de la simulation sur l'évolution des technologies qui nous entourent.

Une visite du *Très Grand Centre de Calcul* (TGCC) à Bruyères-le-Châtel, sous la conduite du CEA, permettra de voir des infrastructures modernes de calcul à haute performance, et leurs infrastructures support (alimentation électrique, refroidissement, protections). Enfin, une table ronde avec tous les partenaires industriels permettra de débattre des tendances pour l'avenir.

2.2 Cours spécifique « Calcul parallèle et optimisation »

Ce cours inclut à la fois des aspects mathématiques, numériques, algorithmiques et de programmation performante sur machines parallèles et distribuées, associés à des problématiques d'optimisation.

Parmi les notions abordées, ce cours décrit, dans une première partie, les bases de l'informatique parallèle et distribué, en détaillant notamment les architectures informatiques et modèles de programmation parallèles ainsi que des algorithmes parallèles et distribué utilisés sur ces architectures. Dans une deuxième partie, ce cours présente des méthodes et algorithmes d'optimisation parallèles, communément utilisées dans des codes de calculs parallèles. Deux classes de méthodes utilisées pour des problèmes d'optimisations sont successivement abordées, à savoir les méthodes de partitionnement et de décomposition de domaine parallèles, puis les algorithmes génétiques et les méta-heuristiques parallèles. Ce sont d'ailleurs ces méthodes et algorithmes que l'on retrouvera dans les différents enseignements d'intégrations de cette ST, dans le but de traiter des problèmes issus des sciences de l'ingénieur. Dans une troisième partie, ce cours s'intéresse à l'analyse des performances des solutions développées. Les notions de métriques de performance et de passage à l'échelle, ainsi que l'analyse des performances expérimentales sont également étudiées.

2.3 Partenaires industriels et sujets de projets proposés



1. Le **CEA DAM** (Direction des Applications Militaires) propose une étude « d'Optimisation d'une campagne d'exploration sismique pour la protection des ouvrages »

(Optimisation d'une exploration sismique)

Le CEA-DAM est le centre d'alerte français pour les tsunamis et les forts séismes, et utilise ses ressources de calculs à haute performance pour différentes missions.

Après l'accident de Fukushima (Japon), l'exploitation des moyens de calcul à haute performance est devenue de plus en plus courante pour l'estimation du risque sismique associé aux centrales nucléaires : dans le cadre de la conception des nouvelles usines, mais aussi afin d'étudier les performances des centrales existantes face à des événements extrêmes, non prévus lors de leur conception.

Cette étude concerne l'optimisation d'une campagne d'exploration géophysique sur un site expérimental, à l'aide de son *jumeau numérique*. Le projet consiste à optimiser (minimiser) le nombre de capteurs nécessaires pour découvrir la configuration géologique du site d'intérêt. De nombreuses simulations réalistes à l'aide du code SEM3D (méthode de *Reverse Time Migration*) devront être appelées dans une boucle d'optimisation. On cherchera donc une méthode d'optimisation permettant d'atteindre une bonne qualité d'optimisation tout en respectant le quota d'heures.

Les calculs se feront sur des machines du mesocentre Moulon, sous contrainte d'un quota d'heures de calculs.

2. L'**ONERA** (Office National d'Etudes et Recherche Aéronautique) propose une étude « *d'Optimisation de formes et réduction de la traînée en aéronautique* »

(Réduction de traînée en aéronautique)

Des études récentes montrent que le trafic aérien est en constante augmentation. Sans améliorations des performances des avions en termes de consommation d'énergie, la part du transport aérien dans les émissions de gaz à effet de serre risque de devenir insupportable dans le futur. La baisse de la consommation des avions passe d'une part par l'augmentation des rendements des moteurs et d'autre part par l'amélioration des qualités aérodynamiques des aéronefs et de la diminution de leur poids.

Les outils numériques sont largement utilisés depuis longtemps dans le domaine aéronautique pour aider à la conception et à l'optimisation des systèmes. Par exemple la forme d'une aile peut être améliorée de façon à diminuer sa traînée, à portance constante, ou sa structure intérieure peut être allégée. Les méthodes d'optimisation nécessitent des calculs successifs pour différentes géométries d'ailes. Les coûts de calcul pour chaque étape sont d'autant plus élevés que les modèles numériques sont précis. La seule façon de réduire les temps de calcul pour pouvoir intégrer les méthodes d'optimisation dans le cycle de conception industriel consiste à utiliser des calculateurs parallèles. L'objectif de ce projet consiste à réaliser la



parallélisation de la partie la plus coûteuse de la phase d'optimisation, à savoir la résolution des grands systèmes linéaires issus de modèles éléments finis sur des maillages de grande taille, et d'expérimenter différents jeux de paramètres d'optimisation.

Les essais se feront sur les machines parallèles du Data Center d'Enseignement de CentraleSupélec, sous contrainte d'un quota d'heures de calculs.

3. Le **CEA DAM** (Direction des Applications Militaires) propose une étude « *d'Optimisation de détection d'ondes infrasonores pour la vérification du traité d'interdiction complète d'essais nucléaires* »

(Détection d'ondes infrasonores)

Le CEA-DAM est le centre d'alerte français pour les tsunamis et les forts séismes, et participe aussi à la mise en œuvre des moyens de vérification du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (TICE) en utilisant ses ressources de calculs à haute performance.

Un code d'hydrodynamique compressible parallèle a ainsi été développé au CEA DAM, qui permet de simuler la propagation d'ondes de souffle et d'ondes acoustiques en présence de relief et de bâtiments, avec ou sans vent. D'autre part, on considère que des capteurs judicieusement placés permettent d'enregistrer les signaux de surpression en cas d'explosion. Deux types de problèmes peuvent alors être étudiés : (1) retrouver le lieu d'une explosion et déterminer sa puissance à partir des enregistrements de capteurs situés sur le terrain, (2) définir où positionner judicieusement des capteurs pour maximiser les chances de détection d'une explosion au sein d'une zone déterminée.

Une investigation « brut force » simulant toutes les configurations possibles des paramètres consommerait beaucoup trop d'heures de calculs. On mettra donc au point une boucle d'optimisation explorant avec parcimonie l'espace des configurations possibles et faisant appel efficacement au code d'hydrodynamique.

Les calculs se feront sur des clusters du CEA sous contraintes d'un quota d'heures de calculs, et trois des derniers jours de l'étude se dérouleront sur le site de Bruyères-le-Châtel. Cette étude est réservée aux étudiants de l'Union Européenne.

4. **ANEO** est une société d'informatique experte en calcul à haute performance et en exploitation de *clouds*, qui propose une étude de « *Optimisation énergétique et accélération d'un graphe de calculs financiers sur cloud* »

(Graphe de calculs financiers)

Une des difficultés dans l'appréciation des comptes d'une assurance (ou d'une banque) réside dans la valorisation des actifs financiers (actions, contrats d'assurance vie ou voiture, etc.) et des risques sous-jacents. En fonction de la valorisation des risques pris, les réglementations résultant des diverses crises économiques obligent l'assurance ou la banque à immobiliser une certaine quantité de fonds propres.



Les étapes d'un tel calcul, que gère ANEO, forment un graphe tâches avec de nombreuses dépendances, et la somme des temps d'exécution correspond à l'équivalent de 413177 heures de calcul. Sur une infrastructure de 1700 cœurs la durée du calcul serait d'un peu plus de 10 jours pleins si tous les cœurs pouvaient travailler à tout moment. Mais à cause des dépendances entre les tâches de calcul, il arrive qu'il n'y ait pas assez de tâches pour occuper toutes les ressources allouées, et le processus dure finalement plus de 10 jours.

Afin *d'optimiser les coûts de ce calcul*, nous souhaitons : (1) utiliser des ressources à la demande disponibles dans le *cloud*, et (2) optimiser l'exécution du graphe de tâches en recherchant la meilleure stratégie d'allumage/extinction des nœuds de calcul, et le meilleur ordonnancement des tâches sur les nœuds disponibles. Pour cela on développera une fonction de coût calculant le temps d'exécution du graphe de tâches en fonction d'une stratégie de gestion des nœuds et d'ordonnancement des tâches, et on implantera un algorithme d'optimisation recherchant le meilleur paramétrage de cette stratégie.

5. **INTEL** propose une étude « *d'Optimisation à faible coût des performances d'un code de propagation d'ondes acoustiques* »
(Réduction de l'empreinte d'un code)

Toute application à haute performance s'exécutant sur une machine parallèle possède de nombreux paramètres de configuration de son code source et de sa compilation, qui ont un impact non négligeable sur ses performances et son empreinte énergétique. Mais le comportement de l'application dépend de l'architecture des processeurs utilisés, des données du cas test et de la configuration logicielle de la machine. Au final, ce comportement est extrêmement difficile à modéliser, et l'espace des paramètres de configuration peut être de dimension importante. L'utilisation d'algorithmes d'optimisation apparaît donc fondamentale pour converger vers une configuration de l'application minimisant son temps d'exécution et son empreinte énergétique sur la machine utilisée.

Cependant, chaque exécution d'un cas test d'une application de calcul intensif peut être longue, même sur une machine parallèle. On va donc cibler des méthodes d'optimisation pas trop gourmandes en nombre d'expérimentations, pour que la pré-étape d'optimisation du code HPC ne consomme elle-même pas trop de ressources de calculs ! Ce qui revient à *rechercher un compromis entre l'énergie dépensée à optimiser un code HPC, et l'énergie économisée par cette application une fois optimisée.*

Les essais se feront sur les machines parallèles du Data Center d'Enseignement de CentraleSupélec, sous contrainte d'un quota d'heures de calculs.



2SC7610 – Méthodes et algorithmes de calcul parallèle, et méthodes d'optimisation

Responsables : Stephane VIALLE, Frédéric MAGOULES

Département de rattachement : INFORMATIQUE

Langues d'enseignement : ANGLAIS, FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

La *simulation* est aujourd'hui au cœur de nombreuses démarches de conception et d'optimisation, pour diminuer l'impact des produits créés : *réduction de l'empreinte carbone, de l'empreinte sonore...* Mais il s'agit souvent de systèmes complexes, dont la simulation nécessite des compétences spécifiques en simulations à *haute performance* et à *large échelle*.

Dans ce cours les étudiants apprendront à développer des modélisations et simulations sans limite de taille de problème, sans sacrifier la précision des calculs. Pour cela :

21. Ils concevront des modélisations décomposables en blocs d'opérations et réalisables en parallèle sur des blocs de données les plus indépendants possibles.
22. Ils concevront des algorithmes distribués déployables sur un nombre croissant de processeurs quand la taille du problème augmente, sans sacrifier à la précision des résultats.
23. Ils identifieront les méthodes mathématiques d'optimisation adaptées au problème traité.
24. Ils expérimenteront la programmation parallèle pour l'optimisation.

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



ST7

Prérequis

- Cours commun « Systèmes d'Information et Programmation » de SG1 (1CC1000)
- Cours commun « Algorithmique et complexité » de ST2 (1CC2000)
- Connaissances de bases en algèbre linéaire

Plan détaillé du cours (contenu)

Plan détaillé du cours spécifique

Architectures et modèles de programmation

- Introduction aux architectures des machines parallèles
- Programmation séquentielle et parallèle (Python) appelant un code (FORTRAN/C/C++) de calcul haute performance sur multi-cœurs et sur cluster
- Prise en main de clusters de calcul

Algorithmes parallèles et distribués

- Introduction à la programmation par échange de message (MPI)
- Introduction aux algorithmes de gradient
- Méthodologie de parallélisation de l'algorithme du gradient
- Mise en œuvre sur cluster de calcul (TD machines)

Méthodes de partitionnement et de décomposition de domaine parallèles

- Introduction aux algorithmes de minimisation dans le cadre de l'optimisation
- Techniques de partitionnement et méthodologie de parallélisation
- Méthodes de décomposition de domaines parallèles (méthode de Schur primale, méthode de Schur duale, méthode de Schwarz, méthode FETI, conditions d'interfaces optimisées)
- Minimisation des communications

Algorithmes génétiques et méta-heuristiques parallèles

- Introduction à l'optimisation par méta-heuristiques, avec appel à des noyaux de calculs parallèles
- Parallélisation de méta-heuristiques à base de recherche locale (recuit simulé, recherche tabou, recherche à voisinage variable)



- Parallélisation de meta-heuristiques à base de population de solutions (algorithmes génétiques, colonies de fourmis)
- Utilisation optimale des ressources par meta-heuristiques parallèles appelant des noyaux de calculs parallèles

Métriques et analyse de performances

- Accélération, efficacité, loi d'Amdhal, loi de Gustafson, passage à l'échelle, extensibilité
- Exemple d'identification de sources de pertes de performance, et d'optimisation de code

Déroulement, organisation du cours

Cours (25,5 heures) et TD (7,5 heures) avec examen final écrit (1,5 heures).

Organisation de l'évaluation

Evaluation des Acquis d'apprentissage du cours spécifique Evaluation 100% par l'examen écrit final individuel répartis pour moitié entre : AA.1 et AA.3 évalués par la première partie de l'examen, et AA.2 et AA.3 évalués par la deuxième partie de l'examen

Support de cours, bibliographie

- Frédéric Magoulès, François-Xavier Roux. Calcul Scientifique Parallèle. Dunod, Sciences Sup., 2017. 248 pages (en Français).
- Frédéric Magoulès, Stéphane Vialle. Calcul parallèle et distribué, Méthodes numériques: Transparents des supports de cours

Moyens

- Equipe pédagogique : Filippo GATTI et Frédéric MAGOULES et Stéphane VIALLE
- Cours et TD, avec des groupes de TD de 25 étudiants travaillant sur machines.
- Accès à différents serveurs et clusters de calculs (Data Center d'Enseignement de CentraleSupélec, et/ou mésocentre CentraleSupélec-ENS Paris Saclay).
- Expérimentation avec des langages standards: C/C++/Python, bibliothèque d'envois de messages pour clusters de calculs (MPI).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Acquis d'apprentissage du cours spécifique



AA.1 A l'issue de ce cours les élèves seront capables de paralléliser les noyaux de calcul par méthodes de décomposition de domaines, intervenant dans les techniques d'optimisations (contribue aux compétences C2.1 et C3.6).

AA.2 A l'issue de ce cours les élèves seront capables de paralléliser les méthodes d'optimisation basé sur des algorithmes génétiques, du recuit simulé, et des méta-heuristiques (contribue aux compétences C1.3 et C3.6).

AA.3 A l'issue de ce cours les élèves seront capables de mettre en oeuvre des techniques de parallélisation permettant de résoudre en temps limité un problème dont la résolution séquentielle est impossible en un temps raisonnable (contribue à la compétence C3.6).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences du cours spécifique (détail)

A l'issue de ce cours les élèves sauront :

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



2SC7691 – Optimisation d’une campagne d’exploration sismique pour la protection des ouvrages

Responsables : Stephane VIALLE, Filippo GATTI

Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES, DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE

Langues d’enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d’heures d’études élèves (HEE) : 80

Nombre d’heures présentielles d’enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Projet de la ST7 "Simulation à Haute Performance pour la réduction d'empreintes"

Sujet en partenariat avec CEA-DAM

Dominantes : Informatique (INFONUM) & Math, Data Sciences (MDS)

Après l’accident de Fukushima (Japon), l’exploitation des moyens de calcul à haute performance est devenue de plus en plus courante pour l’estimation du risque sismique associé aux centrales nucléaires. Ces outils ont une importance stratégique non seulement dans le cadre de la conception des nouvelles installations, mais aussi afin d’étudier les performances des centrales existantes face à des événements extrêmes, non prévus lors de leur conception. Dans ce contexte, l’Institut SEISM (dont CentraleSupélec et le CEA sont fondateurs) a été fondé en 2012. Il s’agit d’un regroupement scientifique français, comprenant des partenaires académiques et industriels (dont le CEA et EDF), avec l’objectif de réunir les différents savoir-faire en sismologie et génie parasismique pour améliorer la prédiction de la réponse sismique des sites et structures critiques en France, ainsi que l’évaluation du risque associé.

Dans ce cadre, ce projet concerne l’optimisation d’une campagne d’exploration géophysique sur un site expérimental, à l’aide de son jumeau numérique, construit en utilisant un code de propagation d’onde (SEM3D) en développement entre CentraleSupélec, le CEA et l’Institut de Physique du Globe. SEM3D permet de simuler la propagation d’ondes sismiques sur des larges domaines 3D, avec décomposition de domaine sur maillage



cartésien (ou sphérique). Il intègre également la topographie du site et les structures géologiques complexes. Le projet consiste donc à résoudre un problème inverse afin d'optimiser - à l'aide de SEM3D - la configuration géologique du site d'intérêt. Cette optimisation se base sur la méthode de *Reverse Time Migration* (i.e. résolution par problème adjoint). La stratégie d'optimisation prévoit de nombreuses simulations réalistes, de la source aux capteurs (*forward*) et de rétro-propagation du misfit (*backward*) pour pouvoir mettre à jour itérativement les propriétés mécaniques du sous-sol. En effet, vu la taille du site d'intérêt (~10 km de large) et la résolution spatiale cherchée (~100m), bien que SEM3D soit parallélisé et distribué sur des supercalculateurs, chaque simulation de propagation d'onde peut durer plusieurs heures sur de nombreux cœurs de calcul partagés. Pour cela, à chaque itération, les étapes *Forward* et *Backward* doivent être correctement enchaînées avec une stratégie de job scheduling approprié (lancement des calculs en batch). Enfin, le nombre de capteurs pour les enregistrements in situ doit être réduit, vu les coûts associés, en termes de capteurs, de campagnes d'acquisition et le stockage des données obtenues.

L'objectif de cette étude est donc triple :

- proposer un modèle de géologie minimisant l'écart entre simulation et enregistrements,
- minimiser le nombre de capteurs nécessaires pour aboutir à un modèle à coût financier raisonnable (en considérant leur disposition spatiale),
- arriver à concevoir cette solution dans la durée du projet avec des calculateurs à haute performance et avec un quota d'heures de calculs limité.

Pour cela, on mettra au point une boucle d'optimisation faisant appel le plus efficacement possible au code de simulation de propagation d'onde : en explorant avec parcimonie l'espace des configurations possibles, pour trouver économiquement une bonne solution.

Détails techniques du système :

Le système étudié consiste en un bassin sédimentaire entouré par du rocher affleurant, lieu candidat à la construction d'une centrale nucléaire. Afin d'évaluer la réponse sismique du site et de proposer des scénarios de séismes incident, on a besoin de connaître :

- La géométrie 3D des couches géologique,
- Les propriétés mécaniques de ces couches.

Ces informations sont fondamentales pour la définition des effets de site sur l'énergie sismique radiée par une faille active.



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

ST7

Prérequis

Cours de 1A :

- Cours commun "Systèmes d'Information et Programmation" de SG1 (1CC1000)
- Cours commun "Algorithmique et complexité" de ST2 (1CC2000)

Cours de la ST :

- Cours commun "Optimisation" de la ST7 (2CC3000)
- Cours spécifique "Méthodes et algorithmes parallèles pour l'optimisation" de la ST7 (2SC7610)

Autres prérequis :

- Eléments du cours commun "CIP - Convergence, Intégration et Probabilités" (1SL1000)
- Eléments du cours commun "EDP - Equations aux dérivées partielles" (1SL1500)
- Des connaissances d'algèbre linéaire seront également nécessaires

Plan détaillé du cours (contenu)

Principales étapes de l'étude :

- Complément d'information sur le sujet au début de la première partie du projet (intervention du CEA-DAM) :
 - Présentation des outils théoriques fondamentaux en propagation d'onde dans des milieux complexes,
 - Présentation des enjeux scientifiques liés à la conception parasismique des centrales nucléaires, à l'évaluation de la réponse sismique du site et à l'estimation du risque associé.
- Formalisation du problème et de la grandeur représentant la prospection géophysique afin de caractériser la réponse sismique d'un site nucléaire. Choix d'une méthode d'optimisation adaptée au problème. Mise au point de l'algorithme sur un cas de vérification, supporté par la solution analytique.
- Identification des paramètres du code SEM3D et de leurs impacts respectifs sur sa durée d'exécution parallèle, prise en main de ressources de calcul du Mésocentre Moulon .
- Conception et implantation en Python d'un code d'optimisation appelant SEM3D. Le code d'optimisation sera lui-même parallélisé



si son algorithme le permet (on aurait alors un code maître parallèle appelant à la demande un code fils parallèle).

- Test et mise au point du code complet d'optimisation sur machine parallèle du Mésocentre Moulon, sur des petits et moyens problèmes (basse fréquence et/ou petite taille du domaine).
- Application à un cas réel (en termes de taille de la zone étudiée, et de fréquence maximale) :
 - Expérimentation de plus gros problèmes sur un plus grand nombre de nœuds et de cœurs de calcul (démarche de passage à l'échelle),
 - Analyse de la qualité de la solution trouvée et de la performance des calculs,
 - Optimisation du code pour améliorer la solution trouvée ET, si besoin, la performance des calculs,
- Estimation du nombre minimal de capteurs nécessaires pour trouver une solution traitable en fonction des ressources disponibles et de la durée maximale de l'étude.
- L'étude se terminera par la remise d'un rapport et une présentation orale visant à évaluer : la qualité de la solution trouvée, l'efficacité et l'extensibilité du code de recherche d'une solution optimale, et la gestion du quota de ressources de calcul durant le projet.

Rmq : Les différents groupes d'étudiants mettront en œuvre des méthodes d'optimisation différentes, mais testeront tous plusieurs exemples de *Reverse Time Migration* (prospection géophysique terrestre et marine).

Déroulement, organisation du cours

Partie 1 (40HEE) :

- Etapes 1 et 2 : compléments de cours, prise en main de ressources de calculs, formalisation du problème, choix d'un algorithme d'optimisation.
- Etapes 3 et 4 : implémentation numérique (Python) de l'algorithme d'optimisation pour la méthode de *Reverse Time Migration*. Interprétation des résultats de campagnes de prospection géophysique pour le choix des paramètres à optimiser, la compréhension des sources d'incertitude et de bruit expérimental.
- Etape 5 : première implantation sur machine parallèle de l'algorithme d'optimisation, évaluation de la qualité des résultats et des performances des calculs sur des problèmes de petites et moyennes tailles et vérification sur solution analytique de référence.
- Rapport intermédiaire (slides et résumé d'avancement) et présentation d'avancement et du travail prévu en 2ème partie.



Partie 2 – *sprint final* (40HEE) :

- Etape 6 : expérimentation sur des problèmes réels dans des configurations différentes, identification des sources de blocages ou de pertes de performances, et (si besoin) amélioration du code pour repousser les limites de taille de problème traitable.
- Etape 7 : estimation du nombre de capteurs/enregistrements nécessaires à une optimisation stable, en fonction des ressources de calculs disponibles et des contraintes de durée maximale de l'étude.
- Rapport final (slides et résumé étendu) et présentation orale complète de l'étude.

Organisation de l'évaluation

Le projet sera évalué par une soutenance intermédiaire en fin de partie 1 (40HEE), et une soutenance finale en fin de partie 2 (*sprint final* de 40HEE). Les soutenances se feront en groupe, mais pourront mener à des notes individualisées en cas d'hétérogénéité forte au sein du groupe. A chaque soutenance on évaluera la qualité globale de la présentation orale, des slides et du résumé d'activité. Chaque soutenance comptera pour 50% de la note finale.

10. Critères d'évaluation de la compétence **C3.7 (jalon 2)** et des acquis d'apprentissage **AA2, AA3 et AA5** : l'aboutissement du développement d'un logiciel de simulation à haute performance sur machine parallèle, la précision et les performances atteignables par ce logiciel, la qualité des résultats obtenus après une campagne de simulation intensive, dans le respect du quota de ressources de calcul alloué.
- Critères d'évaluation de la compétence **C7.1 (jalon 2)** et des acquis d'apprentissage **AA1 et AA4** : l'argumentation des choix (scientifiques et techniques) faits tout au long du projet, lors de réunions avec les encadrants et lors des soutenances des parties 1 et 2 du projet, la capacité à décrire les avantages et inconvénients des solutions alternatives non retenues, le bilan (en fin de projet) de la solution développée et la présentation des résultats obtenus.
 - Critères d'évaluation de la compétence **C8.1 (jalon 2)** : l'attitude constructive de chaque étudiant dans les réunions avec les encadrants, la contribution régulière à l'avancée du projet, l'appropriation de tâches au sein du projet, l'effort régulier



d'interfacer ses développements avec ceux des autres membres de l'équipe et d'adapter ses réalisations pour faciliter celles des autres.

Moyens

Equipe enseignante :

- **F. Gatti** (CentraleSupélec & MSSMat)
- **M. Bertin** (CEA-DAM)

Lieu de travail et moyens de calculs :

- Les étudiants travailleront à CentraleSupélec, dans une salle équipée de prises électriques et d'un accès internet wifi (hors cas de confinement)
- Les étudiants utiliseront leurs PC portables pour accéder à des **clusters de PC** distants au **Mésocentre Moulon**.
- La soutenance finale se fera le dernier après-midi à CentraleSupélec.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce projet les étudiants seront en mesure :

- **AA1** : d'identifier et de paramétrer une méthode d'optimisation adaptée au cas où chaque évaluation/itération demande beaucoup de ressources informatiques et de temps de calcul,
- **AA2** : d'implanter et de mettre au point un code Python séquentiel ou parallèle sur supercalculateur (par développement explicite et/ou par assemblage de bibliothèques), appelant des noyaux de calculs C eux-mêmes distribués,
- **AA3** : de déployer des applications de calcul intensif sur des ressources distantes,
- **AA4** : d'identifier les limites de l'étude en fonction des ressources de calculs disponibles,
- **AA5** : de gérer un quota de ressources de calculs lors d'une campagne de calculs intensifs.

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.
 - **Jalon 2** : mettre en œuvre la solution choisie et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles.
 - Evalué avec les acquis d'apprentissage **AA2, AA3, AA5**.



- **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 2** : convaincre de retenir une solution choisie parmi d'autres (avec une suite de critères fixés).
 - Evalué avec les acquis d'apprentissage **AA1, AA4**.

- **C8.1** : Travailler en équipe/en collaboration.
 - **Jalon 2** : Savoir se positionner dans une équipe, identifier ce que l'on peut apporter à un collectif ; Chercher à associer chaque membre de l'équipe en fonction de ses forces.
 - Evalué par le comportement de chaque étudiant, et par sa contribution à la validation des différents acquis d'apprentissage.



2SC7692 – Optimisation de formes et réduction de la trainée en aéronautique

Responsables : Stephane VIALLE

Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES, DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS, ANGLAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Projet de la ST7 "Simulation à Haute Performance pour la réduction d'empreintes"

Sujet en partenariat avec l'ONERA

Dominantes : Informatique (IN) & Math, Data Sciences (MDS)

Le trafic aérien est en constante augmentation chaque année au point que, sans améliorations des performances des avions en termes de consommation d'énergie, la part du transport aérien dans les émissions de gaz à effet de serre risque de devenir insupportable dans le futur.

La baisse de la consommation des avions passe d'une part par l'augmentation des rendements des moteurs et d'autre part par l'amélioration des qualités aérodynamiques des aéronefs et de la diminution de leur poids. Les outils numériques sont largement utilisés depuis longtemps dans le domaine aéronautique pour aider à la conception et à l'optimisation des systèmes. Par exemple la forme d'une aile peut être améliorée de façon à diminuer sa trainée, à portance constante, ou sa structure intérieure peut être allégée.

Détails techniques du système et méthodologie :

Les méthodes d'optimisation nécessitent des calculs successifs pour différentes géométries d'ailes, ainsi que sur des *modèles adjoints*. Les coûts



de calcul pour chaque étape sont d'autant plus élevés que les modèles numériques sont précis.

