



CATALOGUE DES COURS DE 1^{ère} ANNÉE

Année académique 2025-2026

Édition du 12 septembre 2025

TABLE DES MATIERES

COURS COMMUNS	7
1CC1000 – Systèmes d'Information et Programmation	8
1CC2000 – Algorithmique & Complexité	11
1CC3000 – Modélisation – Représentations et analyse des modèles.....	13
1CC4000 – Traitement du signal.....	16
1CC5000 – Statistique et Apprentissage.....	18
COURS HORS SEQUENCE.....	20
1SL1000 – CIP - Convergence, Intégration et Probabilités	21
1SL1100 – Zone critique : Limites planétaires et biodiversité.....	24
1SL1500 – EDP - Equations aux dérivées partielles	26
1SL2000 – Gestion et transformation des Entreprises	28
1SL3000 – Physique Quantique et statistique	30
1SL3005 – Physique Q & S - Renforcement DUAL	33
1SL4000 – Finance d'Entreprise.....	35
1SL5005 – Ateliers Pratiques Ingénieur - API - 1A	37
1SL7005 – Ateliers Projet Professionnel - APP - 1A	39
1SL8000 – Projet S6	41
Grands enjeux de société	43
1SL9000 – Sport	45
COURS DE SCIENCES POUR L'INGENIEUR	46
1EL1010 – Rayonnement et propagation	47
1EL1500 – Physique des Ondes	50
1EL2000 – Energie Electrique	53
1EL2500 – Théorie de l'information	55
1EL3000 – Génie Industriel	58
1EL4000 – Matériaux	60

1EL5000 – Mécanique des milieux continus.....	62
1EL6000 – Réseaux et Sécurité	64
1EL7000 – Sciences des Transferts — Thermique & Fluides	66
1EL8000 – Systèmes Electroniques	69
1EL9000 – Thermodynamique.....	72
COURS SEQUENCE THEMATIQUE 2.....	74
ST2 – Robotique médicale	75
1SC2110 – Dynamique des solides indéformables	77
1SC2191 – Modélisation et dimensionnement d'un exosquelette de membre supérieur ...	79
1SC2192 – Modélisation d'un robot polyarticulé de radiologie vasculaire	81
1SC2193 – Modélisation d'un robot de chirurgie mini-invasive.....	83
ST2 – BIOINGENIERIE : PRODUIRE, PROTEGER, REPARER	85
1SC2210 – Sciences du vivant.....	88
1SC2291 – Biomatériaux pour la reconstruction osseuse	90
1SC2292 – Biofilm : une entrave à la production d'électricité couplée à des risques environnementaux et sanitaires.....	93
1SC2293 – Amélioration des performances de microalgues par pression de sélection Darwinienne	96
1SC2294 – Systèmes de libération contrôlée d'agents pharmaceutiques	99
ST2 – SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS	101
1SC2310 – Principes des télécommunications sans fil	103
1SC2391 – Rétablissement des télécommunications après une catastrophe naturelle	105
1SC2392 – Dimensionnement d'un réseau de télécom pour gestion de crise.....	108
1SC2393 – Prévoir le dimensionnement du réseau national d'un opérateur	110
ST2 – TRANSITION ENERGETIQUE	112
1SC2410 – Étude et modélisation des systèmes de conversion électromagnétique et transfert thermique instationnaire.....	114
1SC2491 – Etude, modélisation et validation expérimentale d'un système de transfert d'énergie sans contact.....	116
1SC2492 – Modélisation de la consommation énergétique d'un ensemble de bâtiments	118
ST2 – MECANIQUE ET CONCEPTION DE VEHICULES ET STRUCTURES.....	120
1SC2510 – Modélisation, simulations et expérimentations.....	122
1SC2590 – Performance et hybridation d'un véhicule par modélisation fonctionnelle	124
ST2 – OBSERVATION DE LA TERRE POUR NOTRE ENVIRONNEMENT ET NOTRE SECURITE.....	126
1SC2610 – Modèles physiques pour l'analyse des images radar et optique.....	128
1SC2691 – Biomasse et déforestation	129