La seule façon de réduire les temps de calcul de façon à obtenir des temps de réponse suffisamment courts pour pouvoir intégrer les méthodes d'optimisation dans le cycle de conception industriel consiste à utiliser des calculateurs parallèles. Dans le cas de méthodes d'optimisation de type méthodes de descente efficaces (comme par exemple la méthode du gradient ou la méthode de Newton), les différentes configurations ne sont pas connues a priori mais déterminées successivement par l'algorithme. Il faut donc paralléliser chaque calcul du *problème primal* puis du *problème adjoint*.

L'objectif de ce projet est de réaliser la parallélisation de la phase la plus coûteuse de la boucle d'optimisation, à savoir la résolution des grands systèmes linéaires issus de modèles de discrétisation de type éléments finis sur des maillages de grande taille, et d'expérimenter différents jeux de paramètres d'optimisation.

Pour cela, la parallélisation sera réalisée, dans un environnement de programmation par échanges de messages adaptées à l'utilisation de très grands calculateurs avec des nœuds de calcul en réseau, par une approche par décomposition de domaine. La méthode de résolution itérative globale sera accélérée par la résolution des équations locales dans chaque sous-domaine. Le code parallèle développé sera exécuté et évalué sur des machines parallèles de CentraleSupélec.

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

ST7

Prérequis

Cours de 1A :

- Cours commun "Systèmes d'Information et Programmation" de SG1 (1CC1000)
- Cours commun "Algorithmique et complexité" de ST2 (1CC2000)

Cours de la ST :

13. Cours commun "Optimisation" de la ST7 (2CC3000)
14. Cours spécifique "Méthodes et algorithmes parallèles pour l'optimisation" de la ST7 (2SC7610)

Autres prérequis :

- Eléments du cours commun "CIP - Convergence, Intégration et Probabilités" (1SL1000)



- Éléments du cours commun "EDP - Equations aux dérivées partielles" (1SL1500)
- Des connaissances d'algèbre linéaire seront également nécessaires

Plan détaillé du cours (contenu)

Principales étapes de l'étude :

- Complément d'information sur le sujet au début de la première partie du projet (intervention de l'ONERA) :
 - Présentation des outils théoriques fondamentaux en optimisation utilisés en aéronautique
 - Présentation des enjeux scientifiques liés à la conception des ailes d'avions, à l'évaluation de la traînée et à l'estimation du risque associé lors de la réduction du poids des matériaux utilisés.
- Formalisation du problème et de la grandeur représentant la géométrie et la structure afin de caractériser la traînée d'une aile d'avion. Utilisation d'une méthode d'optimisation fixe adaptée au problème (méthode d'optimisation de la géométrie utilisant la forme d'Hadamard de dérivée de la géométrie). Mise au point de l'algorithme sur un cas de vérification supporté par la solution analytique.
- Identification des paramètres du code FENICS (OpenSource) de résolution des équations aux dérivées partielles, et de leurs impacts sur la qualité de la solution du calcul des écoulements et sur la durée d'exécution.
- Conception et implantation en Python d'un code d'optimisation appelant FENICS ; code d'optimisation qui sera ensuite parallélisé par échanges de messages basés sur une approche par décomposition de domaines.
- Test et mise au point du code complet d'optimisation sur machine parallèle du Data Center d'Enseignement de CentraleSupélec, sur des petits et moyens problèmes (courte durée de simulation physique, petite taille du domaine).
- Application à un cas réel (en termes de taille de la zone étudiée, et de géométrie) :
 - Expérimentations de plus gros problèmes sur un plus grand nombre de nœuds et de cœurs de calcul (démarche de passage à l'échelle),
 - Analyse de la qualité de la solution trouvée et de la performance des calculs,
 - Optimisation du code pour améliorer la solution trouvée ET, si besoin, la performance des calculs,



- Estimation de la forme optimale de l'aile ou des volets afin de réduire la trainée de l'écoulement.
- L'étude se terminera par la remise d'un rapport et une présentation orale visant à évaluer : la qualité de la solution trouvée, l'efficacité et l'extensibilité du code de recherche d'une solution optimale, et la gestion du quota de ressources de calculs qui aura eu lieu durant le projet.

Rmq: Les différents groupes d'étudiants mettront en œuvre des méthodes d'optimisation différentes, chacune testée sur un exemple différent.

Déroulement, organisation du cours

Partie 1 (40HEE) :

- Etapes 1 et 2 : compléments de cours, prise en main de ressources de calculs, formalisation du problème, présentation de la méthode d'optimisation.
- Etapes 3 et 4 : implémentation numérique (Python) de l'algorithme. Interprétation des résultats pour le choix des paramètres à optimiser et la compréhension de la qualité de la solution.
- Etape 5 : première implantation sur machine parallèle de l'algorithme d'optimisation, évaluation de la qualité des résultats et des performances des calculs sur des problèmes de petites et moyennes tailles et vérification sur solution analytique de référence.
- Rapport intermédiaire (slides et résumé d'avancement), et présentation de l'avancement et du travail prévu en 2ème partie.

Partie 2 – *sprint final* (40HEE) :

- Etape 6 : expérimentation sur des problèmes réels dans des configurations différentes, identification des sources de blocages ou de pertes de performances, et si besoin amélioration du code pour repousser les limites de taille de problème traitable.
- Etape 7 : estimation de la forme optimale de l'aile ou des volets afin de réduire la trainée, en fonction des ressources de calculs disponibles et des contraintes de durée maximale de l'étude.
- Rapport final (slides et résumé étendu) et présentation orale complète de l'étude.

Organisation de l'évaluation



Le projet sera évalué par une soutenance intermédiaire en fin de partie 1 (40HEE), et une soutenance finale en fin de partie 2 (*sprint final* de 40HEE). Les soutenances se feront en groupe, mais pourront mener à des notes individualisées en cas d'hétérogénéité forte au sein du groupe. A chaque soutenance on évaluera la qualité globale de la présentation orale, des slides et du résumé d'activité. Chaque soutenance comptera pour 50% de la note finale.

- Critères d'évaluation de la compétence **C3.7 (jalon 2)** et des acquis d'apprentissage **AA2, AA3** et **AA5** : l'aboutissement du développement d'un logiciel de simulation à haute performance sur machine parallèle, la précision et les performances atteignables par ce logiciel, la qualité des résultats obtenus après une campagne de simulation intensive, dans le respect du quota de ressources de calcul alloué.
- Critères d'évaluation de la compétence **C7.1 (jalon 2)** et des acquis d'apprentissage **AA1** et **AA4** : l'argumentation des choix (scientifiques et techniques) faits tout au long du projet, lors de réunions avec les encadrants et lors des soutenances des parties 1 et 2 du projet, la capacité à décrire les avantages et inconvénients des solutions alternatives non retenues, le bilan (en fin de projet) de la solution développée et la présentation des résultats obtenus.
- Critères d'évaluation de la compétence **C8.1 (jalon 2)** : l'attitude constructive de chaque étudiant dans les réunions avec les encadrants, la contribution régulière à l'avancée du projet, l'appropriation de tâches au sein du projet, l'effort régulier d'interfacer ses développements avec ceux des autres membres de l'équipe et d'adapter ses réalisations pour faciliter celles des autres.

Moyens

Equipe enseignante :

- **F. Magoules** (CentraleSupélec & MICS), et **S. Vialle** (CentraleSupélec & LRI)
- **S. Claus** et **F.-X. Roux** (ONERA)

Lieu de travail et moyens de calculs :

- Les étudiants travailleront à CentraleSupélec, dans une salle équipée de prises électriques et d'un accès internet wifi
- Les étudiants utiliseront leurs PC portables pour accéder à des clusters de PC distants au Data Center d'Enseignement de CentraleSupélec.



- La soutenance finale se fera le dernier après-midi à CentraleSupélec.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce projet les étudiants seront en mesure :

- **AA1** : d'identifier et de paramétrer une méthode d'optimisation adaptée au cas où chaque évaluation/itération demande beaucoup de ressources informatiques et de temps de calcul,
- **AA2** : d'implanter et de mettre au point un code Python séquentiel ou parallèle sur supercalculateur (par développement explicite et/ou par assemblage de bibliothèques), appelant des noyaux de calculs C eux-mêmes distribués,
- **AA3** : de déployer des applications de calcul intensif sur des ressources distantes,
- **AA4** : d'identifier les limites de l'étude en fonction des ressources de calculs disponibles,
- **AA5** : de gérer un quota de ressources de calculs lors d'une campagne de calculs intensifs.

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.
 - **Jalon 2** : mettre en œuvre la solution choisie et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles.
 - Evalué avec les acquis d'apprentissage **AA2, AA3, AA5**.
- **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 2** : convaincre de retenir une solution choisie parmi d'autres (avec une suite de critères fixés).
 - Evalué avec les acquis d'apprentissage **AA1, AA4**.
- **C8.1** : Travailler en équipe/en collaboration.
 - **Jalon 2** : Savoir se positionner dans une équipe, identifier ce que l'on peut apporter à un collectif ; Chercher à associer chaque membre de l'équipe en fonction de ses forces.
 - Evalué par le comportement de chaque étudiant, et par sa contribution à la validation des différents acquis d'apprentissage.



2SC7693 – Optimisation de détection d'ondes infrasonores pour la vérification du traité d'interdiction complète d'essais nucléaires

Responsables : Stephane VIALLE

Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES, DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Projet de la ST7 "Simulation à Haute Performance pour la réduction d'empreintes"

Sujet en partenariat avec le CEA DAM

Dominantes : Informatique (INFONUM) & Math, Data Sciences (MDS)

Rmq : Sujet proposé aux étudiants de l'**Union Européenne**

Le CEA-DAM utilise des moyens de calcul à haute performance pour ses diverses missions, notamment dans le domaine de la surveillance de l'environnement (ex : phénomènes de propagation d'ondes sismiques, acoustiques, ...). Le centre d'Ile de France situé à Bruyères-le-Châtel est ainsi le centre d'alerte français pour les tsunamis et les forts séismes. Dans le cadre de ses missions, le CEA-DAM apporte également son expertise, fondée sur sa connaissance du nucléaire et son savoir-faire dans les domaines des technologies de détection et d'identification dans la lutte contre la prolifération nucléaire et le terrorisme. Afin d'informer les autorités nationales en cas d'essai nucléaire, le CEA participe ainsi à la mise en œuvre des moyens de vérification du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (TICE).

L'étude proposée ici concerne la caractérisation et la détection à grandes distances d'ondes infrasonores, avec prise en compte de la topographie (relief et/ou bâti) et des conditions atmosphériques (vent). Un code



d'hydrodynamique compressible 2D axisymétrique / 3D avec parallélisme hybride (décomposition de domaines MPI / multithreading OpenMP) sur maillage cartésien avec raffinement adaptatif (AMR) a été développé dans notre laboratoire. Il permet de simuler la propagation d'ondes de souffle et d'ondes acoustiques en présence de relief et de bâtiments, avec ou sans vent. Des capteurs judicieusement placés permettent d'enregistrer les signaux de surpression.

Deux types de problèmes peuvent alors être abordés et résolus avec ce logiciel d'hydrodynamique AMR. Le premier consiste à retrouver le lieu d'une explosion et à déterminer sa puissance à partir des enregistrements d'une sonde située sur le terrain. Le second vise à définir où positionner judicieusement des capteurs pour maximiser les chances de détection d'une explosion au sein d'une zone déterminée. Dans un cas comme dans l'autre, une investigation « brut force » consistant à simuler toutes les configurations possibles des paramètres pour ne retenir que la meilleure solution est inenvisageable. Elle consommerait une quantité d'heures de calculs gigantesque, ce qui rendrait la conception de la solution très longue et hors de prix.

Pour ces deux types de problèmes, l'objectif de cette étude est donc double :

- proposer une solution permettant de caractériser la source des ondes acoustiques,
- arriver à concevoir cette solution en temps raisonnable avec des calculateurs à haute performance ET avec un quota d'heures de calcul limité.

Pour cela, on mettra au point une boucle d'optimisation faisant appel le plus efficacement possible au code d'hydrodynamique : en explorant avec parcimonie l'espace des configurations possibles, pour trouver économiquement une bonne solution.

Détails techniques des systèmes étudiés

- **1er sujet : Caractérisation d'une source à l'échelle urbaine avec prise en compte du bâti**

Il s'agit de localiser et de déterminer la puissance d'une explosion, à la suite d'un accident ou d'un acte malveillant, sur la base de relevés enregistrés par des stations de mesure (dont l'emplacement est bien sûr connu), en prenant en compte le bâti. Pour le besoin de l'exercice, les relevés seront issus en pratique d'une simulation dont la condition initiale fictive (localisation et puissance de la source) ne sera pas connue des étudiants.



- **2ème sujet : Mise en place d'un réseau de surveillance**

Il s'agit de définir un réseau de stations permettant la détection d'hypothétiques expérimentations explosives au sein d'une zone à surveiller. Ces stations – en nombre limité – devront être judicieusement positionnées pour maximiser les chances de détection quelle que soit la météo (on ne tiendra compte que du vent ici). Le relief sera pris en compte, et les stations ne pourront être positionnées que dans des zones dites « accessibles » pour des raisons de maintenance.

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

ST7

Prérequis

Cours de 1A :

- Cours commun "Systèmes d'Information et Programmation" de SG1 (1CC1000)
- Cours commun "Algorithmique et complexité" de ST2 (1CC2000)

Cours de la ST :

- Cours commun "Optimisation" de la ST7 (2CC3000)
- Cours spécifique "Méthodes et algorithmes parallèles pour l'optimisation" de la ST7 (2SC7610)

Autres prérequis :

- Eléments du cours commun "CIP - Convergence, Intégration et Probabilités" (1SL1000)
- Eléments du cours commun "EDP - Equations aux dérivées partielles" (1SL1500)
- Des connaissances d'algèbre linéaire seront également nécessaires

Plan détaillé du cours (contenu)

Principales étapes de l'étude :

- Complément d'information sur le sujet au début de la première partie du projet (intervention du CEA-DAM) :
 - présentation des principes physiques et des mathématiques numériques utilisées dans le code d'hydrodynamique



- compressible fourni pour simuler la propagation d'ondes acoustiques,
- identification des paramètres du code d'hydrodynamique compressible et de leurs impacts sur sa durée d'exécution parallèle,
 - prise en main de ressources dans un centre de calcul distant (au CEA).
- Formalisation du problème et des grandeurs à optimiser. Choix d'une méthode d'optimisation adaptée au problème.
 - Conception et implantation en Python d'un code d'optimisation appelant le code de simulation intensive et parallèle. Le code d'optimisation sera lui-même parallélisé si son algorithme le permet (on aurait alors un code maître parallèle appelant à la demande un code fils parallèle).
 - Test et mise au point du code complet d'optimisation sur machine parallèle du CEA, sur des petits et moyens problèmes : reliefs ou bâtis simplifiés sur des cartes réduites, sans météo et en 2D axisymétrique (beaucoup plus rapide).
 - Passage à l'échelle en termes de taille de terrain couvert, ajout du relief et/ou du bâti et de cartes de vent :
 - expérimentations sur de plus gros problèmes sur un plus grand nombre de nœuds et de cœurs de calcul,
 - analyse de la qualité de la solution trouvée et de la performance des calculs,
 - optimisation du code pour améliorer la solution trouvée ET la performance des calculs.
 - Estimation de la taille maximale de problème traitable en fonction des ressources disponibles et de la durée maximale de l'étude. Analyse de la faisabilité de l'extension au cas 3D dans le temps imparti pour le projet.
 - L'étude se terminera par la remise d'un rapport et une présentation orale visant à évaluer : la qualité de la solution trouvée, l'efficacité et l'extensibilité du code de recherche d'une solution optimale, et la gestion du quota de ressources de calculs qui aura eu lieu durant le projet.

Rmq : Les différents groupes d'étudiants travailleront sur des sujets différents (sujets 1 et 2) et mettront en œuvre des méthodes d'optimisation différentes.

Déroulement, organisation du cours

Partie 1 (40HEE) :

- Etapes 1 et 2 : compléments de cours, prise en main de ressources de calculs, formalisation du problème, choix d'un algorithme d'optimisation.



- Etape 3 : implémentation numérique (Python) de l'algorithme d'optimisation appelant le code parallèle d'hydrodynamique compressible fourni par le CEA DAM.
- Etape 4 : premières exécutions sur des simulations en 2D avec configuration simple, mise au point sur machine parallèle de l'algorithme et du code d'optimisation, évaluation de la qualité des résultats et des performances des calculs sur des problèmes de petites et moyennes tailles et vérification par comparaison à une solution de référence.
- Rapport intermédiaire (slides et résumé d'avancement) et présentation d'avancement et du travail prévu en 2ème partie.

Partie 2 – *sprint final* (40HEE) :

- Etape 5 : expérimentation sur des problèmes plus complexes et/ou plus grands proches de problèmes réels, analyse de la qualité de la solution trouvée, identification des sources de blocages ou de pertes de performances, et (si besoin) amélioration du code pour repousser les limites de taille de problème traitable.
- Etape 6 : estimation de la taille de problème traitable en fonction des ressources de calculs disponibles et des contraintes de durée maximale de l'étude, analyse de la faisabilité d'une simulation en 3D.
- Rapport final (slides et résumé étendu) et présentation orale complète de l'étude.

Organisation de l'évaluation

Le projet sera évalué par une soutenance intermédiaire en fin de partie 1 (40HEE), et une soutenance finale en fin de partie 2 (*sprint final* de 40HEE). Les soutenances se feront en groupe, mais pourront mener à des notes individualisées en cas d'hétérogénéité forte au sein du groupe. A chaque soutenance on évaluera la qualité globale de la présentation orale, des slides et du résumé d'activité. Chaque soutenance comptera pour 50% de la note finale.

- Critères d'évaluation de la compétence **C3.7 (jalon 2)** et des acquis d'apprentissage **AA2**, **AA3** et **AA5** : l'aboutissement du développement d'un logiciel de simulation à haute performance sur machine parallèle, la précision et les performances atteignables par ce logiciel, la qualité des résultats obtenus après une campagne de simulation intensive, dans le respect du quota de ressources de calcul alloué.



- Critères d'évaluation de la compétence **C7.1 (jalon 2)** et des acquis d'apprentissage **AA1** et **AA4** : l'argumentation des choix (scientifiques et techniques) faits tout au long du projet, lors de réunions avec les encadrants et lors des soutenances des parties 1 et 2 du projet, la capacité à décrire les avantages et inconvénients des solutions alternatives non retenues, le bilan (en fin de projet) de la solution développée et la présentation des résultats obtenus.
- Critères d'évaluation de la compétence **C8.1 (jalon 2)** : l'attitude constructive de chaque étudiant dans les réunions avec les encadrants, la contribution régulière à l'avancée du projet, l'appropriation de tâches au sein du projet, l'effort régulier d'interfacer ses développements avec ceux des autres membres de l'équipe et d'adapter ses réalisations pour faciliter celles des autres.

Moyens

Equipe enseignante :

- **J. Cagnol** (CentraleSupélec & MICS) et **S. Vialle** (CentraleSupélec & LRI)
- **S. Jaouen** (CEA DAM)

Lieu de travail et moyens de calculs :

- Lors de la première partie du projet :
 - Les étudiants travailleront à CentraleSupélec, dans une salle équipée de prises électriques et d'un accès internet wifi.
 - Les étudiants utiliseront leurs PC portables pour accéder à des **ressources de calculs importantes opérées par le CEA DAM**.
- Lors de la 2nd partie du projet (*sprint final*) :
 - Les étudiants travailleront **3 jours sur le site du TGCC/TERATEC à Bruyères-le-Châtel**, le CEA DAM assurera le déplacement quotidien des étudiants.
 - La soutenance finale se fera le dernier après-midi à CentraleSupélec.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce projet les étudiants seront en mesure :

- **AA1** : d'identifier et de paramétrer une méthode d'optimisation adaptée au cas où chaque évaluation/itération demande beaucoup de ressources informatiques et de temps de calcul,



- **AA2** : d'implanter et de mettre au point un code Python séquentiel ou parallèle sur supercalculateur (par développement explicite et/ou par assemblage de bibliothèques), appelant des noyaux de calculs C eux-mêmes distribués,
- **AA3** : de déployer des applications de calcul intensif sur des ressources distantes,
- **AA4** : d'identifier les limites de l'étude en fonction des ressources de calculs disponibles,
- **AA5** : de gérer un quota de ressources de calculs lors d'une campagne de calculs intensifs.

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.
 - **Jalon 2** : mettre en œuvre la solution choisie et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles.
 - Evalué avec les acquis d'apprentissage AA2, AA3, AA5.
- **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 2** : convaincre de retenir une solution choisie parmi d'autres (avec une suite de critères fixés).
 - Evalué avec les acquis d'apprentissage AA1, AA4.
- **C8.1** : Travailler en équipe/en collaboration.
 - **Jalon 2** : Savoir se positionner dans une équipe, identifier ce que l'on peut apporter à un collectif ; Chercher à associer chaque membre de l'équipe en fonction de ses forces.
 - Evalué par le comportement de chaque étudiant, et par sa contribution à la validation des différents acquis d'apprentissage.



2SC7694 – Optimisation énergétique et accélération d'un graphe de calculs financiers sur cloud

Responsables : Stephane VIALLE

Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES, DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Projet de la ST7 "Simulation à Haute Performance pour la réduction d'empreintes"

Sujet en partenariat avec ANEO

Dominantes : Informatique (INFONUM) & Math, Data Sciences (MDS)

Contexte applicatif

Les **assureurs** modernes ont un champ d'activité très réglementé mais relativement large en même temps : différents types d'assurance, services bancaires, etc. Une des difficultés dans l'appréciation des comptes d'une assurance (ou d'une banque) réside dans la valorisation des actifs financiers (ex : action EDF, contrat d'assurance vie ou voiture, etc.) et des risques sous-jacents. L'approche généralement utilisée consiste à évaluer pour chaque actif le coût d'une dévaluation ainsi que le risque associé. Pour les actifs simples comme les actions, le calcul est simple. Pour les actifs plus complexes (produits d'assurance ou produits dérivés), ce calcul est plus complexe puisqu'il repose en général sur la prise en compte de nombreux facteurs. En fonction de la valorisation des risques pris, les réglementations résultant des diverses crises économiques, comme Solvency II ou IFRS17, obligent l'assurance ou la banque à immobiliser une certaine quantité de fonds propres. Certains risques peuvent s'annuler entre différents actifs (ex : le risque d'un actif d'assurance vie basé sur le taux euro/dollars peut être couvert par d'autres actifs basés sur les taux euro/yen et yen/dollars). Afin de maximiser ce potentiel de compensation



à travers les actifs possédés, ces organismes vont consolider les comptes à l'échelle la plus large possible, le groupe en général. C'est à dire qu'ils vont effectuer les analyses de risque comme si l'ensemble des actifs appartenait à une seule entité. Une des difficultés de l'exercice consistant alors à répartir le besoin de fonds propres entre les différentes entités juridiques dont les comptes ont été consolidés, ce process est donc en réalité plus complexe qu'une simple union des actifs suivis d'une analyse de risque globale.

Le **processus de construction des comptes consolidés pour une assurance engendre donc de nombreux calculs**. Ces calculs concernent donc d'un côté la modélisation du coût de remboursement des contrats en fonction de différents facteurs et d'un autre côté la modélisation des placements effectués avec l'argent disponible. A titre d'exemple pour un contrat d'assurance vie, la modélisation du risque s'appuie sur les tables de mortalités fournies par l'INSEE et prenant en compte différents facteurs comme la géographie, la catégorie socio-professionnelle, la situation familiale, etc. Pour ce faire, la vie du contrat est simulée année après année afin de prendre en compte l'évolution de ces facteurs. Différents scénarios d'évolution sont joués afin de refléter l'ensemble des évolutions de situations possibles (déménagements, évolution de la situation familiale, etc.). Ces scénarios sont ensuite agrégés. Ce processus est bien sûr une vue simplifiée et ne prend pas en compte différents éléments comme l'agrégation des contrats afin de réduire la volumétrie de calcul, laquelle agrégation fait l'objet en soi de différents travaux d'optimisation. Parmi les autres éléments du processus, citons la consolidation des risques actif/passifs par typologie de contrat, la consolidation par entité légale et prenant en compte les spécificités réglementaires de chaque pays ou encore l'exploitation de ces simulations pour optimiser le risque des contrats proposés ainsi que leur prix.

Problème traité dans ce projet

Le processus de construction des comptes consolidés se déroule sur plusieurs semaines et comprend des étapes de calcul ainsi que des étapes manuelles ; nous considérerons ici ces dernières comme instantanée. Les étapes de calcul correspondent à l'équivalent de 413177 heures de calcul, soit un peu plus de 10 jours pleins sur une infrastructure de 1700 cœurs. Cependant, en réalité, le processus ne peut se dérouler en 10 jours sur une telle infrastructure à cause des dépendances entre les tâches de calcul : il arrive qu'à certains moments, il n'y ait pas assez de tâches pour occuper la grille. Une analyse fine des dépendances montre que la durée du chemin critique est de 11h30. Cette durée serait celle de l'ensemble du calcul si une infrastructure de taille infinie était disponible.

Sujet du projet : Afin d'optimiser les coûts sans pour autant investir dans une grille de calcul de très grande dimension qui ne serait finalement que



très peu utilisée, nous souhaitons utiliser des ressources à la demande disponibles dans le cloud. Pour en tirer le meilleur parti, nous souhaitons **optimiser l'exécution du graphe de tâches** en recherchant :

- La meilleure stratégie d'allumage/extinction des nœuds de calcul.
- Le meilleur ordonnancement des tâches sur les nœuds disponibles.

L'étude devra prendre en compte les éléments suivants :

- Les dépendances entre les tâches
- La durée des tâches, connue à l'avance
- La durée du transfert des résultats entre les tâches (seuls les fichiers significatifs seront listés)
- La capacité du cœur de réseau que l'on supposera proportionnelle au nombre de nœuds.

Il convient de noter ici que le coût mentionné peut aussi bien être énergétique que financier et que les deux sont très liés : à l'usage, plus de la moitié du coût de possession d'une infrastructure de calcul correspond au coût de l'électricité, même en France avec l'énergie nucléaire. Nous ferons l'hypothèse (très simplificatrice) que le réseau n'a pas de coût.

Objectif du projet : fournir une application d'optimisation travaillant sur deux fichiers décrivant d'une part le graphe de tâches (durées et dépendances) et d'autre part les caractéristiques de l'infrastructure de calcul, et qui fournira en sortie un fichier décrivant l'ordonnancement de l'infrastructure (allumage et extinction des nœuds) ainsi que l'ordonnancement des tâches (placement d'une tâche sur un nœud à un moment donné).