1SC2692 – Accompagnement de décideurs locaux pour s’adapter au changement climatique	130
1SC2693 – Suivi des glaciers	132
1SC2694 – Classification automatique de couverture de sol	133
ST2 – PROPAGATION VIRALE	134
1SC2710 – Propagation virale	136
1SC2791 – Challenge épidémiologie	138
1SC2792 – Réponse à une attaque virale sur un système d'information.....	140
1SC2793 – Modélisation et amélioration de l’efficacité d’une plateforme d’échange décentralisée	142
ST2 – MODELISATION D’INTERACTIONS STRATEGIQUES AU TRAVERS DES JEUX	144
1SC2810 – Approche computationnelle des jeux.....	147
1SC2891 – Jeux adversariaux pour la conception logicielle	149
1SC2892 – Jeux stratégiques pour l'économie	151
1SC2893 – Jeux de congestion pour les transports	152
1SC2894 – Jeux évolutionnaires	154
COURS SEQUENCE THEMATIQUE 4.....	156
ST4 – SURVEILLANCE DES SYSTEMES ET PRONOSTIC POUR LA GESTION DES RISQUES	157
1SC4110 – Surveillance des systèmes, pronostic et analyse de risque	160
1SC4191 – Diagnostic de l’état de santé du circuit d’huile d’un turboréacteur	163
1SC4192 – Gestion du risque d’inondation pour un système de production électrique	166
1SC4194 – Aide à la détection de défaut et au diagnostic par l’analyse de données	168
1SC4195 – Estimation de la fiabilité basée sur les données et planification optimale des opérations pour les équipements de soins de santé.....	170
ST4 – BIG DATA & SANTE: DE L’ACQUISITION DE DONNEES A LA PRISE DE DECISION	173
1SC4210 – Biologie et statistique	176
1SC4292 – Les données de la cohorte E3N/E4N pour l'identification de grande tendance	178
1SC4293 – Analyse de données pour la biologie : exploiter les données omiques pour découvrir les voies fonctionnelles	180
1SC4295 – Utilisation de méthodes innovantes pour prédire la santé et la maladie dans les études d'exposome.....	181
1SC4296 – Epidémiologie & Biostatistique sur un Entrepôt de Données de Santé hospitalier	182
1SC4297 – Diagnostic des cancers du foie en imagerie	183
ST4 – TRAITEMENT DE L’INFORMATION POUR DES APPLICATIONS DE L’INTERNET DES OBJETS	184
1SC4310 – Principes de la théorie de l’information et techniques de communication pour l’IoT	186

1SC4391 – Déploiement d'un réseau de fog computing pour le traitement de vidéos	188
1SC4392 – Prédiction de la production des éoliennes à partir de données de l'IoT	190
1SC4393 – Détection d'anomalies dans les réseaux par traitement de données de l'IoT ..	192
1SC4394 – Données des capteurs pour la détection des défaillances	193
ST4 – SÉRIES TEMPORELLES ET MODÈLES D'AGENTS EN FINANCE	194
1SC4410 – Séries chronologiques et modèles à agents en finance.....	196
1SC4490 – Statistical analysis of financial markets	198
ST4 – Adaptation des infrastructures de génie civil au changement climatique	199
1SC4510 – Réponse des structures aux actions environnementales	201
1SC4590 – Jumeaux numériques pour la gestion des infrastructures en présence de risques environnementaux	203
ST4 – ENERGIE ET CLIMAT	206
1SC4610 – Climat et transition énergétique.....	208
1SC4691 – Prévision des changements climatiques et de leurs impacts économiques	211
1SC4692 – Analyse de la consommation électrique par la data science.....	213
1SC4693 – Estimer la production d'un parc éolien offshore	215
ST4 – BLACK SWANS DETECTION IN PARTICLE PHYSICS AND COSMOLOGY	217
1SC4710 – Data Analysis in Particle Physics and Cosmology.....	219
1SC4791 – Détection des Black Swans en physique des particules et en cosmologie (Higgs)	221
1SC4792 – Détection des Black Swans en physique des particules et en cosmologie (Cosmology)	223
ST4 – DATA@WEB: WEB DATA INTELLIGENCE “CREATION DE VALEUR AUTOUR DES DONNÉES DU WEB”	225
1SC4810 – Traitement et analyse de données massives non structurées – cas des données du Web	227
1SC4891 – E-reputation	229
1SC4892 – E-Marketing	231
1SC4893 – E-Commerce.....	234
COURS en SEMAINE INTERCALAIRE 1A	236
1IN1000 – Start-Up Week.....	237
1IN2000 – Management de projet - Les Fondamentaux.....	239
1IN3000 – Coding Weeks.....	241
COURS de LANGUES et CULTURE.....	243
LC0100 – Anglais	244
LC0200 – Français Langue Etrangère	245
LC0300 – Allemand	246

LC0400 – Espagnol	248
LC0500 – Italien	250
LC0600 – Portugais	251
LC0700 – Chinois.....	252
LC0800 – Japonais.....	253
LC0900 – Russe	254
LC1000 – Arabe.....	256
LC1200 – Hébreu	257
LC1500 – Suédois.....	259

COURS COMMUNS

1CC1000 – Systèmes d'Information et Programmation

Responsables : **Gianluca Quercini**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT INFORMATIQUE**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

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) : **30,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours comprend deux parties : **systèmes d'information** et **programmation**. Le but est de donner aux futurs ingénieurs les bases des systèmes d'information qu'ils ou elles utiliseront dans leur carrière et de leur permettre de concevoir et d'écrire proprement un programme informatique.