Seront fournis aux étudiants :

- Une documentation décrivant les formats d'entrée, de sortie et les critères d'évaluation de la performance
- Des exemples de graphes et d'infrastructures
- Une API REST (fonction de calcul callable directement depuis Internet) permettant d'évaluer la qualité de la solution proposée
- Un accès à des ressources de calcul distribuées

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

ST7

Prérequis

Cours de 1A :



- Cours commun "Systèmes d'Information et Programmation" de SG1 (1CC1000)
- Cours commun "Algorithmique et complexité" de ST2 (1CC2000)

Cours de la ST :

- Cours commun "Optimisation" de la ST7 (2CC3000)
- Cours spécifique "Méthodes et algorithmes parallèles pour l'optimisation" de la ST7 (2SC7610)

Autres prérequis :

- Eléments du cours commun "CIP - Convergence, Intégration et Probabilités" (1SL1000)
- Eléments du cours commun "EDP - Equations aux dérivées partielles" (1SL1500)
- Des connaissances d'algèbre linéaire seront également nécessaires

Plan détaillé du cours (contenu)

Principales étapes de l'étude :

- Complément de cours en architecture matérielle des systèmes informatique, y compris les aspects énergétiques.
- Formalisation du problème et de la fonction de coût à optimiser.
- Choix d'une méthode d'optimisation par méta-heuristique adaptée au problème, exemples : algorithmes génétiques, colonies de fourmis, méthode à voisinages variables...
- Prise en main de ressources de calculs distantes (dans cloud ou supercalculateur sur lesquels ANEO possède des accès).
- Conception d'un algorithme parallèle de la méthode d'optimisation choisie, apte à passer à l'échelle en termes de taille ou de complexité du graphe de tâches traité.
- Implantation d'un code Python parallèle supportant le passage à l'échelle prévu.
- Exécution du code de résolution parallèle sur des jeux de données réels fournis par ANEO, et dans la limite des ressources de calculs allouées à l'étude.
- Analyse de la qualité des résultats du code de résolution, des performances des calculs de résolution effectués (vitesse de calcul, capacité d'extensibilité), et du coût associé dans une perspective d'exploitation industrielle.
- L'étude se terminera par la remise d'un rapport et une présentation orale visant à évaluer la pertinence globale de la solution trouvée et expérimentée, et la gestion du quota de ressources de calculs qui aura eu lieu durant le projet.



Rmq : Les différents groupes d'étudiants seront confrontés à des hypothèses différentes sur les plates-formes de calcul visées, menant à des choix et des mises en œuvre de méthodes d'optimisation également différentes.

Déroulement, organisation du cours

Partie 1 (40HEE) :

- Etapes 1 à 4 : compléments de cours, formalisation du problème, choix d'une méthode d'optimisation, et prise en main de ressources de calculs.
- Etapes 5 et 6 : première implantation parallèle fonctionnelle de l'algorithme de résolution, tests à petite échelle.
- Rapport intermédiaire et présentation d'avancement et du travail prévu en 2ème partie

Part 2 - *sprint final* (40HEE):

- Etapes 7 et 8 : exécution de l'algorithme de résolution sur des ressources de calcul intensif, et évaluation des résultats obtenus et des performances mesurées.
- Rebouclage au point 5 pour l'amélioration de l'algorithme de résolution et de son implantation parallèle.
- Rapport final et présentation orale complète

Organisation de l'évaluation

Le projet sera évalué par une soutenance intermédiaire en fin de partie 1 (40HEE), et une soutenance finale en fin de partie 2 (*sprint final* de 40HEE). Les soutenances se feront en groupe, mais pourront mener à des notes individualisées en cas d'hétérogénéité forte au sein du groupe. A chaque soutenance on évaluera la qualité globale de la présentation orale, des slides et du résumé d'activité. Chaque soutenance comptera pour 50% de la note finale.

- Critères d'évaluation de la compétence **C3.7 (jalon 2)** et des acquis d'apprentissage **AA2, AA3** et **AA5** : l'aboutissement du développement d'un logiciel de simulation à haute performance sur machine parallèle, la précision et les performances atteignables par ce logiciel, la qualité des résultats obtenus après une campagne de simulation intensive, dans le respect du quota de ressources de calcul alloué.



- Critères d'évaluation de la compétence **C7.1 (jalon 2)** et des acquis d'apprentissage **AA0**, **AA1** et **AA4** : l'argumentation des choix (scientifiques et techniques) faits tout au long du projet, lors de réunions avec les encadrants et lors des soutenances des parties 1 et 2 du projet, la capacité à décrire les avantages et inconvénients des solutions alternatives non retenues, le bilan (en fin de projet) de la solution développée et la présentation des résultats obtenus.
- Critères d'évaluation de la compétence **C8.1 (jalon 2)** : l'attitude constructive de chaque étudiant dans les réunions avec les encadrants, la contribution régulière à l'avancée du projet, l'appropriation de tâches au sein du projet, l'effort régulier d'interfacer ses développements avec ceux des autres membres de l'équipe et d'adapter ses réalisations pour faciliter celles des autres.

Moyens

Equipe enseignante :

- **A. Rimmel** (CentraleSupélec & LRI)
- **W. Kirschenmann** (ANEO)

Lieu de travail et moyens de calculs :

- Les étudiants travailleront à CentraleSupélec, dans une salle équipée de prises électriques et d'un accès internet wifi
- Les étudiants utiliseront leurs PC portables pour accéder à des ressources de calculs distantes (cloud ou supercalculateur sur lesquels ANEO possède des accès).
- La soutenance finale se fera le dernier après-midi à CentraleSupélec.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce projet les étudiants seront en mesure de :

- **AA0** : d'identifier les parties consommatrices de CPU dans une chaîne d'optimisation, et de modéliser le coût énergétique d'un calcul distribué,
- **AA1** : d'identifier des méthodes d'optimisation adaptées à la minimisation du temps d'exécution d'un graphe de tâches, et adaptées à une parallélisation large échelle,
- **AA2** : de concevoir un algorithme parallèle supportant le passage à l'échelle, de l'implanter et de mettre au point son code sur une architecture distribuée,



- **AA3** : de déployer des simulations intensives sur des ressources de calculs distantes
- **AA4** : d'identifier les limites de l'étude en fonction des ressources de calculs disponibles
- **AA5** : de gérer un quota de ressources de calculs lors d'une campagne de calculs intensifs

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.
 - **Jalon 2** : mettre en œuvre la solution choisie et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles.
 - Evalué avec les acquis d'apprentissage **AA0, AA2, AA3, AA5**.
- **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 2** : convaincre de retenir une solution choisie parmi d'autres (avec une suite de critères fixés).
 - Evalué avec les acquis d'apprentissage **AA1, AA4**.
- **C8.1** : Travailler en équipe/en collaboration.
 - **Jalon 2** : Savoir se positionner dans une équipe, identifier ce que l'on peut apporter à un collectif ; Chercher à associer chaque membre de l'équipe en fonction de ses forces.
 - Evalué par le comportement de chaque étudiant, et par sa contribution à la validation des différents acquis d'apprentissage.



2SC7695 – Optimisation à faible coût des performances d'un code de propagation d'ondes acoustiques

Responsables : Stephane VIALLE

Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES, DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Projet de la ST7 "Simulation à Haute Performance pour la réduction d'empreintes"

Sujet en partenariat avec INTEL

Dominantes : Informatique (INFONUM) & Math, Data Sciences (MDS)

Quel que soit le type d'application s'exécutant sur des machines parallèles dans un cadre « HPC » (*high performance computing*) et quel que soit leur niveau d'efficacité (en termes de performances ou d'empreinte énergétique), nous nous apercevons très facilement que l'impact des paramètres d'entrées est en général non négligeable. On peut notamment agir sur :

- les paramètres de l'algorithme parallèle utilisé, comme la taille et la forme des domaines réalisant un découpage en sous-problèmes,
- les paramètres de l'implantation HPC contrôlant par exemple le blocage des données en mémoire cache (*cache blocking*) pour diminuer les temps d'accès aux données,
- les paramètres du déploiement de l'application parallèle, contrôlant la répartition processus-MPI vs threads-OpenMP et le placement de ces tâches de calculs pour occuper efficacement les cœurs CPU,
- les paramètres contrôlant la politique de *scheduling* des threads (habituellement contrôlée par l'intermédiaire de variables d'environnements).



Ces différents paramètres d'entrée permettent d'améliorer l'exécution d'un code HPC sur une plate-forme de calcul. Mais il reste extrêmement difficile de comprendre exactement le comportement de l'application dans l'architecture des processeurs et quand bien même nous pourrions rendre l'application plus efficace par modification du code source, la dépendance aux cas tests et à l'environnement d'exécution resterait prépondérante. Dans ce contexte où l'espace des paramètres peut être de dimension importante, l'utilisation d'algorithmes d'optimisation apparaît fondamentale pour converger vers un minimum global (ou au moins local) d'une fonction de coût exprimant le temps d'exécution et l'empreinte énergétique. On va donc utiliser des méthodes et algorithmes d'optimisation pour optimiser le fonctionnement d'un code de calcul HPC.

Cependant, chaque exécution d'un cas test d'une application de calcul intensif peut être longue, même sur une machine parallèle. Or l'espace des paramètres est grand et un algorithme d'optimisation peut requérir des dizaines de milliers d'exécutions de l'application (voire plus). Ce qui est réalisable à l'échelle d'un noyau de calcul reste insupportable à l'échelle d'une application complète.

Il devient donc nécessaire de choisir des méthodes d'optimisation pas trop gourmandes en nombre d'expérimentations, puis d'optimiser leur usage pour arriver à réduire l'empreinte du code HPC ciblé, sans que cette pré-étude ne consume elle-même trop de ressources de calculs ! Ce qui revient à « **rechercher la méthode d'optimisation la moins coûteuse** » pour trouver un optimum entre vitesse de convergence (de l'algorithme d'optimisation) et qualité de la minimisation du temps d'exécution et de l'empreinte énergétique (de l'application HPC ciblée).

Détails techniques du système :

Nous démarrerons ce projet à partir :

- d'un code de calcul à haute performance (code HPC) qui simule l'équation des ondes 3D acoustiques en milieu homogène isotropique par différences finies, et qui s'exécute sur des clusters de PC multicœurs (en MPI + OpenMP),
- d'un algorithme génétique capable d'itérer sur de nombreux paramètres du code HPC tels que : taille et formes des domaines et du *cache blocking*, flags de compilation, variables d'environnement, nombre et placement des threads..., mais qui reste séquentiel et limité à une seule machine.

L'algorithme génétique appelle donc successivement le code de simulation d'ondes acoustiques dans différentes configurations, et ne peut l'appeler qu'en version multithreadée sur une machine (pas en version distribuée sur cluster). Cela permet néanmoins de rechercher la configuration



optimale sur chaque PC, et de l'appliquer ensuite sur chaque PC lors d'une exécution sur un cluster de PC.

Les *différences finies* étant tout à fait explicites en terme de nombre d'opérations flottantes, nous pouvons facilement compter le nombre de points traités ou le nombre d'opérations flottantes réalisées lors d'une exécution, et en déduire une vitesse de traitement en Giga points/s ou GFlops/s. Nous pouvons alors chercher à minimiser le temps de la simulation (ou à maximiser la vitesse de traitement). Nous pouvons également consacrer et collecter quelques compteurs hardware pour obtenir la consommation énergétique exacte du processeur et de la mémoire, pour étudier finement l'impact énergétique de nos optimisations.

Mais un algorithme génétique est une méthode d'optimisation par population qui est gourmande en ressources de calculs, et l'implantation fournie n'exploite qu'un seul PC. La recherche d'une configuration optimale du code peut donc être très longue et rébarbative. Pour dépasser cette limitation nous adopterons deux approches :

- Tout d'abord identifier des méthodes d'optimisation ayant a priori des chances de converger en relativement peu d'essais vers un paramétrage efficace du code HPC (c-a-d menant à des exécutions rapides et peu gourmandes en énergie). On pourra étudier des méthodes d'optimisation à trajectoires (Hill Climbing, Simulated Annealing, Tabu search..., avec ou sans comportement glouton), ou d'autres méthodes à population moins gourmandes que les algorithmes génétiques (colonies de fourmis...). On recherchera ainsi une très bonne solution en un temps assez long, qui permettrait ensuite d'exécuter de nombreuses simulations de propagations d'ondes acoustiques très optimisées.
- On cherchera ensuite à expérimenter une méthode d'optimisation, ou une variante de celle expérimentée précédemment, qui convergerait « très rapidement » vers une solution de qualité seulement « assez bonne ». Une telle optimisation (très rapide) pourrait alors être intégrée à l'application sous la forme d'un pre-processing dynamique, en début ou en cours d'exécution sur machines parallèles, et constituer un mécanisme d'auto-optimisation de l'application.

Prérequis

Cours de 1A :



- Cours commun "Systèmes d'Information et Programmation" de SG1 (1CC1000)
- Cours commun "Algorithmique et complexité" de ST2 (1CC2000)

Cours de la ST :

- Cours commun "Optimisation" de la ST7 (2CC3000)
- Cours spécifique "Méthodes et algorithmes parallèles pour l'optimisation" de la ST7 (2SC7610)

Autres prérequis :

- Eléments du cours commun "CIP - Convergence, Intégration et Probabilités" (1SL1000)
- Eléments du cours commun "EDP - Equations aux dérivées partielles" (1SL1500)
- Des connaissances d'algèbre linéaire seront également nécessaires

Plan détaillé du cours (contenu)

Principales étapes de l'étude :

- Présentation du noyau de calcul fourni, complément de cours sur les méthodologies de caractérisation et d'accélération de code HPC (*compteurs hardware, modelé roofline, placement NUMA, vectorisation...*), prise en main des ressources de calculs distantes du Data Center d'Enseignement de CentraleSupélec avec expérimentation des codes fournis par INTEL.
- Identification de méthodes d'optimisation prometteuses pour le problème, et ne lançant pas trop de simulations HPC d'ondes acoustiques. Le développement de méthodes hybrides pourra être envisagé.
- Développement d'une 1ère solution en Python séquentiel avec appel du code C de simulation fourni pour l'étude.
- Déroulement d'une première campagne d'optimisation-simulation sur machines multi-coeurs, avec une gestion d'un quota hebdomadaire d'heures de calculs. Identification d'une solution réduisant au mieux l'empreinte du code HPC de simulation d'ondes acoustiques
- Développements et expérimentations d'une 2nd solution, permettant de rechercher « très rapidement » une configuration « d'assez bonne » qualité, afin d'intégrer cette recherche à l'application de simulation en étape de pre-processing.
- Déroulement d'une seconde campagne d'optimisation-simulation sur machines multi-cœurs, avec une gestion d'un quota hebdomadaire d'heures de calculs.



- L'étude se terminera par la remise d'un rapport et une présentation orale visant à évaluer :
 - la démarche d'investigation adoptée,
 - la qualité de la solution trouvée : en termes de vitesse de convergence de chaque algorithme d'optimisation testé, et de temps de calcul et de consommation énergétique de la simulation parallèle optimisée,
 - la gestion du quota de ressources de calculs qui aura eu lieu durant le projet.

Rmq : Les différents groupes d'étudiants mettrons en œuvre des méthodes d'optimisation différentes.

Déroulement, organisation du cours

Partie 1 (40HEE) :

- Etapes 1 et 2 : complément de cours sur les optimisations de code HPC et sur les paramètres de configuration du code de simulation fourni, prise en main des ressources de calcul distantes du Data Center d'Enseignement avec expérimentation de la solution initiale, et identification de deux méthodes d'optimisation prometteuses.
- Etape 3 : implantation séquentielle en Python d'une première méthode d'optimisation appelant le code de simulation parallèle et HPC, première campagne d'optimisation-simulation sur un serveur de calcul multi-cœurs.
- Etape 4 : déroulement d'une campagne d'optimisation-simulation sur machines parallèles, avec la gestion d'un quota d'heures. Analyse des performances obtenues.
- Rapport intermédiaire, et présentation de l'avancement et du travail prévu en 2ème partie.

Part 2 - *sprint final* (40HEE):

- Etape 5 : identification d'une méthode permettant de rechercher « très rapidement » une configuration « assez bonne ». Nouvelle implantation en Python.
- Etape 6 : nouvelle campagne d'optimisation-simulation sur machines parallèles, avec la gestion d'un quota d'heures. Analyse des performances obtenues.
- Rapport final et présentation orale complète.

Organisation de l'évaluation



Le projet sera évalué par une soutenance intermédiaire en fin de partie 1 (40HEE), et une soutenance finale en fin de partie 2 (*sprint final* de 40HEE). Les soutenances se feront en groupe, mais pourront mener à des notes individualisées en cas d'hétérogénéité forte au sein du groupe. A chaque soutenance on évaluera la qualité globale de la présentation orale, des slides et du résumé d'activité. Chaque soutenance comptera pour 50% de la note finale.

- Critères d'évaluation de la compétence **C3.7 (jalon 2)** et des acquis d'apprentissage **AA2, AA3 et AA5** : l'aboutissement du développement d'un logiciel de simulation à haute performance sur machine parallèle, la précision et les performances atteignables par ce logiciel, la qualité des résultats obtenus après une campagne de simulation intensive, dans le respect du quota de ressources de calcul alloué.
- Critères d'évaluation de la compétence **C7.1 (jalon 2)** et des acquis d'apprentissage **AA0, AA1 et AA4** : l'argumentation des choix (scientifiques et techniques) faits tout au long du projet, lors de réunions avec les encadrants et lors des soutenances des parties 1 et 2 du projet, la capacité à décrire les avantages et inconvénients des solutions alternatives non retenues, le bilan (en fin de projet) de la solution développée et la présentation des résultats obtenus.
- Critères d'évaluation de la compétence **C8.1 (jalon 2)** : l'attitude constructive de chaque étudiant dans les réunions avec les encadrants, la contribution régulière à l'avancée du projet, l'appropriation de tâches au sein du projet, l'effort régulier d'interfacer ses développements avec ceux des autres membres de l'équipe et d'adapter ses réalisations pour faciliter celles des autres.

Moyens

Equipe enseignante :

- **L. Cabaret** (CentraleSupélec & MICS) et **S. Vialle** (CentraleSupélec & LRI)
- **Ph. Thierry** et **C. Andreolli** (INTEL)

Lieu de travail et moyens de calculs :

- Les étudiants travailleront à CentraleSupélec, dans une salle équipée de prises électriques et d'un accès internet wifi
- Les étudiants utiliseront leurs PC portables pour accéder à des clusters de PC distants au Data Center d'Enseignement de CentraleSupélec.



- La soutenance finale se fera le dernier après-midi à CentraleSupélec.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce projet les étudiants seront en mesure :

- **AA0** : d'identifier les paramètres impactant l'exécution d'un code parallèle, et de configurer son exécution,
- **AA1** : de choisir et de paramétrer des méthodes d'optimisation convergeant avec un nombre limité d'expérimentations,
- **AA2** : de mettre au point un code Python séquentiels, appelant des codes parallèles sur des architectures parallèles,
- **AA3** : de déployer des simulations intensives sur des ressources de calculs distantes,
- **AA4** : d'identifier les limites de l'étude en fonction des ressources de calculs disponibles
- **AA5** : de gérer un quota de ressources de calculs lors d'une campagne de calculs intensifs.

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.
 - **Jalon 2** : mettre en œuvre la solution choisie et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles.
 - Evalué avec les acquis d'apprentissage **AA0, AA2, AA3, AA5**.
- **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 2** : convaincre de retenir une solution choisie parmi d'autres (avec une suite de critères fixés).
 - Evalué avec les acquis d'apprentissage **AA1, AA4**.
- **C8.1** : Travailler en équipe/en collaboration.
 - **Jalon 2** : Savoir se positionner dans une équipe, identifier ce que l'on peut apporter à un collectif ; Chercher à associer chaque membre de l'équipe en fonction de ses forces.
 - Evalué par le comportement de chaque étudiant, et par sa contribution à la validation des différents acquis d'apprentissage.



ST7 – 77 – EFFICACITE DES SYSTEMES D'ENERGIE EMBARQUES

Dominante : ENE (Energie)
Langue d'enseignement : Français
Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

L'optimisation des systèmes d'énergie embarqués est une problématique rencontrée quotidiennement dans le monde industriel.

Que ce soit dans un objectif de réduire les coûts de production ou d'utilisation, pour participer à la transition énergétique en minimisant l'empreinte carbone, l'optimisation est incontournable dans le monde de l'énergie.

Gain de volume, de coût (conception optimale ou coût d'opération), de performances ou d'efficacité sont des objectifs que l'on retrouvera aussi bien dans les systèmes aéronautiques, spatiaux ou automobiles. L'aspect système et multiphysique de la conception est désormais pris en compte afin de satisfaire au mieux à un cahier des charges de plus en plus exigeant.

Lors de cette séquence des exemples industriels seront abordés : optimisation du rendement et du coût d'une chaîne de traction électrique sur quelques points de fonctionnement où sur des cycles routier, gestion optimale des sources d'énergie d'un système hybride.

Prérequis nécessaires

Il est conseillé d'avoir suivi le cours « Energie électrique ».

Modules contexte et enjeux : ces modules comprennent une conférence introductive de la thématique, une table ronde impliquant les partenaires de la séquence, des interventions portant sur les verrous technologiques et scientifiques, ainsi qu'un atelier d'innovation.

Cours spécifique (60 HEE) : Optimisation des systèmes d'énergie embarqués

- **Brève description** : Après une description et formulation du problème ainsi qu'une présentation des modèles relatifs à l'optimisation, seront examinées les techniques d'optimisation de systèmes d'énergie, optimisation stochastique, estimation de paramètres, optimisation multi-source et optimisation multicritères.

Projet n°1 : Efficacité énergétique de machines électriques



- **Partenaire associé** : Leroy-Sommer
- **Lieu** : Paris-Saclay
- **Brève description** : La problématique de l'optimisation énergétique des machines électriques est posée d'une part par une recherche de la baisse des coûts d'utilisation mais aussi par la réglementation qui impose des rendements de plus en plus élevés afin de maîtriser la demande électrique.
Il est donc nécessaire d'optimiser le rendement des machines électriques. Bien entendu cette maximisation du rendement va à l'encontre d'une autre optimisation : celle du coût de fabrication. Une optimisation multicritère entre l'efficacité et le coût sera donc mise en place.

Projet n°2 : Optimisation de chaîne de traction sur cycle routier

- **Partenaire associé** :
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : La hausse du prix des énergies fossiles ainsi que les contraintes environnementales poussent le secteur automobile et de la mobilité à se tourner de plus en plus vers la traction électrique en remplacement ou complément du moteur thermique.
Le moteur électrique dans le véhicule n'est pas utilisé sur un unique point de fonctionnement comme c'est le cas pour une application statique mais doit répondre aux sollicitations de la conduite. Pour modéliser ces comportements, de nombreux cycles tests routiers sont utilisés. L'optimisation de la chaîne de traction en tant que système est rendu donc compliquée et coûteuse par le grand nombre de points de fonctionnement engendré par ces cycles. Des techniques de réduction seront donc utilisés pour optimiser les rendements ou les masses des systèmes.

Projet n°3 : Gestion optimale d'un générateur hybride

- **Partenaire associé** :
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : Un générateur de production énergétique convertit une source en énergie. Un générateur est dit hybride lorsqu'il y a plusieurs sources à disposition (dans le cas électrique, il peut s'agir d'une batterie et d'un couple moteur thermique et alternateur). Le choix de la source d'énergie primaire est donc posé lors de l'utilisation.
Sur un cycle de fonctionnement (courbe de puissance demandée par exemple), il est nécessaire de trouver la consigne optimale conduisant à la



meilleure gestion du générateur hybride : savoir si l'électricité est produite à partir de la batterie ou au contraire du générateur thermique.

Une optimisation est donc nécessaire pour réduire les coûts de fonctionnement ou augmenter les rendements. Par la suite une optimisation du système en fonction de cette gestion optimale est envisageable.

Projet n°4 : Optimisation d'une chaîne de propulsion navale sur cycle

- **Partenaire associé** : DCNS
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : 90% du commerce mondial se fait par voie maritime. En conséquence, le transport maritime est l'un des principaux contributeurs à la pollution atmosphérique : 3 % des émissions totales de gaz à effet de serre dans le monde. La propulsion navale électrique est l'un des candidats pour remplacer les systèmes de propulsion thermique conventionnels.

Dans un navire électrique, des turbines à gaz ou des générateurs diesel produisent de l'électricité qui est ensuite utilisée pour alimenter à la fois les moteurs de propulsion électriques et les charges auxiliaires. Le réseau électrique à bord peut être AC ou DC. Un tel système doit être optimisé afin de minimiser son coût et d'optimiser son efficacité. En particulier, si le navire suit un itinéraire fixe (comme un ferry), l'optimisation peut prendre en compte le cycle d'exploitation.



2SC7710 – Méthodes numériques et résolution des problèmes d'optimisation des systèmes d'énergies embarqués

Responsables : Maya HAGE HASSAN, Philippe DESSANTE

Département de rattachement : ENERGIE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'optimisation des systèmes d'énergie embarqués est une problématique rencontrée quotidiennement dans le monde industriel (aéronautique, spatial ou automobile). Les objectifs rencontrés sont le gain de volume, de coût (conception optimale ou coût d'opération), de performances ou d'efficacité. L'aspect système et multiphysique de la conception est désormais prise en compte afin de satisfaire au mieux à un cahier des charges de plus en plus exigeant.

Méthodes numériques parcourues : optimisation multicritères, estimation de paramètres, programmation dynamique, algorithmes stochastiques.

Dans le cadre de cette séquence thématique, on vous propose des projets sous quatre thèmes :

- **Efficacité énergétique**
- **Optimisation des actionneurs électriques**
- **Gestion optimale du réseau**
- **Optimisation d'une chaîne de propulsion**

Vous êtes invité à choisir le projet qui vous intéresse le plus sous chaque thème. A la fin on vous attribuera un seul projet.

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

ST7



Prérequis

Énergie Électrique conseillé

Science des transferts conseillé

Plan détaillé du cours (contenu)

Formulation du problème

Modèles relatifs à l'optimisation

Optimisation de systèmes d'énergie

Optimisation stochastique (recruit simulé, algorithmes génétiques, evolution différentielle)

Estimation de paramètres

Programation dynamique

Optimisation multisource

Optimisation multicritère

Déroulement, organisation du cours

Cours : 24h

TD/TP : 9h

Organisation de l'évaluation

Examen écrit de 1H30

Support de cours, bibliographie

Les présentations de cours

Les fichiers Matlab

Moyens

Cours, TD, TP, Projet de la ST

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Optimisation

Aspect Système

Optimisation des systèmes embarqués

Optimisation stochastique

Description des compétences acquises à l'issue du cours

L'étudiant sera capable de mettre en oeuvre une optimisation d'un système embarqué.

- formalisation du problème
- optimisation mathématique
- analyse des résultats
- multi objectifs



2SC7791 – Efficacité énergétique

Responsables : Tanguy PHULPIN, Bruno LORCET, Mohamed BENSETTI,

Maya HAGE HASSAN, Philippe DESSANTE

Département de rattachement : DOMINANTE - ENERGIE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

La problématique de l'optimisation énergétique des composants ou d'un système dans un procédé complexe de conversion d'énergie, est posée d'une part par une recherche de la baisse des coûts d'utilisation mais aussi par la réglementation qui impose des rendements de plus en plus élevés afin de maîtriser la demande électrique.

Il est donc nécessaire d'optimiser le rendement des composants tels les machines électriques, convertisseurs, ou travailler à l'échelle du système à titre d'exemple le vélo électrique, voiture, drone etc. . Bien entendu cette maximisation du rendement va à l'encontre d'une autre optimisation : celle du coût de fabrication. Une optimisation multicritère entre l'efficacité et le coût sera donc mise en place.

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

ST7



2SC7792 – Optimisation des actionneurs électriques

Responsables : Amir ARZANDE, Philippe DESSANTE, Jean-Claude VANNIER,
Maya HAGE HASSAN

Département de rattachement : DOMINANTE - ENERGIE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

La hausse du prix des énergies fossiles ainsi que les contraintes environnementales poussent le secteur automobile et de la mobilité à se tourner de plus en plus vers la traction électrique en remplacement ou complément du moteur thermique.

Le moteur électrique dans le véhicule n'est pas utilisé sur un unique point de fonctionnement comme c'est le cas pour une application statique mais doit répondre aux sollicitations de la conduite. Pour modéliser ces comportements, de nombreux cycles tests routiers sont utilisés.