Les élèves de 1ère année ont des niveaux très différents dans ces domaines, du fait de leur parcours antérieur et de leur goût personnel pour la programmation (certains ont déjà participé à des concours de programmation).

Ce cours ne demande pas de notion avancée en algorithmique.

Il permet cependant de valider un niveau minimum commun à tous les élèves, mais aussi de faire progresser les élèves les plus avancés.

Dans le cursus Ingénieur, trois cours successifs contribuent à former les élèves à la programmation et à l'algorithmique. Ce cours est le premier, et est suivi de deux semaines de programmation (Coding Weeks) et du cours d'Algorithmique et Complexité.

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

SG1

Prérequis

Aucun en termes de cours CentraleSupélec, SIP étant le premier cours d'informatique du cursus ingénieur.

On s'attend cependant à ce que les élèves aient acquis les connaissances en informatique demandées dans les programmes de prépa : notions de bases de données relationnelles, connaissances de base de SQL, connaissances de base en programmation Python. Des séances de renforcement seront proposées aux élèves qui n'ont pas ces connaissances de base.

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours est composé de 4 séances de cours magistral (CM) de 1h30 et de 22,5 heures de travaux dirigés (TD) au total.

Le contenu est organisé de la manière suivante :

Systèmes d'information :

- Introduction à l'architecture des ordinateurs (cours et TD).
- Introduction aux réseaux (cours et TD).
- Introduction à la sécurité des systèmes d'information (cours et TD).

Programmation :

- Présentation des outils du développement logiciel : Visual Studio Code, interface en ligne de commande (Bash), Git et GitLab (TD).

- Rappel des notions de base : interpréteur Python, variables, fonctions, structures de données de Python : dictionnaires, sets, listes et tuples (TD).
- Utilisation des bibliothèques de calcul scientifique en Python : NumPy et Matplotlib (TD).
- Programmation orientée objet (cours et TD).
- Manipulation de données semi-structurées avec Pandas, préparation et nettoyage des données (TD).
- Manipulation de bases de données relationnelles dans des programmes Python (TD).
- Création d'interfaces graphiques en Python (TD).

Lors des séances de TD, les élèves apprendront les bonnes pratiques pour écrire du code propre (commentaires, tests) et à déboguer leur code.

Déroulement, organisation du cours

Les séances de travaux dirigés consistent à approfondir les notions apprises en cours avec des exercices au tableau et des activités sur ordinateur.

Avant le cours, chaque élève devra installer sur son ordinateur personnel : la dernière version de l'interpréteur Python disponible sur <https://www.python.org/>, Visual Studio Code, DB Browser for SQLite et Git.

Un support renforcé est mis en place par la DISI pour s'assurer que tous les élèves disposent de l'environnement nécessaire au démarrage du cours.

Les salles de TD sont équipées d'un accès Internet filaire et Wifi pour chaque élève, ce qui leur donne la possibilité d'aller chercher des ressources sur Internet.

Pendant les TD, les élèves devront participer activement aux discussions entamées par leur encadrant sur les exercices à dérouler.

Organisation de l'évaluation

Un examen écrit de 1h30 est organisé à la fin du cours sur l'ensemble du programme sans accès à un ordinateur et sans documents.

Chaque séance de TD, sauf la première et la dernière, se terminera par un QCM noté de la durée de 10-15 minutes ; Le QCM portant sur les notions abordées en TD.

Le QCM se déroulera sur Evalmee ; chaque élève sera responsable de s'assurer du bon fonctionnement d'Evalmee avant le début du cours.

Il y aura un total de 8 QCM notés.

L'examen écrit comptera pour 60 % de la note.

Chaque QCM comptera pour 5% de la note.

Support de cours, bibliographie

Nous mettons à disposition :

- Les diapositives utilisées pendant les séances de cours magistral.
- Les supports de TD avec solution des exercices.
- Un polycopié.
- Un aide-mémoire Python.
- Un aide-mémoire SQL
- Un aide-mémoire Bash.