L'optimisation de la chaîne de traction en tant que système est rendu donc compliquée et coûteuse par le grand nombre de points de fonctionnement engendré par ces cycles. Des techniques de réduction seront donc utilisés pour optimiser les rendements ou les masses des systèmes.

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

ST7

Prérequis

Energie Electrique souhaité

Organisation de l'évaluation

Soutenance de projet



Moyens

Salle de cours (25 pers) reconfigurable, avec vidéoprojection et WiFi, Matlab/Simulink

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre le dimensionnement sur cycle des actionneurs
- Formuler et reformuler un problème d'optimisation
- Comprendre les difficultés et les contraintes liés à ce type d'optimisation
- Modéliser et optimiser un actionneur électrique et le dimensionner sur un cycle routier

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.



2SC7793 – Gestion optimale du réseau

Responsables : Martin HENNEBEL, Philippe DESSANTE, Marc PETIT, Jing

DAI

Département de rattachement : DOMINANTE - ENERGIE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

des projets seront proposés sur le thème de l'optimisation des réseaux électriques. Cela peut concerner la gestion de la recharge de flottes de véhicules électriques, en lien avec les contraintes d'un réseau électrique. Cela concerne aussi la gestion de sites de consommation avec une production locale, par exemple dans le cadre d'une stratégie d'autoconsommation individuelle ou collective.

Prérequis

bases sur les méthodes d'optimisation



2SC7794 – Optimisation d'une chaîne de propulsion

Responsables : Loïc QUEVAL, Maya HAGE HASSAN, Philippe DESSANTE

Département de rattachement : DOMINANTE - ENERGIE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

90% du commerce mondial se fait par voie maritime. En conséquence, le transport maritime est l'un des principaux contributeurs à la pollution atmosphérique : 3 % des émissions totales de gaz à effet de serre dans le monde. La propulsion navale électrique est l'un des candidats pour remplacer les systèmes de propulsion thermique conventionnels.

Dans un navire électrique, des turbines à gaz ou des générateurs diesel produisent de l'électricité qui est ensuite utilisée pour alimenter à la fois les moteurs de propulsion électriques et les charges auxiliaires. Le réseau électrique à bord peut être AC ou DC. Un tel système doit être optimisé afin de minimiser son coût et d'optimiser son efficacité. Notez que si le navire suit un itinéraire fixe (comme un ferry), l'optimisation peut prendre en compte le cycle d'exploitation.

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

ST7

Prérequis

aucun

Organisation de l'évaluation

En fin de projet, chaque groupe présente son analyse. Les données du réseau optimisé de chaque groupe sont utilisées par l'équipe encadrante pour évaluer le travail de chaque groupe.

Support de cours, bibliographie



aucun

Moyens

Salle de cours (25 pers) reconfigurable, avec vidéoprojection et WiFi.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre les différentes architectures du réseau électrique d'un navire électrique.
- Maîtriser les différentes étapes de la conversion de l'énergie dans un navire électrique.
- Comprendre les difficultés et les contraintes liés aux réseaux électriques embarqués.
- Modéliser et optimiser un réseau électrique embarqué, en prenant en compte le cycle d'exploitation.

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.



ST7 – 78 – SMART GRIDS ET DEFI ENERGETIQUE : GESTION DE L'ENERGIE EN SITE ISOLE

Dominante : GSI (Grands Systèmes en Interaction), ENE (Energie)

Langue d'enseignement : Anglais

Campus où le cours est proposé : Rennes

Problématique d'ingénieur

Ce sujet s'intéresse aux problématiques associées à une transition vers un monde plus juste et durable en termes d'accès à l'énergie. En effet, certains sites, habitations ou autres, ne sont pas et ne peuvent pas être reliés au réseau de distribution à cause de la complexité technique de raccordement et d'extension du réseau ou parce que le coût d'une telle opération n'est, soit pas justifié ou n'est pas envisageable pour des zones situées dans des régions pauvres du monde. Il est alors nécessaire de proposer des solutions basées sur le développement de microgrids. Ces derniers permettent de déployer localement des installations collectives de taille réduite grâce à des systèmes hybrides avec production et stockage décentralisés, gestion intelligente de la production, du stockage et de la demande de chaque utilisateur.

Le déploiement de microgrids nécessite une approche système où les questions suivantes se posent :

- comment gérer un système multi composants soumis à différentes contraintes,
- comment gérer et prendre en compte la multiplicité des parties prenantes : usagers, collectivité, financeurs, normes, ...
- comment gérer le compromis entre le coût économique, l'impact environnemental, ainsi que la qualité de service.

Tout au long de la séquence thématique (modules contexte et enjeux, cours spécifique, projet) les étudiants aborderont ces questions. Ils s'intéresseront à la définition du besoin pour une situation donnée, à la modélisation et à la formalisation du problème d'optimisation. Ils seront amenés à proposer des solutions techniquement et économiquement fiables dans un environnement incertain.

Prérequis nécessaires

Cours de Modélisation, Probabilités/Statistiques, Automatique

Modules contexte et enjeux : ces modules comprennent une conférence introductive de la thématique, des interventions portant sur les verrous



technologiques et scientifiques, ainsi qu'une présentation des projets associés.

Cours spécifique (60 HEE) : Energies renouvelables et microgrids

- **Brève description** : Face aux impacts environnementaux négatifs de toute production d'énergie et à l'épuisement des ressources fossiles, la transition vers des sources renouvelables est une tendance de fond. Si les énergies renouvelables n'ont fourni que 25 % de la production mondiale d'électricité en 2018, cette part est en forte croissance, avec un triplement sur 10 ans de l'éolien et du solaire.

Ces nouvelles énergies posent des questions spécifiques que ce cours propose d'aborder :

- quels sont les gisements éoliens et solaires et les grands principes de leur conversion en électricité ?
- quelles sont les technologies de stockage, en particulier les batteries, aptes à traiter la variabilité de ces sources ?
- quels sont les enjeux techniques, environnementaux et économiques de ces technologies ?

Par ailleurs, l'éolien et le solaire sont des sources nettement plus décentralisées que les centrales thermiques classiques. Ainsi, la production d'électricité se rapproche des lieux de consommation, ce qui fait émerger la notion de « microgrid », analogue des circuits courts en agriculture.

Un microgrid est un petit système électrique qui intègre des productions et des consommations dans un périmètre délimité (bâtiment, quartier, île...) et qui est équipé d'une gestion locale des flux d'énergie. Un microgrid peut être autonome ou connecté à un grand réseau. S'il est connecté, il se comporte comme un acteur unique et intelligent, capable par exemple d'acheter de l'électricité au marché de gros aux meilleurs moments ou de fournir des services réseau. L'intégration de tous ces composants et de ces fonctions pose des questions d'optimisation système abordées dans ce cours.

De par leur petite taille, la question de la fiabilité est une question importante pour les microgrids. Ce cours propose d'étudier les méthodes de la sûreté de fonctionnement pour analyser les risques de défaillance, planifier la maintenance et réagir aux pannes...

Projet : Microgrid insulaire décarbonné

- **Partenaire associé** :
- **Lieu** : Campus de Rennes



- **Brève description** : Près d'un milliard de personnes n'ont pas encore accès à l'électricité (IEA 2018). Ces populations se trouvent souvent en zone isolée dans des régions rurales ou insulaires. Ainsi, pour 3/4 d'entre elles, il n'est pas économiquement efficace de leur apporter l'électricité en agrandissant les grands réseaux électriques existants. L'électrification doit donc se faire à l'échelle locale, par ce qui constitue des micro-réseaux ou microgrids.

La génération d'électricité dans un microgrid peut se faire par des moyens fossiles (groupes Diesel) ou par des énergies renouvelables (panneaux solaires...). Grâce aux progrès technologiques, ces dernières sont généralement moins chères. Cependant, leur intermittence pousse à les compléter par des moyens plus onéreux mais pilotables (Diesel, stockage par batterie...). La taille de chacun des composants d'un microgrid (appelé son « dimensionnement ») est donc à optimiser selon différents critères : le coût économique bien sûr, mais aussi la qualité de service, l'indépendance énergétique ou les émissions de gaz à effet de serre. La gestion des flux d'énergie (ex. : arbitrage entre Diesel et batterie) est également à optimiser. Ce projet propose d'aborder ces différentes problématiques d'optimisation sur le cas concret d'un site isolé insulaire.



2SC7810 – Energies renouvelables et micro grids

Responsables : Pierre HAESSIG, Nabil SADOU

Département de rattachement : DOMINANTE - ENERGIE

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Cours ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Face aux impacts environnementaux négatifs de toute production d'énergie et à l'épuisement des ressources fossiles, la transition vers des sources renouvelables est une tendance de fond. Si les énergies renouvelables n'ont fourni que 25 % de la production mondiale d'électricité en 2018, cette part est en forte croissance, avec un triplement sur 10 ans de l'éolien et du solaire.

Ces nouvelles énergies posent des questions spécifiques que ce cours propose d'aborder :

- Quels sont les gisements éolien et solaire et les grands principes de leur conversion en électricité ?
- Quelles sont les technologies de stockage, en particulier les batteries, aptes à traiter la variabilité de ces sources ?
- Quels sont les enjeux techniques, environnementaux et économiques de ces technologies ?

Par ailleurs, l'éolien et le solaire sont des sources nettement plus *décentralisées* que les centrales thermiques classiques. Ainsi, la production d'électricité se rapproche des lieux de consommation, ce qui fait émerger la notion de « microréseau », analogue des circuits courts en agriculture.

Un microréseau est un petit système électrique qui intègre des productions et des consommations dans un périmètre délimité (bâtiment, quartier, île...) et qui est équipé d'une gestion locale des flux d'énergie. Un microréseau peut être autonome ou connecté à un grand réseau. S'il est connecté, il se comporte comme un acteur unique et intelligent, capable



par exemple d'acheter de l'électricité au marché de gros aux meilleurs moments ou de fournir des services réseau. L'intégration de tous ces composants et de ces fonctions pose des questions d'optimisation système abordées dans ce cours.

De par leur petite taille, la question de la fiabilité est une question importante pour les microréseaux. Ce cours propose d'étudier les méthodes de la *sûreté de fonctionnement* pour analyser les risques de défaillance, planifier la maintenance et réagir aux pannes...

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

ST7

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Energies renouvelables (EnR) et stockage :

- Solaire, éolien, hydrolien, bio-masse, ...
- Modélisation et prédictibilité de la production
- Besoin de flexibilité, technologies de stockage

Micro grids :

- Architecture des réseaux électriques et modélisation
- Dimensionnement et gestion opérationnelle : prise en compte des impacts des EnR de sur le réseau, Qualité de Service (tension, fréquence...)

Fiabilité du réseau :

- Indicateurs de fiabilité
- Organes de sécurité
- Reconfigurabilité
- Défaillance et fiabilité des composants

Modèles économiques des micro grids :

- Plan d'investissement, rentabilité
- Étude des incertitudes et management des risques
- Marchés de l'énergie, signal-prix, trading

Déroulement, organisation du cours

Cours (~50%): 18h TD , TP (~50%) : 6h+9h



Organisation de l'évaluation

examen écrit - 1h30 (50%), rapport de TP (50%)

Moyens

Cours. TP.

Ce cours contient des cours magistraux ainsi qu'une grande part de travaux pratiques portant sur les différents sujets traités en cours.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce module, les élèves seront capables de :

- Comprendre le contexte et les enjeux économiques, écologiques et sociétaux des microgrids.
- Identifier et décrire les différentes sources de production et de stockage d'énergie.
- Dimensionner un microgrid intégrant différentes sources de production et de stockage d'énergie en prenant en compte les contraintes techniques /non techniques ainsi que les incertitudes
- Mener des analyses de performances et de sûreté de fonctionnement

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Comprendre le contexte et les enjeux économiques, écologiques et sociétaux des microgrids. C1.1 , C4.1
- Identifier et décrire les différentes sources de production et de stockage d'énergie. C1.2
- Dimensionner un microgrid intégrant différentes sources de production et de stockage d'énergie en prenant en compte les contraintes techniques /non techniques ainsi que les incertitudes. C1.2, C1.4, C3.6, C4.2
- Mener des analyses de performances et de sûreté de fonctionnement. C3.6



2SC7890 – Micro grid insulaire décarbonné

Responsables : Nabil SADOU

Département de rattachement : DOMINANTE - ENERGIE, DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Projet ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Près d'un milliard de personnes n'ont pas encore accès à l'électricité (IEA 2018). Ces populations se trouvent souvent en zone isolée dans des régions rurales ou insulaires. Ainsi, pour 3/4 d'entre elles, il n'est pas économiquement efficace de leur apporter l'électricité en agrandissant les grands réseaux électriques existants. L'électrification doit donc se faire à l'échelle locale, par ce qui constitue des micro-réseaux ou microgrids.

La génération d'électricité dans un micro-réseau peut se faire par des moyens fossiles (groupes Diesel) ou des énergies renouvelables (panneaux solaires...). Grâce aux progrès technologiques, ces dernières sont généralement moins chères. Cependant, leur intermittence pousse à les compléter par des moyens plus onéreux mais pilotables (Diesel, stockage par batterie...). La taille de chacun des composants d'un micro-réseau (appelé son « dimensionnement ») est donc à optimiser selon différents critères : le coût économique bien sûr, mais aussi la qualité de service, l'indépendance énergétique ou les émissions de gaz à effet de serre. La gestion des flux d'énergie (ex. : arbitrage entre Diesel et batterie) est également à optimiser. Ce projet propose d'aborder ces différentes problématiques d'optimisation sur le cas concret d'un site isolé insulaire.

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

ST7



Prérequis

Cours d'optimisation

Plan détaillé du cours (contenu)

Définition du problème :

Données :

- Recueil de donnée de production et de consommation
- Analyse et mise en forme des données

Modélisation et formalisation :

- Définition des critères d'optimisation
- Formalisation du problème d'optimisation

Résolution :

- Choix de la méthode de résolution
- Analyse de sensibilité

Déroulement, organisation du cours

Projet 80h

Organisation de l'évaluation

Rapport de projet et présentation orale

Moyens

Projet en groupe

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce module, les élèves seront capables de :

- Comprendre le contexte et les enjeux économiques, écologiques et sociétaux des microgrids.
- Formaliser un problème d'optimisation
- Choisir la méthode de résolution adaptée.
- Travailler en groupe et présenter les résultats

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Comprendre le contexte et les enjeux économiques, écologiques et sociétaux des microgrids. C1.1
- Formaliser un problème d'optimisation C1.2, C1.3, C2.1
- Choisir la méthode de résolution adaptée C2.1, C6.1
- Présenter les résultats C7.1
- Travail en groupe C8.1, C8.4



ST7 – 79 – LE NUMERIQUE AU SERVICE DU FACTEUR HUMAIN

Dominante : Info&Num (Informatique & Numérique), MDS (Mathématiques, Data Sciences), VSE (Vivant-Santé, Environnement)

Langue d'enseignement : Anglais

Campus où le cours est proposé : Rennes

Problématique d'ingénieur

Le recours massif à l'automatisation informatique de nombreux procédés, aux agents de prise de décision de type IA, et à l'analyse de jeux de données toujours plus grands, questionnent le rapport de l'humain face aux technologies de l'information.

En réalité, la vitesse actuelle du développement de ces mêmes technologies, et la richesse des outils qui voient le jour, nous permettent d'aller au plus proche encore de l'humain. Analyse des expressions et émotions par extraction de données multi-capteurs (webcam, kinect, micro, EEG, sudation), modélisation du comportement humain dans des contextes critiques (crise, problèmes de santé, dépression) et analyse poussée des interactions entre différents agents, sont autant de possibilités offertes par les outils du numérique.

Pour la recherche en sciences humaines ou la médecine, ces nouvelles méthodes représentent l'opportunité d'affiner notre compréhension des sujets, des patients et de leur rapport au monde ou aux autres (comportement autistiques, contextes de collaboration).

L'ingénieur CentraleSupélec sera capable de comprendre comment mettre le numérique au service du facteur humain, quelles en sont les possibilités et les limites, et quelles technologies sont appropriées pour construire l'informatique de demain.

Prérequis nécessaires

Cours de d'Algorithmique et Complexité, Statistiques et Apprentissage, Traitement du signal

Modules contexte et enjeux : ces modules comprennent une conférence introductive de la thématique, des interventions portant sur les verrous technologiques et scientifiques, ainsi qu'une présentation des projets associés. L'ensemble permettra de mettre en évidence une problématique commune (l'analyse du comportement non verbal) avec des domaines



d'application très variés, et donnera une introduction à la psychologie sociale, sur les aspects langage verbal et non verbal.

Cours spécifique (60 HEE) : Analyse d'image et son 2D-3D

- **Brève description** : le cours abordera trois parties importantes nécessaires pour la réalisation des projets :

Analyse d'image :

 filtrage : passe haut, passe bas, filtre de Canny

 segmentation : par région (WaterShed, Split&Merge, Region Growing)

 détection de caractéristiques : LBP, SIFT, HOG, ...

Reconnaissance de formes :

 détection de contour et transformée de Hough

 modèles déformables

 pattern matching : corrélation, recalage 3D par ICP rigide

Analyse de son :

 fondamentaux de l'analyse audio : ondelettes, cepstres, ...

 analyse vocale

 son 3D : fonction de transfert, spatialisation

Projet : Ce que vous dites sans le vouloir : décryptage et analyse automatique des comportements non verbaux

- **Partenaire associé** :

- **Lieu** : Rennes

- **Brève description** : Tous les ans, les communautés audio, vidéo, machine learning se regroupent autour de challenges internationaux de recherche sur l'analyse automatique des comportements humains : émotions, dépression, humeur, détection de mouvements, ... (ex: <http://sspnet.eu/avec2017/>). Le projet consiste en la participation à l'un de ces challenges. Il s'agit, à partir d'un large corpus de données représentant des sujets en action, de déterminer automatiquement des informations sur leur comportement et leurs émotions.

Chaque équipe projet se focalise sur une étude particulière (ex : la voix, le visage ...), sachant que l'ensemble des équipes s'intégrera dans une seule et même participation au challenge international.

Il s'agira donc de choisir et mettre en application certaines méthodes vues en cours d'analyse d'image et son 3D. Les outils de classification et de régression donneront lieu à la mise en œuvre d'algorithmes d'optimisation (régression par réseau de neurone, logique floue, SVM,...).



2SC7910 – Analyse d'image et son 2D-3D

Responsables : Catherine SOLADIE

Département de rattachement : CAMPUS DE RENNES

Langues d'enseignement : FRANCAIS, ANGLAIS

Type de cours : Cours ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

La vue, l'ouïe, le toucher, l'odorat et le goût. C'est au travers de nos 5 sens que nous appréhendons notre environnement et que nous interagissons avec lui. Depuis quelques années, les êtres vivants ne sont plus les seuls à interagir et à comprendre le monde qui les entoure. Des outils automatiques d'analyse d'image et de son, de plus en plus performants, sont créés chaque jour. Que ce soit pour de la conduite autonome, le spatial, le médical, les champs d'applications sont multiples. Et plus récemment, ces techniques ont pris un nouvel élan avec le Deep Learning et les modèles génératifs. Il est désormais difficile de reconnaître une vraie image d'une fausse image ! Et il devient facile de faire dire, artificiellement mais efficacement, ce que l'on veut à qui l'on veut...

Dans ce module, vous découvrirez un overview des techniques d'analyse et de synthèse d'image et de son 2D et 3D, au travers de cas concrets d'application. Vous serez les acteurs de la compréhension et de la modification artificielle de votre environnement !

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

ST7

Prérequis

Informatique :

- Algorithmes
- Langage de programmation (bases)



Traitement de signal

Statistiques et apprentissage

Plan détaillé du cours (contenu)

Contexte (5%)

- Introduction à la matière
- Mise en contexte historique.
- Lien avec les matières du programme.

Analyse d'image (20%)

- Filtrage : passe haut, passe bas, filtre de Canny
- Segmentation : waterShed, Split&merge, region growing
- Extraction de caractéristiques : LBP, SIFT, HOG

Reconnaissance de formes (25%)

- Détection de contour et transformée de Hough
- Modèles déformables 2D, 3D
- Pattern matching : corrélation, recalage 3D par ICP rigide

Analyse du son (25%)

- Signaux audio et représentation temps-fréquence
- Production et modélisation de la parole
- Audio spatial

Synthèse d'image et de son (10%)

- Synthèse d'image 3D: des fondamentaux à l'animation
- Stéréoscopie

Etude personnelle (15%)

- Choix d'un sujet
- Exploration et présentation

Déroulement, organisation du cours

8. Bureau d'étude : alternance d'éclairage théorique et de pratique en présentiel : 50% (30 HEE)
9. Evaluation présentiel : 10% (6 HEE)
10. Rapport des bureau d'études, révision et préparation thème en non présentiel : 40% (24 HEE)



Organisation de l'évaluation

QCM de connaissances théoriques : 1/3 de la note

Soutenance du projet de réalisation d'un BE : 1/3 de la note

Contenu et justification du BE : 1/3 de la note

Support de cours, bibliographie

For audio, videos available

online: <https://www.animations.physics.unsw.edu.au/waves-sound/oscillations/index.html>

For image synthesis: OpenGL Programming Guide

Moyens

Equipe enseignante :

- Catherine SOLADIE
- Renaud SEGUIER
- Simon LEGLAIVE
- Doctorants de l'équipe de recherche FAST

Outils logiciels et nombre de licences nécessaires :

- Librairies python
- Anaconda et Jupyter Notebooks
- OpenGL

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement, vous serez capable de :

- Citer de nombreuses techniques d'extractions de caractéristiques audio et vidéo (C2.1 et C1.4)
- Choisir le traitement pertinent pour l'analyse, la compréhension et la synthèse de données audio et vidéos (C3.7 et C6.4)
- Concevoir, réaliser et valider un système complet de traitement audio et/ou vidéo (C2.5, C3.8 et C6.3)
- Comprendre et expliquer de nouveaux algorithmes en traitement de l'image et du son (C2.3)

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.



- C2.5 Maîtriser les compétences d'un des métiers de base de l'ingénieur (au niveau junior)
- C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles
- C3.8 Savoir concevoir, réaliser et passer à l'industrialisation

Et aussi :

- C6.3 Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel
- C6.4 Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle
- 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



2SC7990 – Ce que vous dites sans le vouloir : décryptage et analyse automatique des comportements non verbaux

Responsables : Catherine SOLADIE

Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES, DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE, DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT

Langues d'enseignement : ANGLAIS, FRANCAIS

Type de cours : Projet ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce que vous dites sans le vouloir : décryptage et analyse automatique des comportements non verbaux.

Lettres, mots, phrases : les algorithmes dont nous disposons aujourd'hui sont de plus en plus efficaces pour décrypter notre grammaire, et comprendre ce que nous pouvons dire. Et pourtant cela ne couvre qu'une partie infime de notre communication.

Joie, résignation, ironie : seuls notre corps et le ton de notre voix dévoilent nos intentions profondes, notre message réel, et la compréhension automatisée des comportements et émotions humaines est un défi de taille.

Pour le relever, tous les ans, les communautés audio, vidéo, machine learning se regroupent autour de challenges internationaux de recherche sur l'analyse automatique des comportements humains : émotions, dépression, humeur, détection de mouvements, ... (ex: <http://sspnet.eu/avec2017/>).

À travers ce projet, vous pourrez participer à l'un de ces challenges. Vous disposerez d'un large corpus de données représentant des personnes en



action et devrez déterminer automatiquement leur comportement, leurs émotions.

Chaque équipe projet se focalise sur une étude particulière (ex : la voix, le visage, ...), et toutes les équipes réuniront leurs travaux pour déposer collectivement une participation unique au challenge international.

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

ST7

Prérequis

Statistiques et apprentissage.

Traitement de signal

Informatique :

- Algorithmes
- Langage de programmation (bases)

Plan détaillé du cours (contenu)

Contexte (5%)

- Introduction par l'équipe de recherche.
- Organisation en groupe.
- Mise à disposition des données du challenge.

Etat de l'art (20%)

- Rechercher et comprendre les papiers de recherches sur le sujet.
- Reproduire un sous ensemble choisi de méthodes de l'état de l'art (elles serviront de base pour vos travaux).

Pré-traitement, compréhension et visualisation des données (20%)

- En fonction du thème choisi (voix, visage, ...), extraire les caractéristiques intéressantes pour votre analyse
- Explorer les modes de représentation visuelle pertinents
- Utiliser ces représentations pour guider votre stratégie d'analyse

Analyse statistiques et apprentissage (40%)

- Choisir et construire vos modèles d'analyse et d'apprentissage
- Quantifier vos résultats et comparer les à l'état de l'art



Points de visibilité et présentation finale (15%)

- 3 points de visibilité seront à mener pour présenter votre avancement au fur et à mesure du projet (roulement des membres de l'équipe).
- Structurer vos présentations avec les objectifs, l'état de l'art, les schémas d'architecture, les tableaux de résultats.
- En fin de projet, présenter en équipe vos résultats à nos partenaires industriels et académiques.
- Fournir un rapport scientifique

Déroulement, organisation du cours

- Immersion dans l'équipe de recherche FAST : encadrement par les chercheurs, doctorants et post-doctorants.
- Plusieurs équipes de 2 à 4 étudiants. Coordination des différentes équipes pour la production d'un résultat final global unique.
- Présentation des résultats à nos partenaires industriels (entreprises et start-ups) et académiques.

Organisation de l'évaluation

Points de visibilité individuels : 1/4 de la note

Soutenance devant les partenaires : 1/4 de la note

Résultats scientifiques (performances du système) : 1/4 de la note

Rapport scientifique : 1/4 de la note

Moyens

Equipe enseignante :

- Catherine SOLADIE
- Renaud SEGUIER
- Simon LEGLAIVE
- Doctorants de l'équipe de recherche FAST

Outils logiciels et nombre de licences nécessaires :

- TensorFlow ou équivalent (gratuit)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours



A la fin de cet enseignement, vous serez capable de :

- Naviguer parmi les papiers de recherche d'un sujet, les lire et les comprendre (C1.5)
- Reproduire un sous-ensemble choisi de méthodes de l'état de l'art en traitement de signal et/ou machine learning (C3.6)
- Mixer des compétences issues du traitement de signal, de l'analyse statistique et de l'apprentissage afin d'analyser les données (C1.5)
- Explorer des modes de représentation visuelle pertinents pour vos données (C6.5, C6.7)
- Utiliser ces représentations pour guider votre stratégie d'analyse (C3.7)
- Choisir et construire vos modèles d'analyse et d'apprentissage (C1.3, C6.4)
- Quantifier vos résultats et les comparer à l'état de l'art (C2.4, C3.6)
- Réaliser un projet scientifique d'envergure en groupe (C8.3)
- Décrypter un certain nombre de messages non-verbaux lors d'interactions humaines (C7.4)

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
- C2.4 Créer de la connaissance, dans une démarche scientifique
- C3.6 Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées
- C6.5 Exploiter tout type de données, structurées ou pas, y compris massives.
- C8.3 Faire appel à l'expertise des autres et repousser ses propres limites. Identifier et exploiter les richesses et les talents.

Et aussi :

4. C1.3 Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation
5. C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles
6. C6.4 Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle
7. C6.7 Exploiter les connexions possibles entre objets et personnes
8. C7.4 Maîtriser le langage parlé, écrit et corporel. Maîtriser les techniques de base de communication
9. C8.4 Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation



ST7 – 80 – SEPARATION DE SOURCES POUR UNE EXPLOITATION OPTIMALE DE SIGNAUX

Dominante : MDS (Mathématiques, Data Science)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Metz

Problématique d'ingénieur

Pour augmenter la productivité, réduire l'impact écologique ou améliorer la qualité de services, les industriels et les centres de recherche doivent répondre aux problématiques d'analyse de données constituées de superpositions de signaux. En effet, dans de nombreuses applications, les signaux de capteurs sont des mélanges issus de plusieurs sources qui émettent en même temps, et l'information portée par ces signaux n'est exploitable que si l'on arrive à séparer ce qui provient de chacune des sources. Par exemple, en exploration pétrolière les industriels réalisent aujourd'hui des campagnes d'acquisition en mode sources simultanées (plusieurs sources émettent en même temps). Il faut alors distinguer dans les signaux des géophones les échos dus aux différentes sources pour obtenir une image du sous-sol. Ou dans un magasin « hi-tech », un robot qui a commencé une conversation avec un interlocuteur peut être perturbé par d'autres clients ou par un bruit ambiant, alors qu'il doit poursuivre sa conversation avec le même interlocuteur. Ou encore pour la prise de son dans une conférence ou une table ronde avec plusieurs locuteurs, plutôt que de donner un microphone à chaque conférencier, il serait pratique de séparer ce que dit chaque locuteur à partir d'enregistrements de micros placés en des positions fixes. Les solutions à ces problématiques reposent sur les mêmes concepts mathématiques :

- la connaissance d'un espace de représentation des données adapté au problème traité, où en général ces dernières sont « parcimonieuses » (autrement dit les données peuvent être représentées par un vecteur dont la matrice des coordonnées est creuse, dans un espace de grande dimension) ;
- la minimisation d'un critère qui dépend des données ; et
- une phase d'apprentissage et de tests pour vérifier que la solution obtenue se généralise et éviter ainsi le sur-apprentissage.

Prérequis nécessaires



Cours de probabilité, de statistiques, de traitement du signal et d'algorithmique de première année ; bonne maîtrise d'un environnement de programmation (Matlab, Python, ...).

Modules contexte et enjeux : ces modules comprennent une conférence introductive de la thématique, des interventions portant sur les verrous technologiques et scientifiques, ainsi qu'une présentation des projets associés.

Cours spécifique (60 HEE) : Représentation parcimonieuse des signaux

- **Brève description** : Ce cours présente les outils mathématiques d'analyse de signaux et leurs propriétés (compléments sur la transformée de Fourier, sous/sur-échantillonnage, signal harmonique, STFT, analyse multi-résolution, décompositions en ondelettes de Paley-Littlewood et bi-orthogonale, bancs de filtres à reconstruction parfaite) ainsi que des méthodes de décomposition de signaux (Matching Pursuit, Basis Pursuit, Analyse en composantes indépendantes).

Projet n°1 : Suivi d'un locuteur par un robot

- **Partenaire associé** : Orange
- **Lieu** : Campus de Metz
- **Brève description** : Les robots sont de plus en plus présents dans notre environnement. Quand un robot a commencé une conversation avec un locuteur, le problème est de conserver le focus sur l'interlocuteur alors que plusieurs personnes discutent autour du robot, ou qu'un autre interlocuteur s'adresse à lui. La société ORANGE souhaite résoudre ce problème à partir d'un signal audio monophonique enregistré par le robot uniquement, sans ajouter d'autres modalités.

La problématique consiste donc à trouver un ou plusieurs espaces de représentation des données bien adapté(s) au problème du suivi d'un locuteur; apprendre à partir d'un faible nombre d'échantillons (c'est-à-dire sur une petite durée d'enregistrement) les caractéristiques du locuteur qu'il faut suivre; éviter le sur-apprentissage qui peut survenir si les caractéristiques apprises dépendent des mots dits par le locuteur.

Projet n°2 : Séparation de sources sonores à partir d'enregistrements de plusieurs microphones

- **Partenaire associé** : CentraleSupélec, plateforme audio de la « smartroom » à Metz
- **Lieu** : Campus de Metz
- **Brève description** : Il existe beaucoup de situations concrètes dans lesquelles on souhaite capter un son (par exemple lors d'un reportage, lors



d'une conférence, lors d'un spectacle) afin de permettre soit de l'enregistrer à des fins de rediffusion, soit de l'amplifier en direct pour que tous les participants aient une bonne perception. Dans certaines de ces situations, plusieurs sources peuvent intervenir (par exemple, une conférence ou table ronde dans laquelle plusieurs locuteurs sont présents).

Afin de permettre une bonne intelligibilité, on place en général un microphone devant chaque conférencier, ou, au théâtre, on place un microphone émetteur radio directement sur les acteurs.

Une amélioration notable du service rendu pourrait être d'utiliser un réseau de microphones fixe (par exemple au plafond) et d'avoir un algorithme de traitement permettant de séparer les sources, donnant ainsi l'illusion d'avoir un microphone individuel par conférencier ou par acteur. Cela éviterait les problèmes de préparation, les oublis d'allumer le microphone quand on souhaite parler, ... En outre, si le système est capable de fournir la position de chacune des sources, il sera également possible de reproduire cette position au moyen d'un système holophonique.

La problématique consiste donc, à partir d'un réseau de microphones fixe et en supposant qu'il y ait un nombre fini de sources (par exemple de locuteurs), à assurer la séparation des sources et fournir en sortie un canal par source (locuteur), lequel canal contiendrait également l'information de la position de cette source. Pour simplifier, on commencera par supposer que les locuteurs se trouvent à des positions fixées et connues à l'avance. C'est le cas, par exemple, des conférenciers d'une table ronde. Dans ce cas, le système pourrait être étalonné au préalable en utilisant des générateurs de bruit blanc, puis pourrait fonctionner en utilisant les paramètres fixes déterminés ainsi.



2SC8010 – Représentations parcimonieuses des signaux

Responsables : Stephane ROSSIGNOL

Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Cours ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

La représentation parcimonieuse des signaux est un des concepts fondamentaux en science des données. Les représentations parcimonieuses permettent de représenter des signaux complexes (comme des sons) par un petit nombre de coefficients non nuls, ceci dans des espaces de très grandes dimensions. Elles permettent ainsi de trouver des structures ou des régularités dans des espaces de très grandes dimensions. Ces représentations sont au cœur de la compréhension mathématique de l'efficacité des algorithmes et techniques récentes d'apprentissage supervisé ou non supervisé et des transformations de scattering.

Le cours présente les outils mathématiques d'analyse de signaux et leurs propriétés (compléments sur la transformée de Fourier, sous-échantillonnage, sur-échantillonnage, signal harmonique, STFT, analyse multi-résolution, décompositions en ondelettes de Paley-Littlewood et bi-orthogonale, bancs de filtres à reconstruction parfaite) ainsi que des méthodes de décomposition de signaux (Matching Pursuit, Basis Pursuit, Analyse en composantes indépendantes).

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

ST7

Prérequis

Les cours de probabilité, de statistiques, de traitement du signal (1CC4000



et 1CC5000) et d'algorithmique de première année (1CC1000) ; une bonne maîtrise d'un environnement de programmation (Matlab/Octave, Python).

Plan détaillé du cours (contenu) :

Analyse harmonique: rappels et compléments sur la transformée de Fourier (sous/sur-échantillonnage, TFD, bancs de filtres, signal harmonique, transformée de Hilbert, transformée de Fourier à court terme).

Analyse multi-résolution: décomposition en ondelettes de Paley-Littlewood, bi-orthogonales, bancs de filtres à reconstruction parfaite.

Décomposition d'un signal: dictionnaire, représentation parcimonieuse, *matching pursuit*, *matching pursuit* orthogonal, *basis pursuit*.

Analyse en composantes indépendantes: notions d'entropie, de débit d'entropie d'un signal aléatoire, information mutuelle, analyse en composantes indépendantes (ACI), ACI dans une base orthonormée, déconvolution aveugle.

Notions d'apprentissage supervisé: introduction aux notions de base d'apprentissage, base de tests, sur-apprentissage, risque empirique, risque réel (ou de généralisation).

Déroulement, organisation du cours

17,5h Cours magistral

9h Travaux dirigés

8h Travaux pratiques (sur machines). Un sujet courant sur la séquence.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu (50% de la note, sous forme de 2/3 QCM en début de TD ; 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. En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Support de cours, bibliographie



A wavelet tour of signal processing, Stéphane Mallat

<https://www.di.ens.fr/~mallat/papiers/WaveletTourChap1-2-3.pdf>

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

- Savoir concevoir une chaîne de traitement du signal complète.
- Savoir 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.
- Savoir utiliser à bon escient les principes de base et approfondis du traitement des signaux numériques et analogiques.

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.



2SC8092 – Suivi d'un locuteur par un robot

Responsables : Michel BARRET

Département de rattachement :

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Projet ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le projet, qui fait partie de la ST7-Optimisation "Séparation de sources pour une exploitation optimale des signaux", portera sur une problématique de séparation de sources posée par un partenaire client : ORANGE, Informatique Cognitive à Arcueil. Les élèves devront approfondir en semi-autonomie (c'est-à-dire sans cours magistraux) un domaine de connaissance propre au problème posé par le partenaire, par exemple un cours de Traitement de la parole et des sons. Ils bénéficieront des compétences d'encadrants qui les aideront à formaliser le problème, à prendre en main les données, à choisir un modèle, une méthode de résolution ... dimensionner le projet et identifier des étapes pour pouvoir fournir des livrables. Dans la phase d'ajustement du modèle aux données, une attention particulière devra être portée au risque de sur-apprentissage. Les problèmes rencontrés dans le projet mettront en exergue l'importance de la maîtrise d'un langage de programmation pour obtenir des solutions efficaces, par exemple pour gérer de gros volumes de données ou pour obtenir des temps d'exécution satisfaisants.

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

ST7

Prérequis

- Cours de *Probabilités* de 1A (CIP-EDP, 1SL1000)



- Cours de *Traitement du Signal* de 1A (1CC4000)
- Cours de *Statistique et apprentissage* de 1A (1CC5000)
- Cours *Système d'information et Programmation* de 1A (1CC1000).

Plan détaillé du cours (contenu)

Partenaire « client » pressenti : ORANGE, Informatique Cognitive à Arcueil.

Gain pour le partenaire « client » : augmenter la productivité, améliorer la qualité du service.

Contexte : les robots sont de plus en plus présents dans notre environnement, par exemple dans les boutiques ORANGE. Quand un robot a commencé une conversation avec un locuteur, le problème est de conserver le focus sur l'interlocuteur alors que plusieurs personnes discutent autour du robot, ou qu'un autre interlocuteur s'adresse à lui. La société ORANGE souhaite résoudre ce problème à partir d'un signal audio monophonique enregistré par le robot uniquement, sans ajouter d'autres modalités.

Problématiques : trouver un ou plusieurs espaces de représentation des données bien adaptés au problème du suivi d'un locuteur; apprendre à partir d'un faible nombre d'échantillons (c'est-à-dire sur une petite durée d'enregistrement) les caractéristiques du locuteur qu'il faut suivre; éviter le sur-apprentissage qui peut survenir si les caractéristiques apprises dépendent des mots dits par le locuteur.

Solution proposée : l'espace des coefficients des transformations de *scattering* semble bien adapté au problème du suivi d'un interlocuteur inconnu à partir d'un enregistrement de courte durée du locuteur. Les transformations de *scattering*, basées sur les décompositions en ondelettes, dépendent de méta-paramètres qu'il faut ajuster. Une heuristique recommande de les ajuster pour avoir une représentation la plus « parcimonieuse » des coefficients transformés. Différents classificateurs (linéaires, SVM, autre ?) devront être testés en apprentissage supervisé pour séparer au mieux des locuteurs dans l'espace des coefficients de *scattering*.

Problèmes d'optimisations rencontrés : l'ajustement des paramètres des SVM (linéaires et non linéaires) se fait en minimisant une erreur moyenne (en général quadratique) sous contraintes.

Déroulement, organisation du cours

Pendant toute la durée du projet il sera demandé aux élèves de tenir à jour un « cahier de laboratoire » précisant en quelques lignes pour chaque expérience ou test réalisé, ses motivations, les résultats obtenus, les codes



sources et les données utilisés. Durant la dernière semaine dédiée au projet, il sera demandé aux élèves :

- de fournir deux mises à jour du rapport de projet, l'une à mi-projet et l'autre à la fin ; et
- de réaliser deux soutenances en présence du partenaire, la première à mi-parcours précisera les travaux à réaliser pendant la deuxième moitié du projet et la seconde sera la soutenance finale du projet.

Un point d'avancement du projet avec lecture du « cahier de laboratoire » aura lieu régulièrement.

Organisation de l'évaluation

Les compétences seront évaluées dans deux mises en situation:

- en contrôle continu à l'occasion de points d'avancement et de la lecture du « cahier de laboratoire » (note individuelle CC);
- à l'occasion des deux soutenances (notes individuelles Sout1 et Sout2).

De plus, la qualité des livrables: rapport final et codes source commentés sera évaluée (note QL).

Note finale = $CC/3 + (Sout1 + 2 * Sout2)/6 + QL/6$.

En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Support de cours, bibliographie

Y. Luo & N. Mesgarani, "Conv-TasNet: Surpassing Ideal Time-Frequency Magnitude Masking for Speech Separation", *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, vol. 27, no. 8, pp. 1256 - 1266, August 2019.

Moyens

80 HEE (48 HPE) de projet réalisé en groupe d'élèves

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capables de :

- représenter et décomposer de façon "optimale" des signaux audio;
- ajuster un modèle à des données;
- utiliser un langage de programmation pour implanter de façon efficace un algorithme de traitement de données.



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.

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.



2SC8093 – Séparation de sources sonores à partir d'enregistrements de plusieurs microphones

Responsables : Jean-Louis GUTZWILLER

Département de rattachement : DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Projet ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce projet, qui fait partie de la séquence thématique 7 "Séparation de sources pour une exploitation optimale de signaux", s'intéresse à la séparation de sources multiples dans des signaux audio.

Il existe beaucoup de situations concrètes dans lesquelles on souhaite capter un son afin de permettre soit de l'enregistrer à des fins de rediffusion, soit de l'amplifier en direct pour que tous les participants aient une bonne perception.

Afin de permettre une bonne intelligibilité dans le cas de plusieurs intervenants, on place en général un microphone devant chaque conférencier, ou, au théâtre, on place un microphone émetteur radio directement sur les acteurs.

Une amélioration notable du service rendu pourrait être d'utiliser un réseau de microphones fixe et d'avoir un algorithme de traitement permettant de séparer les sources, donnant ainsi l'illusion d'avoir un microphone individuel par conférencier ou par acteur.

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

ST7

Prérequis

Cours de Probabilités de 1A (CIP-EDP, 1SL1000)

Cours de Traitement du Signal de 1A (1CC4000)



Cours de Statistique et apprentissage de 1A (1CC5000)
Cours Système d'information et Programmation de 1A (1CC1000).

Plan détaillé du cours (contenu)

Évaluation des algorithmes de traitement du son au moyen de langage de programmation matriciels (Julia).

Développement informatique en langage C/C++ des algorithmes retenus.

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement se fait sous forme de projet.

Pendant toute la durée du projet il sera demandé aux élèves de tenir à jour un « cahier de laboratoire » précisant en quelques lignes pour chaque expérience ou test réalisé, ses motivations, les résultats obtenus, les codes sources et les données utilisés. Durant la dernière semaine dédiée au projet, il sera demandé aux élèves :

- de fournir deux mises à jour du rapport de projet, l'une à mi-projet et l'autre à la fin ; et

- de réaliser deux soutenances en présence du partenaire, la première à mi-parcours précisera les travaux à réaliser pendant la deuxième moitié du projet et la seconde sera la soutenance finale du projet.

Un point d'avancement du projet avec lecture du « cahier de laboratoire » aura lieu régulièrement .

Organisation de l'évaluation

Les compétences seront évaluées dans deux mises en situation :

- Contrôle continu à l'occasion de points d'avancement et de la lecture du "cahier de laboratoire", avec évaluation individuelle des contributions de chaque membre (note CC)

- Deux soutenances (notes S1 et S2, correspondant à la présentation individuelle de chaque participant)

et par la qualité des livrables (rapport final, codes sources commentés : note QL).

La note finale = $CC / 3 + (S1 + 2 S2) / 6 + QL / 6$.

Moyens

Un réseau de microphones disponible dans la smartroom du campus de Metz permet de faire des acquisitions sonores. Les étudiants travailleront sur des ordinateurs en vue de développer l'algorithme informatique permettant de réaliser la fonction souhaitée.



80 HEE (48 HPE) de projet réalisé en groupe d'élèves.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capables de :

- Représenter et décomposer d'une façon "optimale" des signaux audio
- Ajuster un modèle à des données
- Utiliser un langage de programmation pour écrire de manière efficace un algorithme de traitement du signal

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. (Jalon 2)

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. (Jalon 2)



ST7 – 81 – CONCEPTION EN FABRICATION ADDITIVE

Dominante : CVT (Construction, Ville et Transports)

Langue d'enseignement : Anglais

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Depuis ses débuts, la fabrication additive s'est avérée être un changement fondamental parmi les procédés de fabrication, permettant une personnalisation totale et une qualité artisanale au prix et précision d'un procédé industrialisé moderne. Toutes les technologies de fabrication additive consistent à superposer des couches grâce au déplacement contrôlé par machine soit d'une source de haute énergie capable de provoquer un changement de phase, soit d'un injecteur de matière. De multiples types de procédés en FA existent selon le matériau et la technologie utilisés : 1) Fabrication additive sur du métal (pièces mécaniques, prothèses) 2) Fabrication additive en céramique (applications biomédicales, pièces sous hautes contraintes thermiques) 3) FA en plastique (maquettage rapide, design, produits d'utilisation courante) 4) FA en béton (construction des structures GC en conditions défavorables). En raison de leur nature, ces processus permettent une liberté sans précédent dans la conception des pièces et des structures. C'est toutefois un procédé jeune, et par conséquent, pas encore totalement maîtrisé. Les propriétés mécaniques des pièces produites sont souvent imprévisibles, contraignant sévèrement leur utilisation dans des applications haut de gamme. C'est pourquoi le développement de méthodes (analytiques et numériques) capables de prévoir les caractéristiques finales de la pièce en optimisant le processus de conception semble une nécessité.

Le sujet est centré sur l'optimisation de la conception par fabrication additive :

- Choix optimal de matériau et de microstructure (module de Young, phase des matériaux, porosité...);
- Optimisation de la forme par rapport aux contraintes multiphysiques (épaisseur, forme de la section, longueur...);
- Optimisation des paramètres du procédé (trajet d'impression, puissance du laser, caractéristiques des poudres...)
- Evaluation des enjeux économiques et sociaux de la FA par rapport aux procédés standards (Temps de fabrication, cout des matériaux, mains-d'œuvre employées, compatibilité environnementale...)



Cette conception présente un challenge majeur de par la nature multiphysique du procédé de fabrication additive (thermique, mécanique, électromagnétique, métallurgique, changement de phase) et pose un problème multi-échelle tant dans l'espace que dans le temps (caractère évolutif du procédé).

Prérequis nécessaires

Il est conseillé d'avoir suivi le cours électif « Mécanique des milieux continus » et au moins un cours parmi les cours suivants : Matériaux, Science des transferts, Thermodynamique.

Modules contexte et enjeux : ces modules comprennent des conférences, table ronde et mini projet, visant à présenter la problématique, les enjeux sociaux-économiques et à réaliser un objet simple par impression 3D.

Cours spécifique (60 HEE) : Couplages multiphysiques pour la fabrication additive

- **Brève description** : Ce cours abordera au sens large les concepts et les enjeux du couplage multiphysique. Les sujets suivants seront, entre autres, abordés pendant le cours :
 - Couplage fort – faible
 - Couplage de formulations différentes
 - Couplage d'échelles différentes

Puis nous nous intéresserons à des couplages particuliers, d'intérêt pour la fabrication additive :

- Laser sur poudre : couplage électro-thermique
- Fusion du lit de poudre : couplages discret-continu, solide-fluide et thermo-mécanique
- Phase de refroidissement : couplage aéro-thermique-mécanique

Le cours se finira par une réflexion sur la mécanique de la pièce finale (contrainte résiduelles, porosités, microstructure...)

Projets :

La séquence est construite autour de deux projets portés par les dominantes VSE et CVT respectivement.

Projet n°1 : Optimisation de pièces aéronautiques en fabrication additive métallique

- **Partenaire associé** : SafranTech
- **Lieu** : Paris-Saclay



- **Brève description** : Les élèves seront répartis en 4 équipes de 5. Chaque équipe devra proposer un modèle de conception d'une pièce métallique en fabrication additive. 2 pièces différentes, réalisées chacune par 2 procédés de fabrication additive (SLM, EBM) constitueront les 4 sujets.

Niveau 1 : Représentation simplifiée (modèles analytiques simples) pour arriver à un premier optimum sur un premier champ de paramètres ex. Modélisation d'une poutre soumise à une charge dynamique et à un champ de température – optimisation des paramètres géométriques de la poutre (section, aspect ratio...) et de ses propriétés matériau

Niveau 2 : Confrontation à la réalité par réalisation d'un échantillon et mesure des propriétés de celui-ci ex. essai de traction pour caractériser les propriétés des différents matériaux et des différences de propriétés pour un matériau fixé mais avec éprouvettes réalisées avec des paramètres différents du procédé

Niveau 3 : Optimisation du système dans un nouvel espace de paramètres plus proche du système réel modélisé par méthodes numériques avancées ex. modèle FEM d'une aube de turbine - optimisation sous contrainte thermomécanique

Niveau 4 : Analyse des coûts bénéfiques du procédé par rapport à l'usinage classique ex. Temps de fabrication, coût des matériaux, mains-d'œuvre employées, compatibilité environnementale...

Projet n°2 : Optimisation de pièces pour le biomédical en fabrication additive polymère

- **Partenaire associé** : Biomodex
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : Les élèves seront répartis en 4 équipes de 5. Chaque équipe devra proposer un modèle de conception d'une pièce polymère en fabrication additive. 2 organes différents étudiés selon 2 stratégies de fabrication différentes constitueront les 4 sujets.

Niveau 1 : Représentation simplifiée (modèles analytiques simples) pour arriver à un premier optimum sur un premier champ de paramètres ex. Modélisation d'une poutre microstructurée traversée par une onde ultrasonique – optimisation des paramètres microstructuraux de la poutre (section, aspect ratio...) et de ses propriétés matériau

Niveau 2 : Confrontation à la réalité par réalisation d'un échantillon et mesure des propriétés de celui-ci ex. essai de propagation d'onde pour caractériser son empreinte échographique.



Niveau 3 : Optimisation du système dans un nouvel espace de paramètres plus proche du système réel modélisé par méthodes numériques avancées ex. modèle FEM - optimisation de l’empreinte échographique.

Niveau 4 : Analyse des coûts bénéfiques du procédé par rapport à un moulage classique ex. Temps de fabrication, coût des matériaux, mains-d’œuvre employées, compatibilité environnementale...

Projet n°3 : Optimisation de structures génie civil en fabrication additive béton

- **Partenaire associé** : XTreee
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : Les élèves seront répartis en 4 équipes de 5 avec la finalité de concevoir des murs permettant d’avoir des propriétés d’isolation thermo-acoustique. 2 équipes s’intéresseront aux propriétés de réduction de bruit, et les 2 autres aux propriétés d’isolation. Ensuite ils fusionneront sur un modèle de mur avec une structure multi-échelle conciliant les 2 propriétés.

Niveau 1 : Représentation simplifiée (modèles analytiques simples) pour arriver à un premier optimum sur un premier champ de paramètres ex. Modélisation d’une cellule élémentaire d’un mur plan stratifié soumis soit au champ de température soit à une onde acoustique – optimisation des paramètres microstructuraux (section, aspect ratio...) et de ses propriétés matériau

Niveau 2 : Confrontation à la réalité par réalisation d’un échantillon et mesure des propriétés de celui-ci ex. essai pour caractériser l’atténuation de l’onde ou de la température.

Niveau 3 : Optimisation du système global thermo-acoustique par méthodes numériques avancées ex. modèle FEM.

Niveau 4 : Analyse des coûts bénéfiques du procédé par rapport à des solutions standards ex. Temps de fabrication, coût des matériaux, mains-d’œuvre employées, compatibilité



2SC8110 – Couplages multiphysiques pour la fabrication additive

Responsables : Camille GANDIOLLE, Andrea BARBARULO

Département de rattachement : DOMINANTE - CONSTRUCTION VILLE
TRANSPORTS

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Cours ST

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) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours abordera au sens large les concepts et les enjeux du couplage multiphysique.

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

ST7

Prérequis

Avoir suivi le cours électif "Mécanique des milieux continus" et au moins un cours parmi les suivants : Matériaux, Science des transferts, Thermodynamique.

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours abordera au sens large les concepts et les enjeux du couplage multiphysique.

Les sujets suivants seront, entre autres, abordés pendant le cours :

- Couplage fort – faible ;
- Couplage de formulations différentes ;
- Couplage d'échelles différentes.

Puis des couplages particuliers, d'intérêt pour la fabrication additive, seront étudiés plus en détail :



- Laser sur poudre : couplage électro-thermique
- Fusion du lit de poudre : couplages discret-continu, solide-fluide et thermo-mécanique
- Phase de refroidissement : couplage aéro-thermique-mécanique

Le cours se finira par une réflexion sur la mécanique de la pièce finale (contrainte résiduelles, porosités, microstructure...)

Déroulement, organisation du cours

8 séances de cours d'1h30 et 14 séances de TD et projet d'1h30.

Organisation de l'évaluation

Les connaissances seront testées par un QCM (N1) et les compétences acquises par un projet de mise en œuvre d'un système couplé (N2=60%note de groupe + 40%note individuelle).

$NF=30\%N1 + 70\%N2$

Moyens

Les outils numériques suivant seront utilisés en support du cours : COMSOL, TopOpt.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Maîtriser les différents types de couplage ;
- Savoir justifier un choix de modélisation dans un système multiphysique ;
- Savoir formuler un modèle intégrant un couplage.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

21. C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème ;
22. C1.3 Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation ;
23. C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe ;
24. C3.6 Évaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées ;
25. C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles ;
26. 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 ;



27. 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 ;
28. C8.1 Travailler en équipe/en collaboration.



2SC8191 – Optimisation de pièces aéronautiques en fabrication additive métallique

Responsables : Camille GANDIOLLE, Andrea BARBARULO

Département de rattachement :

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Optimisation de pièces aéronautiques métalliques soumises à des chargements mécaniques et/ou thermique complexes. L'optimisation devra prendre en compte les capacités du procédé (fabrication additive ou méthode traditionnelle).

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

ST7

Prérequis

Avoir suivi le cours électif « Mécanique des milieux continus » et au moins un cours parmi les cours suivants : Matériaux, Science des transferts, Thermodynamique.

Plan détaillé du cours (contenu)

Les élèves seront répartis en 4 équipes de 5. Chaque équipe devra optimiser la conception d'une pièce métallique critique d'avion à une sollicitation mécanique voire multiphysique impliquant de la mécanique. Le design optimisé devra intégrer le choix de procédé de fabrication (fabrication additive ou méthode traditionnelle).

Niveau 1 :

- Prise en main du sujet (cahier des charges, outils de conception/simulation)
- Optimisation d'une pièce en fabrication additive polymère vis-à-vis d'un chargement mécanique simple avec La Fabrique.



Niveau 2 :

Représentation simplifiée (modèles analytiques simples) de la pièce étudiée pour arriver à un premier optimum sur un premier champ de paramètres.

Niveau 3 : Optimisation du système dans un nouvel espace de paramètres plus proche du système réel modélisé par méthodes numériques avancées.

Niveau 4 : Analyse des coûts bénéfiques du procédé par rapport à l'usinage classique ex. Temps de fabrication, coût des matériaux, mains-d'œuvre employées, compatibilité environnementale...

Si la pièce étudiée s'y prête, les étudiants seront encouragés à se confronter à la réalité en réalisant un échantillon et en mesurant ses propriétés (essais à développer au cours du projet).

Organisation de l'évaluation

Les compétences C1.2, C1.3, C1.4, C3.7, C7, C8.1 et C8.4 seront évalués tout au long du projet et la compétence C3.7 sera particulièrement mise en avant lors de l'atelier avec La Fabrique. C4.2 sera évaluée lors de la soutenance finale du projet.

Atelier La Fabrique : N1

Contrôle continu pendant le projet : N2

Note des enseignants pour la soutenance orale : N3

Note des partenaires industriels pour la soutenance orale : N4

$NF = 10\%N1 + 15\%N2 + 15\%N3 + 60\%N4$

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 ;
- C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe ;
- C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles ;
- C4.2 Savoir identifier la valeur ajoutée par une solution apportée par une solution pour un client, le marché ;
- C6.2 Pratiquer la conception collaborative au travers d'outils de conception et de prototypage de produits (CAO, imprimante 3D) ;
- C7 Savoir convaincre ;
- 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.



2SC8192 – Optimisation de pièces pour le biomédical en fabrication additive polymère

Responsables : Elsa VENNAT, Camille GANDIOLLE

Département de rattachement :

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Optimisation d'un boîtier d'entraînement pour application médicale conçu intégralement en fabrication additive. Les sujets pourront concerner, le design de l'ensemble, la chaîne de mesure, l'optimisation du matériau d'organes artificiels (empreinte échographique) ...

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

ST7

Prérequis

Avoir suivi le cours électif « Mécanique des milieux continus » et au moins un cours parmi les cours suivants : Matériaux, Science des transferts, Thermodynamique.

Plan détaillé du cours (contenu)

Les élèves seront répartis en 4 équipes de 5. Chaque équipe devra optimiser la conception d'une pièce polymère en intégrant que le procédé doit être la fabrication additive. Les sujets peuvent concerner les matériaux d'organes artificiels ou le système dans lequel ils sont installés.

Niveau 1 :

- Prise en main du sujet (cahier des charges, outils de conception/simulation, connaissances techniques complémentaires)
- Optimisation d'une pièce en fabrication additive polymère vis-à-vis d'un chargement mécanique simple avec La Fabrique.

Niveau 2 :



Représentation simplifiée (modèles analytiques simples) de la pièce étudiée pour arriver à un premier optimum sur un premier champ de paramètres.

Niveau 3 : Optimisation du système dans un nouvel espace de paramètres plus proche du système réel modélisé par méthodes numériques avancées.

Niveau 4 : Analyse des coûts bénéfiques du procédé par rapport à l'usinage classique ex. Temps de fabrication, coût des matériaux, mains-d'œuvre employées, compatibilité environnementale...

Si la pièce étudiée s'y prête, les étudiants seront encouragés à se confronter à la réalité en réalisant un échantillon et en mesurant ses propriétés (essais à développer au cours du projet).

Organisation de l'évaluation

Les compétences C1.2, C1.3, C1.4, C3.7, C7, C8.1 et C8.4 seront évalués tout au long du projet et la compétence C3.7 sera particulièrement mise en avant lors de l'atelier avec La Fabrique. C4.2 sera évaluée lors de la soutenance finale du projet.

Atelier La Fabrique : N1

Contrôle continu pendant le projet : N2

Note des enseignants pour la soutenance orale : N3

Note des partenaires industriels pour la soutenance orale : N4

$NF = 10\%N1 + 15\%N2 + 15\%N3 + 60\%N4$

Description des compétences acquises à l'issue du cours

13. C1.2 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème ;
14. C1.3 Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation ;
15. C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe ;
16. C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles ;
17. C4.2 Savoir identifier la valeur ajoutée par une solution apportée par une solution pour un client, le marché ;
18. C6.2 Pratiquer la conception collaborative au travers d'outils de conception et de prototypage de produits (CAO, imprimante 3D) ;
19. C7 Savoir convaincre ;
20. C8.1 Travailler en équipe/en collaboration.
21. C8.4 Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation.



2SC8193 – Optimisation de structures génie civil en fabrication additive béton

Responsables : Camille GANDIOLLE

Département de rattachement :

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Projet ST

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Optimisation des propriétés thermoacoustiques de structures pour le génie civil. Le design optimisé devra intégrer de la fabrication additive béton ou plâtre et prendre en compte que la fabrication ne se fait pas directement sur site.

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

ST7

Prérequis

Avoir suivi le cours électif « Mécanique des milieux continus » et au moins un cours parmi les cours suivants : Matériaux, Science des transferts, Thermodynamique.

Plan détaillé du cours (contenu)

Les élèves seront répartis en 4 équipes de 5. Chaque équipe devra optimiser le design d'un mur vis-à-vis de propriétés d'isolation thermoacoustique spécifiques. Le design optimisé devra intégrer de la fabrication additive béton ou plâtre et prendre en compte que la fabrication ne se fait pas directement sur site.

Niveau 1 :

- Prise en main du sujet (cahier des charges, outils de conception/simulation, notions d'acoustique)
- Prise en main des modèles existants et analyse critique des solutions



existantes

- Optimisation d'une pièce en fabrication additive polymère vis-à-vis d'un chargement mécanique simple avec La Fabrique.

Niveau 2 : Mise en œuvre d'une technique d'optimisation pour améliorer les solutions existantes par méthodes numériques avancées

Niveau 3 : Réalisation d'un échantillon (cellule élémentaire) et d'un moyen de test de la solution et confrontation avec les simulations.

Niveau 4 : Analyse des coûts bénéfiques du procédé par rapport à l'usinage classique ex. Temps de fabrication, coût des matériaux, mains-d'œuvre employées, compatibilité environnementale...

Organisation de l'évaluation

Les compétences C1.2, C1.3, C1.4, C3.7, C7, C8.1 et C8.4 seront évalués tout au long du projet et la compétence C3.7 sera particulièrement mise en avant lors de l'atelier avec La Fabrique. C4.2 sera évaluée lors de la soutenance finale du projet.

Atelier La Fabrique : N1

Contrôle continu pendant le projet : N2

Note des enseignants pour la soutenance orale : N3

Note des partenaires industriels pour la soutenance orale : N4

NF = 10%N1 + 15%N2 + 15%N3 + 60%N4

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 ;
- C1.4 Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe ;
- C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles ;
- C4.2 Savoir identifier la valeur ajoutée par une solution apportée par une solution pour un client, le marché ;
- C6.2 Pratiquer la conception collaborative au travers d'outils de conception et de prototypage de produits (CAO, imprimante 3D) ;
- C7 Savoir convaincre ;
- 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.



ST7 – 82 – SYSTEMES PHYSIQUES NEURO-INSPIRES POUR LE TRAITEMENT D'INFORMATION

Dominante : PNT (Physique et NanoTechnologie)

Langue d'enseignement : Anglais

Campus où le cours est proposé : Metz

Problématique d'ingénieur

Dans un contexte de l'accroissement constant du volume de l'information à traiter, il est nécessaire de définir de nouvelles stratégies d'analyse. Les méthodes de classification automatique issues de l'apprentissage machine sont prometteuses mais leurs implémentations numériques restent lentes et très énergivores. Une solution alternative consiste à concevoir des architectures matérielles (« hardware ») dites neuro-inspirées permettant de lever une grande partie de ces verrous. Cette thématique suscite un intérêt grandissant à la fois dans la recherche fondamentale mais aussi chez des start-ups et grands groupes de hautes technologies tels qu'IBM ou encore Google.

Dans ce contexte, et au travers d'une architecture spécifique connue sous le nom de calculateur réservoir (un réseau de neurones artificiels pour lequel seule une couche de lecture finale est entraînée), nous proposons aux étudiants de découvrir les principes de design et de conception des réseaux de neurones physiques. Pour cela, les étudiants feront appel à de nombreuses techniques d'optimisation telles que la régression *ridge* et la descente de gradient, ainsi que leurs versions accélérées, ou encore d'heuristiques stochastiques (ex. recuit simulé, algorithmes génétiques).

L'objectif sera de simuler puis de tester un prototype d'architecture physique de traitement neuro-inspirée comprenant plusieurs dizaines, voir centaines de milliers de neurones et de démontrer sa faible consommation énergétique, de déterminer l'équivalent du nombre d'opérations flottantes par seconde réalisables en comparaison de celle d'un ordinateur sur des tâches de classification.

Prérequis nécessaires

Notions sur les équations et systèmes dynamiques. Cours de statistiques, de traitement du signal et d'automatique, bonne maîtrise d'un langage de programmation (ex. Matlab, Python, ou C/C++).

Modules contexte et enjeux : ces modules comprennent une conférence introductive de la thématique par des personnalités du monde académique



et des industriels, des interventions portant sur les verrous technologiques et scientifiques, ainsi qu'une présentation des projets associés.

Cours spécifique (60 HEE) : Optimisation pour l'apprentissage des systèmes physiques

- **Brève description :** Ce cours présente les outils physiques et mathématiques pour la réalisation et l'entraînement de réseaux de neurones artificiels : *echo-state network* (ESN), implémentations électroniques et photoniques, capacité mémoire et de calcul des architectures physiques, apprentissage supervisé et non-supervisé, régression *ridge* et régularisation, techniques de descente de gradient accélérées, méthodes heuristiques, approche matérielles pour des *deep networks*, technologies émergentes (ex. photonique intégrée, nano-photonique et spintronique)

Projet: Classification de signaux vidéos et d'images à haute performance et faible coût énergétique par des systèmes photoniques

- **Partenaires associés :** Start-up Light On, CentraleSupélec / Chaire Photonique et Institut FEMTO-ST

- **Lieu :** Campus de Metz

- **Brève description :** Le projet portera sur l'apprentissage / optimisation d'une architecture photonique expérimentale de calculateur analogique neuro-inspiré (développé dans les laboratoires de CentraleSupélec en collaboration avec l'institut FEMTO-ST). Les élèves devront choisir des stratégies d'apprentissage / optimisation issues du cours et les mettre en œuvre pour que l'architecture photonique puisse effectuer une classification de signaux images / vidéos ou alors de résolution de problèmes à orientation industrielle proposés par notre partenaire industriel Light-On. L'organisation du projet est la suivante :

-
- 1) Etude bibliographique rapide sur la tâche de classification de signaux images ou vidéos (ou tâche proposé par le partenaire Light-On)
- 2) Simulation numérique sur un modèle réaliste de l'architecture (fourni) sous Matlab. Mise en œuvre des méthodes d'apprentissage basées sur de la régression linéaire / ridge, de la régression multi-logistique, ou des encore d'heuristique stochastique (modèle de la fonction de coût inconnue).
- 3) Identification des hyper-paramètres physiques d'importance (ajustables expérimentalement) pour l'architecture photonique
- 4) Tests expérimentaux, analyse de performance, évaluation de la capacité de calcul (flops) et étude comparative de la performance énergétique (coût énergétique par image / séquence vidéo traitée) par rapport aux méthodes logicielles.



2SC8210 – Optimisation pour l'apprentissage des systèmes physiques

Responsables : Damien RONTANI, Piotr ANTONIK

Département de rattachement : DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours : Cours ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 60

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 34,5

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans un contexte de l'accroissement constant du volume de l'information à traiter, il est nécessaire de définir de nouvelles stratégies d'analyse. Les méthodes de classification automatique issues de l'apprentissage machine sont prometteuses mais leurs implémentations numériques restent lentes et très énergivores. Une solution alternative consiste à concevoir des architectures matérielles (« hardware ») dites neuro-inspirées permettant de lever une grande partie de ces verrous. Cette thématique suscite un intérêt grandissant à la fois dans la recherche fondamentale mais est aussi chez des start-ups et grands groupes de hautes technologies tels qu'IBM ou encore Google.

Dans ce contexte, et au travers d'une architecture spécifique connue sous le nom de calculateur réservoir (un réseau de neurones artificiels pour lequel seule une couche de lecture finale est entraînée), Ce module propose aux étudiants de découvrir les principes de design et de conception des réseaux de neurones physiques. Pour cela, les étudiants feront appel à de nombreuses techniques d'optimisation telles que la régression *ridge* et la descente de gradient, ainsi que leurs versions accélérées, ou encore d'heuristiques stochastiques (ex. recuit simulé, algorithmes génétiques).

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



ST7

Prérequis

Notions de Physique Generale (Equations differentielles et aux dérivées partielles) (Niveau L2)

Modélisation (1CC3000)

Statistique et Apprentissage (1CC5000)

Traitement du signal (1CC4000)

Expérience d'un langage ou environnement de programmation (ex. : Matlab, Python, ou C/C++).

Plan détaillé du cours (contenu)

Architectures physiques neuro-inspirées (10.5h)

- Notions de réseaux de neurones artificiels (perceptron, réseaux feed-forward et récurrents)
- Implémentations physiques en électronique, photonique
- Rappels de dynamiques des systèmes. Notions de systèmes non-linéaires.
- Notions sur les echo-state networks (ESN) et liquid state machines (LSM) – Calculateurs Réservoirs - Conditions pour le traitement de l'information
- Capacité de calcul et Capacité mémoire

Apprentissage et optimisation pour les architectures physiques neuro-inspirées (16.5h)

- Notions d'apprentissage machine, lien avec l'optimisation
- Supervision et non-supervision, fonction de coût, courbe d'apprentissage, validation croisée
- Apprentissage supervisé hors ligne (batch): régression linéaire (Moore-Penrose) et régression ridge - Apprentissage supervisé en ligne : descentes de gradients (stochastique, mini-batch, moyenné) et moindre-carré récursifs.
- Accélération des méthodes du premier ordre.
- Traitement des tâches de classification (winner-takes-all, régression multi-logistique)
- Apprentissage et optimisation paramétrique des architectures de type calculateur réservoir.

TD 1: Mise en oeuvre de technique d'optimisation en ligne (1.5h)

TD 2: Simulation d'une architecture photonique de calculateur reservoir (1.5h)

Approches émergentes (3h)



25. Systèmes physiques intégrés et nanoscopiques pour le machine learning
26. Ouverture vers les architectures physiques profondes (deep neural networks)

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et interactifs avec démonstrations numériques / expérimentales en laboratoire. Présentations des outils mathématiques simplifiés et nécessaires à la compréhension du cours.

2 TDs seront organisés pour l'assimilation de notions clés

Volume horaire :

Cours magistraux + démonstrations interactives : 30 h

TD : 3h

Examen final : 1.5h

Organisation de l'évaluation

- Examen final : Durée : 1.5h comptant pour 50% de la note finale
 - En cas d'absence non justifiée : la note de zero est attribuée à cette partie de la note.
- Analyse d'un article scientifique avec remise d'un rapport de synthèse (5 pages max) comptant pour 50% de la note finale.
 - En cas de non remise du rapport avant la date limite précisée en début du cours, la note de zero est attribuée à cette partie de la note .
- Examen de rattrapage : En cas d'échec à l'examen final, un examen oral de 20 min sera organisé.

Support de cours, bibliographie

D. Brunner, M. C. Soriano and G. Van der Sande, "Photonic Reservoir Computing: Optical Recurrent Neural Networks" Ed. De Gruyter (2019)

Moyens

Equipe enseignante : Damien Rontani & Piotr Antonik

Moyens informatiques pour la simulation numérique / accès distanciel à un setup experimental dans les laboratoires de CentraleSupélec

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Ce cours spécifique sera divisé en 3 parties dont les objectifs d'apprentissage sont les suivants :



- Simuler et expérimenter sur des implémentations physiques de réseaux de neurones artificiels
- Appliquer des techniques d'optimisation pour l'apprentissage machine et pouvoir les mettre en oeuvre dans le cadre spécifique des systèmes physiques
- Synthétiser les dernières avancées issues de la recherche sur l'implémentation de systèmes neuro-inspirés sur puce électroniques et photonique pour des applications en traitement d'information à haut-débit.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C.1.3 Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème

C.1.5 Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire



2SC8290 – Classification de signaux vidéos et d'images à haute performance et faible coût énergétique par des systèmes photoniques

Responsables : Piotr ANTONIK, Damien RONTANI

Département de rattachement : DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES

Langues d'enseignement : Anglais

Type de cours : Projet ST

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 80

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 48

Quota :

ECTS Erasmus : 5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce projet fait partie de la séquence thématique ST7 "Systèmes Physiques Neuro-inspirés" et a pour objet la classification automatique de signaux vidéos à partir d'architectures photoniques développées au sein des laboratoires de Recherche de CentraleSupélec. Il y a de nombreuses applications à la classification de données images ou vidéos, telles que l'aide à la décision dans le bio-médical, la robotique autonome ou encore l'analyse de scènes pour des applications en défense.

De multiples techniques logicielles tournant sur des architectures à base de processeurs traditionnels (CPU) ou processeurs graphiques (GPU) existent pour traiter les tâches de classification, mais celles-ci s'accompagnent souvent de faibles vitesses de traitement et d'une consommation énergétique importante dans les phases d'apprentissage et d'exécution effective des tâches après entraînement. Ceci motive le développement d'architectures physiques (ou hardware) basées sur l'électronique ou la photonique afin de réaliser ces mêmes tâches de classification.

L'objectif de ce projet sera : (i) d'étudier les capacités de classification de séquences vidéo (ou d'images) d'une base de donnée publique par un système photonique, (ii) d'optimiser ses performances afin qu'il soit compétitif avec les meilleures approches logicielles et (iii) d'estimer la performance énergétique du système.



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

ST7

Prérequis

Cours de Modélisation de 1A (1CC3000)

Cours de Traitement du Signal de 1A (1CC4000)

Cours de Statistique et apprentissage de 1A (1CC5000)

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Simulation numérique d'une architecture photonique neuro-inspirée de grande dimension (>10,000 systèmes dynamiques interconnectés)

- Choix d'une implémentation Matlab / Python ou C/C++
- Utilisation de différentes stratégies d'apprentissage hors-ligne (regression linéaire et ridge, heuristique stochastiques) ou en ligne (descente de gradient et leurs versions accélérées).
- Recherche de points de fonctionnement optimaux par exploration paramétrique.

2. Prise en main d'une base de données publique de signaux vidéo ou d'images

- Choix et analyse des algorithmes de pré-traitement pour extraction de "features" adaptés aux tâches de classification.
- Réduction du nombre de "features"

3. Expérience sur Prototype

- Implémentation de la stratégie d'apprentissage retenue. (réglages effectués par les encadrants)
- Campagne expérimentale

4. Analyse de performance

- Performance (taux d'erreur / succès en classification) et mise en contexte avec l'état de l'art (étude bibliographique)
- Estimation de la consommation énergétique pour la résolution d'une tâche (entraînement + énergie consommée par signal classé)

Déroulement, organisation du cours



Cet enseignement se fait sous forme de projet au cours duquel il sera demandé aux élèves :

- de travailler en groupe (3 à 4 étudiants) pendant 80 HEE (*i.e.* 48 HPE).
- d'organiser des points d'avancement réguliers avec les encadrants du cours afin de consigner les progrès réalisés, la mise à jours des codes de simulation, et les résultats numériques et expérimentaux obtenus.
- de fournir un rapport de mi-parcours (environ 5 pages) sur les avancées dans le projet et un rapport final (10 à 15 pages) lors de dernière la semaine
- de réaliser une première soutenance à mi-parcours (S1) en présence des responsables du cours et une deuxième soutenance (S2) qui sera la soutenance finale du projet en présence des partenaires industriels et académiques.

Organisation de l'évaluation

Les compétences seront évaluées sur la base :

- d'un contrôle continu (CC) sur la gestion du projet (organisation des réunions d'avancements, progrès réalisés, maîtrise technique du sujet). Evaluation de la performance du groupe et de la performance individuelle à pondération identique.
- des deux soutenances (S1 et S2) Evaluation de la performance du groupe et de la performance individuelle à pondération identique.
- des livrables de groupe (L) (rapports, archives bibliographiques, codes sources commentés).

La note finale = $CC / 3 + (S1+S2)/6 + L/3$

Moyens

- Equipe pédagogique : Damien Rontani, Piotr Antonik
- Ordinateurs au sein du laboratoire LMOPS du Campus de Metz et Cluster FUSION (Paris-Saclay) disponibles pour la simulation numérique et l'analyse paramétrique en performance.
- Ordinateur personnel des étudiants
- Dispositif expérimental en accès distant pour effectuer des tests sur prototype dans le laboratoire LMOPS du Campus de Metz.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capables de :



- Simuler numériquement un système dynamique de grande dimension sous Matlab / Python ou C/C++ et d'appliquer des techniques d'optimisation hors ligne et en ligne pour effectuer une opération d'apprentissage
- Analyser des points de fonctionnement et effectuer des cartographies paramétriques
- Utiliser des bases de données publiques de signaux images / vidéos et appliquer un prétraitement.
- Effectuer des expériences sur un prototype d'architecture photonique neuro-inspirée.

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.

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.



COURS en SEMAINES INTERCALAIRES 2A



2IN1510 – Comprendre la blockchain

Responsables : Marc-Antoine WEISSER
Département de rattachement : INFORMATIQUE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est de s'approprier la technologie blockchain, de la comprendre, d'être capable de l'expliquer, de savoir dans quel contexte l'utiliser et pourquoi elle n'est pas adaptée dans tous les contextes.

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

Semaine bloquée en SG6

Prérequis

Bonne connaissance des bases de Python 3.

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours se divise en 5 grandes parties.

I. Introduction sur la blockchain et éléments de cryptographie

- Le registre partagé
- Chainage de blocks
- Fonction à sens unique

II. Mise en oeuvre de la blockchain

- Preuve de travail
- Noeuds et mineurs
- Composition d'une transaction
- Initialisation d'une chaîne
- Composition d'un block
- Processus de validation



III. Concepts avancés

- Minage
- Risque crypto
- Autres preuves
- Smart Contract
- Consensus
- Fork de la chaîne et résolution

IV. Enjeux

- Pool et gouvernance
- Vulnérabilités
- Éthiques et juridiques

V. TP

- Implémentation d'une blockchain simple en Python
- Proposition d'une application l'intégrant

Déroulement, organisation du cours

- Cours magistraux : 6x3h
- TP : 3x3h

Organisation de l'évaluation

La validation sur la base du TP et d'un rapport.

Moyens

- Cours magistraux
- TP
- Lecture de support et synthèse

Les cours et l'encadrement des TP sont assurés par Marc-Antoine Weisser.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de comprendre le fonctionnement d'un registre partagé utilisant la technologie "blockchain", de connaître ses possibilités, ses enjeux et ses limitations. L'élève aura acquis :

- quelques notions de cryptographie asymétrique (fonction à sens unique, hachage, clef publique et clef privée, ...)
- les éléments fondamentaux de la technologie "blockchain" (chainage de blocs, preuve de travail, les noeuds, le minage, la composition d'un bloc, ...)
- ;
- quelques extensions et alternatives (preuve d'enjeu, smart contract, consensus, ...)



- les enjeux (sécurité, gouvernance, vulnérabilité, ...).

Acquis d'apprentissage :

- Connaitre les principes de la cryptographie asymétrique
- Comprendre le fonctionnement des blockchains
- Implémenter une blockchain
- Distinguer les cas pertinents d'utilisation d'une blockchain
- Concevoir une application mettant en oeuvre une blockchain

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,

C1.4 : Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe



2IN1520 – Analyse de risques - INFOSEC

Responsables : Valerie VIET TRIEM TONG
Département de rattachement : CAMPUS DE 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) : 27
Quota :
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Cette semaine de cours alterne cours et études de cas pratiques pour présenter l'analyse des risques cyber.

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.

Plan détaillé du cours (contenu)

Analyse de la menace

qui sont les attaquants, quelles sont leur motivation et leur organisation, leur caractéristiques
Cyber Threat Intelligence
Etude de quelques APT

Analyse de risques

- but de l'analyse de risque
- présentation des différentes approches
- focus sur Ebios-RM

Sécurité technique

Cadre légal

Sécurité physique

Etude du mode opératoire des attaques exploitant des vulnérabilités dans la mise en oeuvre de la sécurité physique



Sécurité du monde industriel

Gestion de crise

Etude pratique de trois cas de cyberattaques et de la coordination de la réponse des acteurs internes et externes dans la gestion de crise associée

- Processus de gestion de crise (Attaque contre TV5 Monde)
- Communication de crise (Attaque contre Norsk Hydro)
- Remédiation (Attaque NotPetya contre Maersk)

Social Engineering

Analyse des moyens de pression reposant sur des techniques de social-engineering

Déroulement, organisation du cours

Semaine ponctuée de quelques cours classiques et de beaucoup d'interactions avec les intervenants à l'aide de

- Mise en situation concrète sur de nombreux petits exemples
- Etude de cas pratiques en petits groupes et restitution au groupe entier
- Discussion avec Philippe Thomazo, CEO du groupe ECOCERT qui viendra témoigner sur son expérience des risques cyber.

Organisation de l'évaluation

Evaluation des connaissances à l'écrit à l'aide d'un quizz et à travers les restitutions orales des études de cas faites dans la semaine.

Moyens

Support de cours, vidéos, témoignages, cas pratiques

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Prendre en compte le risque Cyber

Apprécier l'impact réel d'une cyber-attaque sur le métier de l'entreprise

Comprendre l'organisation de la menace

Envisager les différents aspects de la gestion d'une crise cyber

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin de ce cours, l'étudiant maîtrisera les enjeux, les étapes et les moyens d'une analyse de risque dans une organisation numérique. Il sera à même de la restituer à différentes instances de l'organisation (techniques, organisationnelles et décisionnelles).



2IN1570 – Développement d'applications web et mobile

Responsables : Benoit VALIRON

Département de rattachement : INFORMATIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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) : 27

Quota :

Catégorie d'électif : Sciences fondamentales

Niveau avancé : Oui

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les technologies actuelles du web vont au-delà de la simple création de sites : leurs capacités d'interaction sont telles qu'elles permettent de réaliser toutes sortes d'applications pour toutes sortes de supports, comme des téléphones mobiles par exemple. Connectées au web, ces applications échangent des données en s'appuyant sur un ensemble de formats de structuration et de manipulation de données, notamment la famille XML.

L'objectif de ce cours est de découvrir les technologies sur lesquelles s'appuient les applications web et mobiles, en s'appuyant sur la mise en application des concepts et la réalisation d'une petite application web complète.

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

Semaine bloquée en fin de SG8

Prérequis

Le cours "Systèmes d'Information et Programmation" (SIP)

Plan détaillé du cours (contenu)

Il faut noter que les technologies web évoluent très vite. Les exemples précis que nous donnons seront appelés à être modifiés au fur et à mesure



des changements. On peut néanmoins poser que le schéma de cours suivant, basé sur les concepts sous-jacents, restera inchangé.

- Module 1 : Concepts et technologies de base du web
 - Architecture et protocoles du web : Client / serveur, couche HTTP
 - Pages web : structure et contenu (HTML), mise en forme (CSS)
 - Accessibilité : Clients non-conventionnels, gestion des tailles d'écran
- Module 2 : Interaction dynamique avec l'utilisateur dans le navigateur
 - Le langage du web : javascript
 - Le modèle du web : programmation événementiel
 - Spécificité des écrans mobiles et tactiles
 - Bibliothèques spécialisées
- Module 3 : Échange de données structurées:
 - Format JSON : structure, manipulation
 - Format XML : structure et manipulation (DOM)
- Module 4 : Architecture d'une application web
 - a. Interaction asynchrone entre navigateur et serveur : AJAX
 - b. Interaction avec le serveur (par exemple Nodejs)
 - c. Réactivité des applications ; problèmes de connectivité
- Module 5 : Sujet avancés
 - Sécurité des applications
 - Expérience utilisateur
 - Tests et débogage

Déroulement, organisation du cours

L'accent est mis sur la pratique : chaque notion présentée est suivie d'une mise en application directe dans une série de tutoriels permettant de



construire une application complète au fur et à mesure.

Organisation de l'évaluation

Une partie de l'évaluation consiste en du contrôle continu, chaque TP étant remis pour évaluation. D'autre part, on demandera un projet aux élèves mettant en oeuvre les concepts présentés en cours.

Support de cours, bibliographie

Le cours consiste en une série de tutoriels qui seront disponible en ligne au fur et à mesure.

On peut néanmoins citer la bibliographie suivante:

22. W. S. Means, E. Rusty Harold, XML in a Nutshell: A Desktop Quick Reference. O'Reilly, 2001.
23. A. T. Holdener III, Ajax: The Definitive Guide. O'Reilly, 2008.
24. B. Bibeault, Y. Katz, jQuery in Action. Manning, 2008.
25. D. Flanagan, JavaScript: The Definitive Guide. O'Reilly, 2011.

Moyens

Le cours se compose de 5 modules qui présentent de façon incrémentale les notions nécessaires. Chaque module comporte une partie théorique (CM) et une partie pratique de travail personnel et de mise en application de ces concepts (TPs sur machine).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À la fin de cet apprentissage, les élèves seront capables de :

- Connaître et utiliser les techniques standards de développement web
 - Décrire les différentes parties composant une application web
 - Appliquer chaque techniques du web présentée en cours à un cas simple
 - Concevoir et développer une application web simple, avec serveur et client



- a. Proposer l'orchestration des différentes composantes pour construire un tout cohérent
- b. Gérer les différents modes d'accès au service en fonction du type de client
- c. Évaluer et choisir les technologies pertinentes pour un projet donné

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétence C6.4 - Spécifier, concevoir, réaliser et valider un logiciel complexe



2IN2180 – Gestion des achats

Responsables : Thierry REBOUD, Philippe ROUGEVIN-BAVILLE
Département de rattachement : SCIENCES ENTREPRISE
Langues d'enseignement : ANGLAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 27
Quota :
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours a pour objectif de permettre aux étudiants de comprendre les principes et de maîtriser les processus clef du métier achat, en forte interaction avec presque toutes les autres fonctions de l'entreprise. En tant que futurs managers, les étudiants seront en mesure de mieux percevoir la fonction achat comme levier essentiel de création de valeur pour l'entreprise, et de mieux appréhender les outils de pilotage de cette fonction stratégique (organisation, politique achat, mesure de performance, objectifs).

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

Semaine bloquée en fin de SG8

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours est scindé en différents modules

- 1 - Qu'est-ce que l'achat ? L'objectif est d'introduire les concepts de base (clarification du vocabulaire, objectif de l'achat, champ d'activité, etc.)
- 2 - Politique d'achat - Approche marketing. L'objectif est d'expliquer le concept de «stratégie d'achat» (pourquoi ?, quoi ?, comment?)
- 3 - Prix. L'objectif est de bien comprendre l'écart fondamental entre "coût" et "prix de vente"
- 4 - RFQ - Sélection du fournisseur. L'objectif est de comprendre les 4 étapes du processus de sélection, comment choisir les critères pertinents pour évaluer les offres et comment organiser la sélection.
- 5 - Faire ou acheter. L'objectif est de comprendre les différents aspects à prendre en compte lors d'une décision de fabrication ou d'achat et de la manière de la traiter.



6 - Juridique. L'objectif est de fournir l'arrière-plan juridique demandé dans l'activité achats et d'identifier les principaux risques juridiques liés aux achats.

7 - IP. L'objectif est de souligner l'importance de la protection de la propriété intellectuelle et d'expliquer comment sécuriser la propriété intellectuelle dans les relations avec les fournisseurs.

8 - Négociation. Les buts sont de :

- comprendre pourquoi et comment préparer les négociations, identifier les comportements de négociation réussis pour un acheteur,
- fournir des informations sur certaines situations de négociation spécifiques (conflictuelles, multiculturelles, équipe de négociation, etc.)
- donner un aperçu des outils de "vente aux enchères".

9 - Evaluation du fournisseur - Durabilité. L'objectif est d'identifier la liste des critères utiles, de comprendre comment procéder à une telle évaluation et de définir un contexte financier permettant de détecter les risques liés à la durabilité.

10 - Création de valeur - Performance. L'objectif est d'expliquer le but de l'évaluation de la performance des achats, et comment la mettre en œuvre, quelle est la «valeur» pour une entreprise, quels sont les KPI, comment les choisir

11 - Éthique et gestion: les objectifs sont d'identifier les principales compétences et qualités réussies pour une fonction d'achat et de donner un aperçu des principaux problèmes éthiques pouvant résulter des relations avec les fournisseurs.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet apprentissage, l'étudiant sera en mesure de

- identifier et mettre en œuvre les principaux processus achat
- construire une politique d'achat cohérente avec la stratégie de l'entreprise
- identifier les principaux risques résultants des relations avec des fournisseurs.
- Evaluer les fournisseurs et comparer les propositions, selon les critères adaptés à la situation.
- Préparer et mener des négociations efficaces
- Identifier le potentiel de création de valeur du pouvoir de négociation.



2IN2310 – Individus, Travail, Organisations

Responsables : Cynthia COLMELLERE

Département de rattachement : SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

Langues d'enseignement : FRANCAIS, ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

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

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

A partir des fondamentaux de la sociologie, de la psychologie, de la philosophie, de la science politique, il s'agit de:

- Mieux connaître l'entreprise et les différents cadres de travail de l'ingénieur sous l'angle de leur organisation et de leur gestion,
- Les contextes sociaux et politiques et économiques de ces différents cadres de travail,
- Comprendre les dimensions techniques, scientifiques, sociales, humaines, économiques et managériales du travail et leurs relations,
- Comprendre les comportements individuels et collectifs dans le travail,
- Comprendre les relations et les mécanismes de pouvoir dans des situations de coopération, de négociation, de conflits,
- Comprendre les phénomènes de déviance et de fraude,
- Comprendre les échecs et les réussites des démarches de changement dans les organisations.

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

Semaine bloquée de SG6 et SG8

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Quelques exemples de cours proposés :

- Négociation et management
- Eléments de psychosociologie appliqués au monde professionnel
- Conflit, médiation, éthique en entreprise



Organisation de l'évaluation

- Travail écrit à rendre une semaine à dix jours après le cours (au moins 50% de la note finale)
 - Participation orale
 - Travaux intermédiaires individuels ou en groupes
- En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.



2IN2320 – Enjeux de Société

Responsables : Cynthia COLMELLERE

Département de rattachement : SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

Langues d'enseignement : ANGLAIS, FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les cours de ce séminaire ont pour objectif principal d'aider les élèves à orienter leurs actions face aux « grands défis contemporains ». Pour cela, les fondamentaux de la psychologie, de la sociologie, de la science politique, de l'économie, de l'anthropologie seront mobilisés pour les amener à

- Comprendre et analyser les enjeux liés aux problématiques environnementales, humaines et sociales contemporaines : par exemple : réchauffement climatique, défis énergétiques, justice sociale, participation de la société civile...
- Comprendre les effets des pratiques humaines sur l'environnement naturel, économique, social.
- Comprendre les dimensions éthiques, politiques sociales et économiques des actions de l'ingénieur face à ces problématiques.

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

Semaine bloquée de SG6 et SG8

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Parmi les cours proposés :

- Justice sociale, quelles contributions de l'ingénieur ?
- Exclure/Inclure dans les sociétés contemporaines : le regard des sciences sociales
- Représentations, usages et pratiques de l'espace urbain

Organisation de l'évaluation

- Travail écrit à rendre une semaine à dix jours après le cours (au moins 50% de la note finale)
- Participation orale
- Travaux intermédiaires individuels ou en groupes



2IN2330 – Science, Technologie, Société

Responsables : Cynthia COLMELLERE

Département de rattachement : SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

Langues d'enseignement : FRANCAIS, ANGLAIS

Type de cours : Electif 2A

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

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les enseignements proposés ont pour objectif principal d'aider les élèves ingénieurs à mieux comprendre les représentations de la science et du progrès technique pour mieux situer leur action et ses effets. Ils s'appuient principalement sur la sociologie des sciences, la sociologie de l'innovation, l'histoire des sciences et des techniques, la science politique, la philosophie et l'éthique.

Comprendre et analyser dans différents contextes et situations :

- L'élaboration des savoirs scientifiques et techniques
- Leur diffusion,
- Leur appropriation,
- Leurs usages
- Leurs effets sur les individus et la société, notamment en termes de controverses sur les risques qu'ils génèrent.

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

SG6 et SG8

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Parmi les enseignements proposés :

- Historical, Philosophical and Ethical Perspectives on AI and Data Science
- An introduction to philosophy of science from the perspective of measurement
- Neurosciences, Management et Leadership

Organisation de l'évaluation

- Travail écrit à rendre une semaine à dix jours après le cours (au moins 50% de la note finale)
- Participation orale
- Travaux intermédiaires individuels ou en groupes



2IN2340 – Innovation, Arts et créativité

Responsables : Cynthia COLMELLERE

Département de rattachement : SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

Langues d'enseignement : ANGLAIS, FRANCAIS

Type de cours : Electif 2A

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

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le principal objectif des cours proposés dans ce séminaire est d'aborder l'innovation à travers le travail de création artistique. Pour cela, les différents enseignements amèneront les élèves ingénieurs à:

- Comprendre les relations des différents domaines de la création artistique avec la science et la technique
- Appréhender le travail de production d'oeuvres artistiques dans différents domaines : architecture, peinture, littérature, design...
- Aborder les dimensions individuelles et collectives de ce travail
- Mieux comprendre l'influence des contextes culturels, sociaux, économiques et politiques dans lesquels ils se déroulent.

Les principales disciplines mobilisées sont la sociologie, l'histoire de l'art, l'architecture, la science politique, la philosophie.

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

Semaine bloquée de SG6 et SG8

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Parmi les cours proposés :

- Art, territoires, écologie
- Addressing Fiction : storytelling, literarity and fake news
- From cradle-to-grave : Tech won't save us

Organisation de l'évaluation

- Travail écrit à rendre une semaine à dix jours après le cours (au moins 50% de la note finale)
- Participation orale
- Travaux intermédiaires individuels ou en groupes



2IN4000 – Jeux d'entreprise

Responsables : Xavier LEON

Département de rattachement : SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

Langues d'enseignement : ANGLAIS, FRANCAIS

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE METZ

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 30

Quota :

ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les jeux d'entreprise proposent une approche pratique, ludique et synthétique de l'économie, de la gestion et de la psychosociologie. Ils constituent une expérience de la décision collective, de l'interdépendance et de l'organisation d'équipe, de la gestion des conflits, de la prise de rôle et du positionnement personnel dans un groupe. Les objectifs principaux sont :

- Découvrir l'entreprise et ses principales fonctions
- S'initier à la gestion et à la comptabilité
- Expérimenter et prendre conscience des processus qui se développent dans une équipe de travail (décision, organisation, etc.)
- Analyser sa contribution au groupe de travail

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

Semaine intercalaire avant la ST5

Prérequis

Des connaissances de base en gestion et une expérience du travail en groupe sont utiles

Plan détaillé du cours (contenu)

Les jeux d'entreprise sont des simulations de la vie de plusieurs entreprises en concurrence sur un même marché. Une unité de jeu est constituée de 5 ou 6 équipes de 5 ou 6 joueurs chacune.



Chaque joueur prend une responsabilité particulière : production, finances, ressources humaines, marketing, direction générale. Au départ la situation des entreprises est identique. La tâche de chaque équipe est d'analyser cette situation de départ et de prendre des décisions : objectifs de vente, de production, prix, etc. Les décisions de chaque équipe, agrégées et confrontées entre elles, dessinent alors un nouvel état du marché où les situations des entreprises se différencient. L'analyse de cette nouvelle situation donne lieu à de nouvelles décisions et plusieurs cycles se succèdent ainsi.

Déroulement, organisation du cours

Les jeux se déroulent sur 4 journées consécutives, alternant des séquences de simulation et de débriefing.

Organisation de l'évaluation

Trois dimensions sont prises en compte dans l'évaluation des jeux : • les apprentissages réalisés en économie gestion et en sciences humaines et sociales • la participation (leadership, implication dans le rôle) • la qualité des analyses lors des débriefings tant sur le plan stratégie/gestion que sur celui de la vie de l'équipe au delà d'une journée d'absence injustifiée, les élèves ne valident pas le jeu d'entreprise

Moyens

Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Il y a deux types d'enseignants : les animateurs en charge des sessions de jeu et les spécialistes (SHS) en charge des sessions de discussions et débriefings

- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : sans objet
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : sans objet
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : sans objet

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre le vocabulaire de la gestion d'entreprise
- Comprendre les conditions de croissance et de difficultés d'une entreprise
- Comprendre l'utilité des documents comptables de synthèse
- Comprendre l'interdépendance entre stratégie et décisions opérationnelles
- Comprendre les articulations de fonctions dans un groupe
- Comprendre les phénomènes humains se produisant dans un groupe
- Situer sa contribution personnelle dans une équipe



2IN5010 – Bridge Building challenge

Responsables : Guillaume PUEL
Département de rattachement : MÉCANIQUE GÉNIE CIVIL
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif semaine bloquée
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
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le principe de ce module expérimental est de construire, selon un cahier des charges donné, une maquette de pont en carton capable de supporter la charge la plus grande possible. L'objectif principal est de souligner les interactions entre modélisation, expérimentation et simulation numérique.

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

Semaine bloquée de SG6 et en fin de SG8

Prérequis

1EL5000 (Mécanique des milieux continus) ou 1EL4000 (Matériaux) ou ST2 CVT (Modélisation des performances et hybridation en phase d'avant-projet) ou ST4 CVT (Transformation digitale et ingénierie intégrée : maquette numérique et cycle de vie des ouvrages et des véhicules)

Plan détaillé du cours (contenu)

- Lundi, toute la journée (en parallèle) :
 - Caractérisation des propriétés mécaniques du carton
 - essais de traction sur éprouvettes de carton découpées selon différentes directions, afin de déterminer les modules d'élasticité, coefficient de Poisson (par suivi de marqueurs) et les contraintes à la rupture (chaque groupe propose deux éprouvettes différentes et contribue ainsi à l'élaboration d'une base expérimentale collective)
 - Réflexions sur les architectures possibles pour le pont



- utilisation d'un logiciel d'optimisation topologique (TopOpt)
- étude de premiers modèles simples sur Comsol
- Mardi, toute la journée (en parallèle) :
 - Essais « structurels »
 - essais de compression sur poutres « profilées »
 - essais de traction sur poutres assemblées par collage
 - (éventuellement) essais d'assemblages quelconques
 - Conception des maquettes de ponts
 - dimensionnement précis des maquettes à l'aide de modèles numériques plus fins sur Comsol et des essais structurels
- Mercredi, toute la journée (en parallèle) :
 - Construction des maquettes de ponts (découpe laser des pièces dimensionnées à la Fabrique)
 - Modèles numériques (voire essais expérimentaux) complémentaires
 - Préparation des présentations du lendemain matin
- Jeudi :
 - Matin : présentation des différentes maquettes
 - chaque groupe d'étudiants doit annoncer la charge que pourra supporter leur maquette
 - les groupes votent également pour la maquette qu'ils pensent voir gagner
 - Après-midi (pour ceux qui le peuvent) : test des maquettes de ponts dans une configuration « concours », ouverte au public
- Vendredi :
 - Matin : analyse des résultats des tests et interprétation des écarts avec les prédictions
 - Après-midi : rédaction d'une note de synthèse sur les apprentissages de l'activité

Organisation de l'évaluation

travail au sein du projet + soutenance intermédiaire + note de synthèse finale.

Moyens

- Outils logiciels : Comsol (module Structural Mechanics)
- Salles de TP : laboratoire MSSMat (bloc Matière du bâtiment Eiffel), accueil groupe par groupe pour effectuer les essais



Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- mener des essais de caractérisation mécanique d'un matériau ou d'une structure
 - déterminer expérimentalement les propriétés mécaniques d'un matériau en vue de son utilisation dans une structure réelle
 - mener des essais sur des structures réelles afin d'évaluer leurs performances mécaniques
- dimensionner une structure du point de vue mécanique
 - proposer des modèles, analytiques ou numériques, et de complexité croissante, de structures réelles
 - obtenir, à l'aide de ces modèles, des quantités pertinentes pour faire des choix de conception
- présenter de façon convaincante et argumentée une démarche de conception mécanique
 - présenter les choix de modélisation et les résultats issus d'un dimensionnement mécanique
 - expliquer les différences de performances de la structure réelle par rapport au(x) modèle(s) développé(s)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

La validation de cet enseignement permet d'atteindre le jalon 2 de la compétence C1.2, c'est-à-dire « Savoir choisir le modèle adapté pour un problème donné, choisir l'échelle de modélisation ». Elle permet également d'atteindre les jalons 1A et 3B de la compétence C1.3, c'est-à-dire « Savoir mesurer une grandeur en quantifiant l'incertitude de mesure. Savoir interpréter les observations et les erreurs effectuées. Connaître les ordres de grandeur » et « Faire un choix de simulation pertinent pour un problème donné ». Elle permet enfin d'atteindre les jalons 2 des compétences C7.1, C7.2 et C7.4, à savoir « Convaincre de retenir/décider une solution/recommandation choisie parmi d'autres ou une opinion », ainsi que la compétence 8.1.

Les deux premiers acquis d'apprentissage sont évalués tout au long de la semaine, ainsi que dans le cadre de la soutenance intermédiaire et de la note de synthèse finale. Le dernier acquis d'apprentissage fait l'objet plus spécifiquement de la soutenance intermédiaire et de la note de synthèse finale, respectivement.



2IN5020 – Innovation des semi-conducteurs

Responsables : Tanguy PHULPIN
Département de rattachement : ENERGIE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif de semaine bloquée
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) : 27
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Le marché des semi-conducteurs, de 1947 à nos jours, a connu une croissance hors du commun. Ils sont aujourd'hui un **pilier** de nos sociétés, et **indispensable** dans quasiment toutes les **innovations**.

Cet électif, d'ouverture sur le sujet est **indispensable**, afin de comprendre l'origine de ces dispositifs et son évolution, ainsi que leur fonctionnement, leur verrous et leur réalisation à travers différentes étapes expérimentales.

Le programme est le suivant, avec en introduction une conférence introductive du directeur de la recherche du CEA

Introduction à l'étude des semi-conducteurs, principe des bandes d'énergie, étude d'une jonction PN et du contrôle par champ électrique, procédés de fabrication des semi-conducteurs et fabrication des composants électroniques. Un aspect recherche et expérimentations est proposé avec des partenariats industriels et académiques.

Après 10h de cours et une conférence introductive, les étudiants sont invités à choisir un projet.

En fonction du projet, ils seront invité à se rendre dans le laboratoire partenaire pour manipuler, rencontrer et observer pendant 2 ou 3 jours.

Deux projets sont à Grenoble. Les autres en région parisienne.

Le vendredi, une restitution orale en mode pédagogie inversée sera évaluée suivi d'une évaluation écrite.

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

semaine bloquée en SG6

Prérequis

aucun



Plan détaillé du cours (contenu)

Suite à une conférence introductive de 1h30 par le directeur technique du CEA, JP. Kleider fera un cours sur la physique des semi-conducteurs. Vous y verrez le modèle de bandes d'énergie, les matériaux utilisés en électronique, les différents courants, les interfaces dans un composant électrique avec notamment l'étude d'une jonction PN, base de l'électronique. Enfin ce cours vous permettra de comprendre le fonctionnement d'un composant bipolaire et d'un composant MOSFET, base des circuits intégrés certes mais pas que, base de nombreux capteurs et notamment de cellules solaires. Suite à cette approche, les élèves iront pour 2,5 jours faire un projet dans un laboratoire partenaire de cet enseignement. Une présentation en mode 'cours inversé' sera ensuite à réaliser pour présenter les différentes étapes de votre projet à vos collègues. Enfin un écrit examen cloturera la semaine et validera votre compréhension des semi-conducteurs.

Les sujets de projets proposés pour votre immersion dans le domaine sont :

XFAB -> Méthode de caractérisation électrique rapide de fiabilité de composants semi-conducteurs élémentaires

CEA-LETI -> Immersion dans la Recherche au CEA en nanotechnologie

SOIETEC -> Gestion de la déformation thermo-mécanique dans la réalisation de produits de type Piezo-électrique sur Silicium

C2N -> Projet expérimental autour des semi-conducteurs et en particulier de transistor MOSFET

Thalès ->

IPVF ->

Thalès-CNRS -> Découverte du graphène

STMicronics ->

A noter que des possibilités de stage et de césure sont souvent proposés par les industriels à l'issue de cet enseignement

Déroulement, organisation du cours

Une conférence en amont puis 4h de cours également en amont. Enfin une journée entière de cours le lundi puis 2,5 jours dans les laboratoires partenaires avant une soutenance et un examen le vendredi après midi

Organisation de l'évaluation

Soutenance orale puis QCM

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : JP. Kleider, T.Phulpin, J-R. Lequereys (invité)



- Taille des groupes : 7 trinômes, soit 21 élèves

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Notions de physique des semi-conducteurs, bande d'énergie, champ électrique, densité de courant, effet de champ, résistance à l'état passant, jonction PN, cellule photovoltaïque

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A l'issue de cours, les élèves auront acquis les bases pour comprendre le fonctionnement de base des semiconducteurs.

Ils auront découverts différentes voies existantes pour travailler dans le domaine et quels impacts peuvent apporter ces matériaux dans le monde que nous voulons créer (osons inventer l'avenir!). Ils auront aussi appris à utiliser certains outils de laboratoire (salle blanche, microscopie, ...) et ils auront eu la possibilité d'échanger avec des chercheurs qui développent des solutions technologiques permettant d'améliorer la qualité de ces matériaux présents par milliards dans le monde qui nous entoure



2IN5030 – Travail expérimental de physique

Responsables : Brahim DKHIL
Département de rattachement : PHYSIQUE
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif de semaine bloquée
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) : 27
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences fondamentales
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Il s'agit d'un apprentissage expérimental en physique qui a pour objectifs (i) d'illustrer et mettre en pratique expérimentalement le contenu de l'enseignement de physique de CentraleSupélec, (ii) de faire preuve de créativité et d'initiative, (iii) de travailler en groupe et de façon concertée, (iv) de transmettre le savoir. Pour atteindre ces objectifs, les élèves auront à disposition un ensemble d'équipements et d'appareillages à partir desquels, aidés de leurs enseignants-encadrants, ils devront imaginer et mettre en œuvre leurs propres expériences afin d'illustrer les 5 thèmes physiques suivants : structure de la matière, interaction rayonnement-matière, transition de phase, phénomène de transports, conversion d'énergie.

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

semaine bloquée de SG6 et de SG8

Prérequis

physique de base

Plan détaillé du cours (contenu)

Chaque groupe sera formé de 10 élèves répartis en 5 binômes (un binôme = un thème physique) et devra avoir un fil rouge (ligne directrice) commun. Les capacités d'accueil et d'encadrement (4 enseignants) permettent d'accueillir 30 élèves au total.

En début de séquence, au cours de deux séances d'une demi-journée, séances qu'on appellera « préparatoires », et avec l'ensemble des encadrants, les élèves devront se répartir et auront le libre arbitre pour



définir leur fil rouge et les expériences qu'ils auront à mettre en œuvre et à présenter en avril sur 4 journées.

Au cours des séances préparatoires, les élèves auront accès à une liste des appareillages et matériels (visite salle InnoPhysLab + équipements du laboratoire SPMS) qui leur seront mis pleinement à disposition pour mener à bien leurs expériences. Dans une certaine limite et en fonction des besoins émis, du petit matériel supplémentaire pourra être acheté afin de compléter le matériel déjà mis à disposition.

Chaque groupe aura 4 jours pour monter ses expériences en adéquation avec les thèmes physiques, faire les mesures, critiquer les résultats, et réaliser une vidéo type « youtube » qui sera soumise à un comité externe formé d'enseignants de physique de CentraleSupélec.

Déroulement, organisation du cours

- 2 séances de 3h de préparation du travail expérimental
- 4 journées de 7,5h de mise en œuvre du travail expérimental et présentation

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera sur la base du comportement et travail réalisé au cours de l'ensemble des séances, et de la vidéo présentée.

Support de cours, bibliographie

Fiches sécurité des différents postes expérimentaux

Moyens

- Equipe enseignante : 4 enseignants pour 30 élèves
- Taille des groupes : 3 groupes de 10 élèves = 30
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : aucun a priori
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : Physique, jusqu'à 30 élèves
- Accès à la salle InnoPhys et équipements du labo SPMS

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

consolider les acquis en physique

savoir mettre en place un protocole expérimental

travail en groupe, échange et organisation du travail

prise d'initiative et créativité

savoir transmettre



2IN5040 – Enseignement expérimental en transmission d'information

Responsables : Alain DESTREZ
Département de rattachement : TÉLÉCOMMUNICATIONS
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif de semaine bloquée
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) : 27
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'ingénieur
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Les objectifs visés sont la conception, la réalisation et le test d'un système de transmission radio ou optique.

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

Semaine bloquée SG6 et SG8

Prérequis

1EL8000 (systèmes électroniques), ou bases d'électronique équivalentes (calcul des circuits électroniques) et de modélisation (CAO)

Plan détaillé du cours (contenu)

Quatre sujets pour quatre binômes constituent les quatre parties de deux projets communs pour réaliser une liaison complète comprenant un émetteur radio ou optique et un récepteur associé. Les étudiants doivent connecter leurs réalisations et tester la qualité de la transmission pour des signaux audio ou de données (bilan de liaison énergétique, débit, bande passante, linéarité, fiabilité).

Déroulement, organisation du cours

Une journée de présentation des projets (explications) avec rappels de cours et/ou compléments sur les fonctions nécessaires (oscillateurs, amplificateurs, filtres), 3 jours d'expériences en laboratoire, puis une demi-journée de présentation orale finale des projets. Les étudiants vont travailler en laboratoire dans les domaines de la radio et de l'optique et



utiliser du matériel spécialisé (analyseurs de spectres, photomètres, banc de mesure optique, analyseurs de transmission, circuits intégrés, amplificateurs).

Organisation de l'évaluation

Présentation orale finale + rapport final.

Support de cours, bibliographie

Présentation des sujets proposés, compléments nécessaires de cours

Moyens

- Equipe enseignante : Alain Destrez
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : pas d'outils logiciels nécessaires - Les étudiants pourront utiliser LTSpice (logiciel gratuit)
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : une salle de TP du Dpt Télécommunications, 4x2 étudiants dans l'idéal

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Savoir concevoir un système de télécommunications par voie radio ou optique. Savoir mettre en pratique les connaissances théoriques acquises par ailleurs et les confronter à la réalité. Savoir améliorer le résultat obtenu au besoin. Comprendre la transmission d'information (C6.7). Résoudre le problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation (C1.3). Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe (C1.4). Évaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées (C3.6).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Réalisation d'un système de télécommunications radio ou optique. Mettre en pratique des connaissances théoriques (provenant de différents cours) et comparer avec les résultats pratiques. Améliorer les performances de la transmission, au besoin.



2IN5106 – Introduction au marketing

Responsables : Emmanuel Helbert
Département de rattachement : CAMPUS DE METZ
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif semaine bloquée
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 40
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 27
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Comprendre la place du Marketing dans les organisations et les liens avec les autres métiers

Comprendre les grands principes du Marketing, son vocabulaire et connaître un panel d'outils et leur mise en oeuvre.

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

semaine bloquée SG6

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction : Définitions, stratégies de l'entreprise/stratégie marketing, marketing stratégique/marketing opérationnel

2. Le marché :

- a. Des marchés
- b. Le consommateur
- c. Les études
- d. Outils : SWOT, PESTEL

3. La stratégie marketing

- a. Segmentation
- b. Ciblage
- c. Positionnement



4. Le marketing opérationnel

- a. Mix marketing
- b. Gestion de marque
- c. Gestion de produit
- d. Distribution
- e. Prix
- f. Communication
- g. Focus : Marketing digital, marketing de contenu, marketing B2B

5. Le marketing d'aujourd'hui

- a. Lean Start-Up
- b. Design Thinking

Déroulement, organisation du cours

Alternance entre la présentation des concepts et des travaux de groupe (3-4 étudiants). Chaque groupe explorera un projet qui sera le fil rouge de la semaine permettant la mise en pratique des concepts.

Organisation de l'évaluation

Alternance entre la présentation des concepts et le travail en groupe (3-4 élèves). Chaque groupe explorera un projet qui sera le fil rouge de la semaine permettant de mettre les concepts en pratique.



2IN5110 – Ethique et Responsabilité

Responsables : Jean-Marc CAMELIN
Département de rattachement : LEADERSHIP ET MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif 2A
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) : 27
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise
Niveau avancé : Oui
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours aborde la question de l'éthique et de la responsabilité dans le métier d'ingénieur, à partir de situations concrètes exposées tout au long de la semaine de séminaire (témoins, vidéos, apports théoriques) telles que les ingénieurs les vivent, et mène à une prise de conscience et une capacité de questionnement individuel sur l'adéquation entre ses actes et décisions et ses valeurs propres.

Cet électif s'adresse aussi bien aux étudiants se dirigeant vers un métier de management, puis éventuellement de décideur à très haut niveau (exemple : prise de décision en conscience), qu'aux étudiants s'orientant vers les métiers de la recherche, y compris fondamentale (exemple : représentation des utilisations futures de sa recherche). Les objectifs sont les suivants :

- Confronter chaque étudiant aux conséquences d'ordre éthique, social, sociétal, économique et politique de son action future comme ingénieur, dans un contexte multiculturel de plus en plus important
- Aider les étudiants à développer leur conscience des grands enjeux éthiques et sociétaux actuels et dans leur carrière future
- Éveiller les étudiants sur ce qui influence leur prise de décision, ceci dès leurs choix de cursus et d'emploi.

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

Semaine bloquée en fin de SG8

Prérequis

Électif de niveau avancé demandant d'avoir fait l'API de 2^{ème} année sur



l'éthique

Plan détaillé du cours (contenu)

11. Introduction à l'éthique : la responsabilité, le concept, historique, textes de référence, les "agir" concernés, le sens.
12. Illustrations de la problématique : travail (concept, rôle, souffrance au travail, émancipation par le travail), environnement (développement durable, choix à poser, impact), grands enjeux mondiaux
13. Compréhension du système : le système actuel (capitalisme, régulation économique, impact sur les actes posés par les décideurs, que mesure-t-on vraiment, PIB), les alternatives (comment penser autrement le monde, microcrédit, économie virtuelle), l'ingénieur du 21ème siècle et la science (rôle de l'ingénieur au sein du système, son influence sur les questions éthiques, la recherche et ses impacts)
14. L'éthique comme action : aspect individuel (je prends mes décisions, je pose des actes en conscience), décision politique (donner des orientations à l'ensemble de la société), élargir le débat (échelons global-international-national-local, relation au temps court-moyen-long terme, le processus de prise de décision d'un Directeur Général : stratégie, innovation), vous comme étudiants (comment je comprends mon environnement et comment je me projette à l'avenir dans mon métier d'ingénieur, ma césure, mes rêves professionnels)

Déroulement, organisation du cours

Alternance de séances en plénières et d'ateliers en demi-promo, conférences, témoignages d'Alumnis

Organisation de l'évaluation

Présentation orale d'un projet en groupe réalisé tout au long du séminaire.
Prise en compte de la participation active lors des conférences.
Auto-évaluation et évaluation entre pairs sur les compétences

Support de cours, bibliographie

Support de cours, bibliographie : fournie aux étudiants en introduction du cours

Moyens

Support de cours, bibliographie : fournie aux étudiants en introduction du cours.



Equipe enseignante :

- Fabienne Bergé - enseignante coordinatrice de pôle projet et de l'électif DYW – psychologue du travail
- Bruno Lefèbvre - Associé Fondateur Alteralliance - spécialiste psycho-dynamique du travail
- Patricia Midy - enseignante APP/API - coach indépendante
- Témoignages d'Anciens
- Conférenciers extérieurs

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Savoir prendre le recul nécessaire par rapport au contexte professionnel pour envisager l'aspect éthique de l'action
- Comprendre les contraintes issues du système socio-économique pour être capable de les questionner
- Faire preuve d'esprit critique et de discernement face au système
- Transformer les difficultés et contraintes en opportunités de mener sa carrière en respectant son éthique personnelle

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C3.2 Remettre en cause ses hypothèses de départ, ses certitudes.
Surmonter ses échecs

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



2IN5120 – Finances publiques

Responsables : Pierre BERTINOTTI
Département de rattachement : CAMPUS DE METZ
Langues d'enseignement : FRANCAIS
Type de cours : Electif semaine bloquée
Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ
Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 40
Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 27
Quota :
Catégorie d'électif : Sciences de l'entreprise
Niveau avancé : Non
ECTS Erasmus : 2,5

Présentation, objectifs généraux du cours

A partir de données factuelles : concepts, procédures, chiffres..., permettre à chaque étudiant d'élaborer sa propre réflexion sur les grandes problématiques actuelles des finances publiques.

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

semaine bloquée SG8

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction

Les finances publiques : de quoi parle-t-on ?

1. Les grandes problématiques liées à la dépense publique et à la fiscalité :

Les rapports avec la politique, l'économie et la société

2. Les finances de l'État :

Élaboration du budget :

Le contenu : missions, programmes, actions

La procédure : le semestre européen et le semestre national

Les ressources financières de l'État : fiscalité et dette

Exécution du budget : les principales règles de gestion

Contrôle des dépenses et évaluation des actions

3. Les finances des collectivités locales :

Qui finance quoi ? Compétences et dépenses

L'autonomie financière des collectivités territoriales : la fiscalité locale

Élaboration, exécution et contrôle des budgets des collectivités locales

4. Les comptes de la protection sociale :



Le champ de la protection sociale : les différentes prestations sociales
Le financement de la protection sociale : cotisations, impôts et contributions publiques
La protection sociale : une question politique

Déroulement, organisation du cours

La participation active des étudiants sera privilégiée : brefs exposés introductifs, cas concrets, jeux de rôles... La réflexion collective sera encouragée.

Organisation de l'évaluation

Regroupés par 3 ou 4, les étudiants réaliseront un mémoire d'une quinzaine de pages sur un thème en liaison avec le cours, décidé en accord avec l'enseignant



COURS de LANGUES et CULTURES



LC0100 – Anglais

Responsables : Mark PITT

Département de rattachement : LANGUES ET CULTURES

Langues d'enseignement : ANGLAIS

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 28

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5 (étudiants en échange seulement)

Présentation, objectifs généraux du cours

En 1ère et 2ème années, deux cours par an sont proposés, s'étendant chacun sur deux séquences consécutives.

En 3A des cours de durée variable sont proposés selon le profil de l'élève. Les informations suivantes concernent l'ensemble des cours des 1ère, 2ème, et 3ème années.

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

Deux modules longs par an, chacun s'étendant sur deux séquences, 1 et 2 et/ou 3 et 4

Prérequis

aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Des cours généraux et thématiques sont proposés, en fonction du niveau et de l'emploi du temps de l'élève

Déroulement, organisation du cours

Pédagogie active, utilisation du principe de la classe inversée, travail en classe entière ou en petits groupes. Une heure hebdomadaire minimum de travail maison est à prévoir, en renforcement ou en suivi de chaque cours.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu pour au minimum 80% de la note finale : divers exercices à l'oral et à l'écrit.



Support de cours, bibliographie

Des supports très variés, allant d'articles et exercices créés pour le cours aux oeuvres littéraires et aux manuels d'anglais en fonction du cours choisi.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Consolider et développer les quatre compétences linguistiques (compréhension écrite et orale, expression écrite et orale) qui fourniront les outils pour communiquer dans un environnement scolaire, professionnel et/ou personnel internationalisé et varié.
- Consolider et développer les outils d'une compréhension interculturelle qui permettront aux élèves d'amorcer l'ouverture culturelle et d'aborder l'International.
- Permettre à chacun de développer les moyens de continuer son apprentissage en favorisant l'autonomie et la responsabilité dans le processus d'apprentissage

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- L'élève aura progressé vers le niveau C1+ requis pour le diplôme CentraleSupélec. (Compétence C5.1)
- Selon le cours, d'autres compétences CS pourront être abordées, et notamment la C7



LC0200 – Français Langue Etrangère

Responsables : Geraldine OFTERDINGER

Département de rattachement : LANGUES ET CULTURES

Langues d'enseignement : FRANCAIS

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 28

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5 (étudiants en échange seulement)

Présentation, objectifs généraux du cours

Cette fiche concerne l'ensemble des cours de 1re, 2e et 3e année.

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

S5 de septembre à janvier S6 de février à juin

Plan détaillé du cours (contenu)

Ces cours hebdomadaires sont organisés selon plusieurs niveaux en fonction des résultats obtenus au test de niveau de français. Les cours consistent en ateliers de travaux pratiques permettant de travailler systématiquement : compréhension et communication orale ; compréhension et communication écrite ; compétence structurale (grammaire, vocabulaire). Les étudiants seront amenés à travailler et à présenter en groupe et en individuel des dossiers thématiques variés concernant la culture française contemporaine dans sa relation au passé historique.

Déroulement, organisation du cours

Chaque élève, après un test de niveau, est placé dans un cours correspondant à son niveau : A1, A2, B1, B2, C1 (cadre européen commun de référence)

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est organisée sous deux formes : contrôle continu et contrôle de fin de semestre.

Support de cours, bibliographie

Spécifique à chaque cours et établi en fonction du niveau du groupe par le



professeur. Documents écrits (presse, littérature, ...), audiovisuels (films, enregistrements sonores, ...), manuels de cours, ...

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Consolider et développer les quatre compétences linguistiques (compréhensions écrite et orale, expressions écrite et orale) qui fourniront les outils pour communiquer dans un environnement scolaire, professionnel ou personnel internationalisé et varié. Consolider et développer les outils d'une compréhension interculturelle qui permettront aux élèves d'amorcer l'ouverture culturelle et d'aborder l'international. Permettre à chacun de développer les moyens de continuer son apprentissage en favorisant l'autonomie et la responsabilité dans le processus d'apprentissage.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Maîtriser le français comme langue d'enseignement supérieur, langue commune de communication internationale sur le campus et dans la communauté de l'école, langue de communication professionnelle. Maîtriser la langue française comme moyen de communication pour accéder aux différents aspects de la culture française contemporaine



LC0300 – Allemand

Responsables : Sabine GEISERT

Département de rattachement : LANGUES ET CULTURES

Langues d'enseignement : ALLEMAND

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 28

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5 (étudiants en échange seulement)

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

S5 de septembre à janvier S6 de février à juin

Plan détaillé du cours (contenu)

ALLEMAND GENERAL Niveau débutant : Pratique des compétences orales et écrites. Introduction à la culture et à l'actualité des pays germanophones. Niveau A1-B1 : Acquisition des compétences de base, avec une insistance particulière sur la langue orale et écrite. Approche interculturelle des pays et cultures germanophones. COURS THEMATIQUES : A partir du niveau B1+ Pratique de la langue allemande à un niveau intermédiaire et avancé d'une part au moyen de séquences thématiques : économie, sciences, histoire, actualité et culture et d'autre part au moyen de débats hebdomadaires. Tous les cours incluent des exercices de grammaire et de structure à l'écrit et à l'oral. Préparation aux certificats de l'Institut Goethe (B1 à C2) possible.

Déroulement, organisation du cours

Chaque élève, après un test, est placé dans un cours correspondant à son niveau: A1-A2, B1-B2, C1 (selon le cadre européen commun de référence).

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu 80% ; examen écrit/test auditif/oral à la fin de chaque semestre 20%

Support de cours, bibliographie

Des supports variés: manuels, documents audio, vidéo, documents écrits,



exercices interactifs qui mettent l'accent sur la pratique de la langue et le travail en équipe.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Consolider et développer les quatre compétences linguistiques (compréhension écrite et orale, expression écrite et orale) qui fourniront les outils pour communiquer dans un environnement scolaire, professionnel et/ou personnel internationalisé et varié. Consolider et développer les outils d'une compréhension interculturelle qui permettront aux élèves d'amorcer l'ouverture culturelle et d'aborder l'International. Permettre à chacun de développer les moyens de continuer son apprentissage en favorisant l'autonomie et la responsabilité dans le processus d'apprentissage. Proposer, tout au long de trois années d'études, des approches variées et innovantes permettant à chacun de se retrouver dans un enseignement qui convient.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Comprendre et s'exprimer en allemand à l'écrit et à l'oral, aussi bien dans la vie quotidienne que dans un contexte professionnel et académique (stages, échanges académiques, e-tandem ...). Acquérir les compétences interculturelles permettant une meilleure communication avec les interlocuteurs des pays germanophones.



LC0400 – Espagnol

Responsables : Antonio BARREJON LOPEZ

Département de rattachement : LANGUES ET CULTURES

Langues d'enseignement : ESPAGNOL

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 28

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5 (étudiants en échange seulement)

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

S5 de septembre à janvier S6 de février à juin

Plan détaillé du cours (contenu)

ESPAGNOL GENERAL Niveau débutant : Pratique des compétences orales et écrites. Sensibilisation à la culture et à l'actualité de l'Espagne et de l'Amérique Latine. Niveau A1-B1 : Renforcement des notions fondamentales, avec une insistance particulière sur la langue orale et écrite. Ouverture sur la civilisation de l'Espagne et de l'Amérique Latine. COURS THEMATIQUES - A partir du niveau B2 Bien que l'aspect linguistique reste une composante essentielle de ce cours, les supports utilisés permettent une approximation aux réalités historiques et culturelles des pays hispanophones. -Civilisation et culture espagnoles. - Civilisation et culture latino-américaine. -Espagnol économique. -Cinéma. - Préparation à l'examen officiel de niveau, DELE (« Diploma de Español Lengua Extranjera ») de l'Institut Cervantes.

Déroulement, organisation du cours

Chaque élève, après un test, est placé dans un cours correspondant à son niveau: A1-A2, B1-B2, C1 (selon le cadre européen commun de référence). Cours de 3h hebdomadaires pour les niveaux A1-A2, ou 1h30 à partir de B1.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu 80% minimum; examen écrit/test auditif/oral à la fin de chaque semestre 20% maximum.



Support de cours, bibliographie

Les supports sont variés: manuels, documents audio, vidéo, étude de documents écrits, exercices interactifs mettant l'accent sur la pratique de la langue et le travail en équipe.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Consolider et développer les quatre compétences linguistiques (compréhension écrite et orale, expression écrite et orale) qui fourniront les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, professionnel et/ou personnel internationalisé et varié. Consolider et développer les outils d'une compréhension interculturelle qui permettront aux élèves d'amorcer l'ouverture culturelle et d'aborder l'International. Permettre à chacun de développer les moyens de continuer son apprentissage en favorisant l'autonomie et la responsabilité dans le processus d'apprentissage. Proposer, tout au long de trois années d'études, des approches variées et innovantes permettant à chacun de se retrouver dans un enseignement qui convient.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Comprendre et s'exprimer en espagnol, aussi bien dans la vie quotidienne que dans un contexte professionnel et académique (stages, échanges académiques ...). Acquérir les compétences interculturelles permettant une meilleure communication avec les interlocuteurs des pays hispanophones.



LC0500 – Italien

Responsables : Claude MEZIN-WILKINSON

Département de rattachement : LANGUES ET CULTURES

Langues d'enseignement : ITALIEN

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 28

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5 (étudiants en échange seulement)

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours de langue général par niveaux (de débutant à avancé) axé sur le développement des compétences linguistiques (compréhension écrite et orale ; expression écrite et orale en continu et en interaction) afin d'acquérir les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, personnel ou professionnel. Les cours visent également à consolider la compréhension culturelle et interculturelle.

Déroulement, organisation du cours

A l'issue d'un test, les élèves primo arrivants sont placés dans un groupe correspondant à leur niveau.

Les niveaux sont actualisés à la fin de chaque semestre, et les groupes constitués avec ces informations.

Les cours ont une durée de 1h30 hebdomadaires.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu 80% Examen écrit/test auditif/oral à la fin de chaque semestre 20%

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Consolider et développer les compétences linguistiques (compréhension écrite et orale, expression écrite et orale) qui fourniront les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, professionnel et/ou personnel internationalisé et varié.



Consolider et développer les outils d'une compréhension interculturelle qui permettront aux élèves d'amorcer l'ouverture culturelle et d'aborder l'International.

Permettre à chacun de développer les moyens de continuer son apprentissage en favorisant l'autonomie et la responsabilité dans le processus d'apprentissage.

Proposer, tout au long de trois années d'études, des approches variées et innovantes permettant à chacun de se retrouver dans un enseignement qui convient.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C5 : Etre à l'aise dans un environnement multiculturel et international, et plus particulièrement C5.1

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de communiquer selon les compétences du CECR, avec une aisance et justesse accrues



LC0600 – Portugais

Responsables : Claude MEZIN-WILKINSON

Département de rattachement : LANGUES ET CULTURES

Langues d'enseignement : PORTUGAIS

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 28

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5 (étudiants en échange seulement)

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

S7 et S8

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours de langue général par niveaux (de débutant à avancé) axé sur le développement des compétences linguistiques (compréhension écrite et orale ; expression écrite et orale en continu et en interaction) afin d'acquérir les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, personnel ou professionnel. Les cours visent également à consolider la compréhension culturelle et interculturelle.

Déroulement, organisation du cours

A l'issue d'un test, les élèves primo arrivants sont placés dans un groupe correspondant à leur niveau.

Le niveau des élèves poursuivant leur apprentissage, est actualisé à la fin de chaque semestre, et les groupes constitués avec cette information. Les cours ont une durée de 1h30 hebdomadaires.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu 80% Examen écrit/test auditif/oral à la fin de chaque semestre 20%

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Consolider et développer les compétences linguistiques (compréhension écrite et orale, expression écrite et orale) qui fourniront les outils



nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, professionnel et/ou personnel internationalisé et varié.
Consolider et développer les outils d'une compréhension interculturelle qui permettront aux élèves d'amorcer l'ouverture culturelle et d'aborder l'International.

Permettre à chacun de développer les moyens de continuer son apprentissage en favorisant l'autonomie et la responsabilité dans le processus d'apprentissage.

Proposer, tout au long de trois années d'études, des approches variées et innovantes permettant à chacun de se retrouver dans un enseignement qui convient.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C5 : Etre à l'aise dans un environnement multiculturel et international, et plus particulièrement C5.1

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de communiquer selon les compétences du CECR, avec une aisance et justesse accrues



LC0700 – Chinois

Responsables : Claude MEZIN-WILKINSON

Département de rattachement : LANGUES ET CULTURES

Langues d'enseignement : CHINOIS

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 28

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5 (étudiants en échange seulement)

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours de langue général par niveaux (de débutant à avancé) axé sur le développement des compétences linguistiques (compréhension écrite et orale ; expression écrite et orale en continu et en interaction) afin d'acquérir les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, personnel ou professionnel. Les cours visent également à consolider la compréhension culturelle et interculturelle.

Déroulement, organisation du cours

A l'issue d'un test, les élèves primo arrivants sont placés dans un groupe correspondant à leur niveau.

Le niveau des élèves poursuivant leur apprentissage, est actualisé à la fin de chaque semestre, et les groupes constitués avec cette information. Les cours ont une durée de 1h30 hebdomadaires.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu 80% Examen écrit/test auditif/oral à la fin de chaque semestre 20%

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Consolider et développer les compétences linguistiques (compréhension écrite et orale, expression écrite et orale) qui fourniront les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, professionnel et/ou personnel internationalisé et varié.



Consolider et développer les outils d'une compréhension interculturelle qui permettront aux élèves d'amorcer l'ouverture culturelle et d'aborder l'International.

Permettre à chacun de développer les moyens de continuer son apprentissage en favorisant l'autonomie et la responsabilité dans le processus d'apprentissage.

Proposer, tout au long de trois années d'études, des approches variées et innovantes permettant à chacun de se retrouver dans un enseignement qui convient.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C5 : Etre à l'aise dans un environnement multiculturel et international, et plus particulièrement C5.1

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de communiquer selon les compétences du CECR, avec une aisance et justesse accrues



LC0800 – Japonais

Responsables : Claude MEZIN-WILKINSON

Département de rattachement : LANGUES ET CULTURES

Langues d'enseignement : JAPONAIS

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 28

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5 (étudiants en échange seulement)

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours de langue général par niveaux (de débutant à avancé) axé sur le développement des compétences linguistiques (compréhension écrite et orale ; expression écrite et orale en continu et en interaction) afin d'acquérir les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, personnel ou professionnel. Les cours visent également à consolider la compréhension culturelle et interculturelle.

Déroulement, organisation du cours

A l'issue d'un test, les élèves primo arrivants sont placés dans un groupe correspondant à leur niveau.

Le niveau des élèves poursuivant leur apprentissage, est actualisé à la fin de chaque semestre, et les groupes constitués avec cette information.

Les cours ont une durée de 1h30 hebdomadaires.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu 80% Examen écrit/test auditif/oral à la fin de chaque semestre 20% En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Consolider et développer les compétences linguistiques (compréhension écrite et orale, expression écrite et orale) qui fourniront les outils



nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, professionnel et/ou personnel internationalisé et varié.
Consolider et développer les outils d'une compréhension interculturelle qui permettront aux élèves d'amorcer l'ouverture culturelle et d'aborder l'International.

Permettre à chacun de développer les moyens de continuer son apprentissage en favorisant l'autonomie et la responsabilité dans le processus d'apprentissage.

Proposer, tout au long de trois années d'études, des approches variées et innovantes permettant à chacun de se retrouver dans un enseignement qui convient.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C5 : Etre à l'aise dans un environnement multiculturel et international, et plus particulièrement C5.1

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de communiquer selon les compétences du CECR, avec une aisance et justesse accrues



LC0900 – Russe

Responsables : Claude MEZIN-WILKINSON

Département de rattachement : LANGUES ET CULTURES

Langues d'enseignement : RUSSE

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE PARIS - SACLAY

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 28

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5 (étudiants en échange seulement)

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours de langue général par niveaux (de débutant à avancé) axé sur le développement des compétences linguistiques (compréhension écrite et orale ; expression écrite et orale en continu et en interaction) afin d'acquérir les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, personnel ou professionnel. Les cours visent également à consolider la compréhension culturelle et interculturelle.

Déroulement, organisation du cours

A l'issue d'un test, les élèves primo arrivants sont placés dans un groupe correspondant à leur niveau.

Le niveau des élèves poursuivant leur apprentissage, est actualisé à la fin de chaque semestre, et les groupes constitués avec cette information. Les cours ont une durée de 1h30 hebdomadaires.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu 80% Examen écrit/test auditif/oral à la fin de chaque semestre 20% En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Consolider et développer les compétences linguistiques (compréhension écrite et orale, expression écrite et orale) qui fourniront les outils



nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, professionnel et/ou personnel internationalisé et varié. Consolider et développer les outils d'une compréhension interculturelle qui permettront aux élèves d'amorcer l'ouverture culturelle et d'aborder l'International.

Permettre à chacun de développer les moyens de continuer son apprentissage en favorisant l'autonomie et la responsabilité dans le processus d'apprentissage.

Proposer, tout au long de trois années d'études, des approches variées et innovantes permettant à chacun de se retrouver dans un enseignement qui convient.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C5 : Etre à l'aise dans un environnement multiculturel et international, et plus particulièrement C5.1

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de communiquer selon les compétences du CECR, avec une aisance et justesse accrues



LC1000 – Arabe

Responsables : Claude MEZIN-WILKINSON

Département de rattachement : LANGUES ET CULTURES

Langues d'enseignement : ARABE

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE METZ, CAMPUS DE RENNES

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 28

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5 (étudiants en échange seulement)

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours de langue général par niveaux (de débutant à avancé) axé sur le développement des compétences linguistiques (compréhension écrite et orale ; expression écrite et orale en continu et en interaction) afin d'acquérir les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, personnel ou professionnel. Les cours visent également à consolider la compréhension culturelle et interculturelle.

Déroulement, organisation du cours

A l'issue d'un test, les élèves primo arrivants sont placés dans un groupe correspondant à leur niveau.

Le niveau des élèves poursuivant leur apprentissage, est actualisé à la fin de chaque semestre, et les groupes constitués avec cette information.

Les cours ont une durée de 1h30 hebdomadaires.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu 80% Examen écrit/test auditif/oral à la fin de chaque semestre 20% En cas d'absence justifiée à l'un des contrôles intermédiaires, la note de ce dernier est remplacée par celle du contrôle final.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Consolider et développer les compétences linguistiques (compréhension écrite et orale, expression écrite et orale) qui fourniront les outils



nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, professionnel et/ou personnel internationalisé et varié.
Consolider et développer les outils d'une compréhension interculturelle qui permettront aux élèves d'amorcer l'ouverture culturelle et d'aborder l'International.

Permettre à chacun de développer les moyens de continuer son apprentissage en favorisant l'autonomie et la responsabilité dans le processus d'apprentissage.

Proposer, tout au long de trois années d'études, des approches variées et innovantes permettant à chacun de se retrouver dans un enseignement qui convient.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C5 : Etre à l'aise dans un environnement multiculturel et international, et plus particulièrement C5.1

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de communiquer selon les compétences du CECR, avec une aisance et justesse accrues



LC1200 – Hébreu

Responsables : Claude MEZIN-WILKINSON

Département de rattachement : LANGUES ET CULTURES

Langues d'enseignement : HEBREU

Type de cours :

Campus où le cours est proposé : CAMPUS DE RENNES, CAMPUS DE PARIS - SACLAY, CAMPUS DE METZ

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 28

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 21

Quota :

ECTS Erasmus : 1,5 (étudiants en échange seulement)

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours de langue général par niveaux (de débutant à avancé) axé sur le développement des compétences linguistiques (compréhension écrite et orale ; expression écrite et orale en continu et en interaction) afin d'acquérir les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, personnel ou professionnel. Les cours visent également à consolider la compréhension culturelle et interculturelle.

Déroulement, organisation du cours

A l'issue d'un test, les élèves primo arrivants sont placés dans un groupe correspondant à leur niveau.

Le niveau des élèves poursuivant leur apprentissage, est actualisé à la fin de chaque semestre, et les groupes constitués avec cette information. Les cours ont une durée de 1h30 hebdomadaires.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu 80% Examen écrit/test auditif/oral à la fin de chaque semestre 20%

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Consolider et développer les compétences linguistiques (compréhension écrite et orale, expression écrite et orale) qui fourniront les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement scolaire, professionnel et/ou personnel internationalisé et varié.



Consolider et développer les outils d'une compréhension interculturelle qui permettront aux élèves d'amorcer l'ouverture culturelle et d'aborder l'International.

Permettre à chacun de développer les moyens de continuer son apprentissage en favorisant l'autonomie et la responsabilité dans le processus d'apprentissage.

Proposer, tout au long de trois années d'études, des approches variées et innovantes permettant à chacun de se retrouver dans un enseignement qui convient.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C5 : Etre à l'aise dans un environnement multiculturel et international, et plus particulièrement C5.1

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de communiquer selon les compétences du CECR, avec une aisance et justesse accrues