Tous les supports sont disponibles en français et en anglais.

Moyens

Equipe pédagogique : Dominique Marcadet (cours en français), Maxime Nannan (cours en français), Marc-Antoine Weisser (cours en français), Gianluca Quercini (cours en anglais).

- Taille des groupes de TD : 27-30 élèves.
- Matériel nécessaire : un ordinateur individuel avec les logiciels nécessaires.
- Tous les logiciels utilisés pendant le cours sont gratuits.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue du cours, les élèves seront capables de (pour chaque partie) :

Systèmes d'information :

- Comprendre le fonctionnement des ordinateurs.
- Comprendre les bases des systèmes d'exploitation.
- Comprendre le fonctionnement des réseaux informatiques.
- Concevoir et interroger (avec SQL) une base de données relationnelle.
- Comprendre les enjeux de sécurité des systèmes d'information.

Programmation :

- Pour un problème donné, écrire un programme dans un langage de programmation de haut niveau.
- Appliquer les bonnes pratiques de programmation : modularité, réutilisation de code, conventions de nommage, commentaires.
- Tester un logiciel : débogage, assertions.
- Utiliser les outils du développement logiciel : environnements de développement intégré (Visual Studio Code), interface en ligne de commande (Bash), Git et GitLab.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C2.1 Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique.
- C6.1 Résoudre numériquement un problème.
- C6.2 Concevoir un logiciel.
- C6.3 Traiter des données.

1CC2000 – Algorithmique & Complexité

Responsables : **Fabrice Popineau**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT INFORMATIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

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) : **31,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de présenter les méthodes informatiques de résolution de problèmes d'ingénierie. Il se base d'une part sur la représentation de différentes familles de problèmes à l'aide de modèles théoriques, et d'autre part sur leur résolution par des algorithmes séquentiels ou distribués. Nous nous attacherons à déterminer l'existence d'une solution et sa qualité. Nous nous intéresserons à la complexité des problèmes étudiés ainsi qu'à celle des algorithmes développés.

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

ST2

Prérequis

SG1 – Systèmes d'information et programmation (SIP)

Programme commun d'informatique des classes préparatoires scientifiques

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours 1 : Problème de décision et d'optimisation – solution – algorithme – complexité des algorithmes – stratégies de construction d'algorithmes et exemples

Cours 2 : Complexité des problèmes – NP-complétude – réduction polynomiale de Karp

Cours 3 : Méthodes exactes pour les problèmes difficiles : backtracking – branch and bound

Cours 4 : Méthodes approchées pour les problèmes difficiles : algorithmes gloutons – heuristiques

Cours 5 : Programmation dynamique

Cours 6 : Problème du flot maximal – méthode de Ford-Fulkerson – applications

Cours 7 : Algorithmique pour la résolution de problèmes pratiques

Déroulement, organisation du cours

- 3x1h30 de remise à niveau avec travail personnel - optionnel

- 7x1h30 de cours

- 12x1h30 de TD dont 2 TP notés

- examen de 3h

Organisation de l'évaluation

Examen terminal : examen écrit - 80%

Contrôle continu : rendu des TPs en présentiel - 20%

Support de cours, bibliographie

Les transparents seront accessibles en ligne sur la plate-forme de gestion de contenus de l'école.

Les élèves intéressés peuvent consulter les ouvrages de référence suivant :

- *Introduction to Algorithms*, Third Edition. Par Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest et Clifford Stein. MIT Press, 2009.
L'édition précédente (1996) est disponible en français chez Dunod sous le titre « *Introduction à l'algorithmique* ».
- *Algorithm Design*. Par Jon Kleinberg et Éva Tardos. Pearson Ed. (Addison-Wesley), 2006. Il n'y a pas d'édition en français mais le livre est disponible en PDF sur Internet.
- *Programmation Efficace : Les 128 Algorithmes Qu'il Faut Avoir Compris et Codés en Python au Cours de sa Vie*. Par Christophe Dürr et Jill-Jênn Vie. Ellipse, 2016.

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) :
 - Fabrice POPINEAU
 - Arpad RIMMEL
 - Nicolas SABOURET
 - Joanna TOMASIK
 - Benoit VALIRON
 - Marc-Antoine WEISSER
 - Idir AIT SADOUNE
 - Lina YE
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 30 élèves maximum
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : environnement de développement Python vu dans le cours SG1 – systèmes d'information et programmation (VSCode, etc)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- De raisonner en termes algorithmiques pour résoudre des problèmes de la vie réelle (pensée computationnelle ou « computational thinking ») ;
- D'appliquer des techniques génériques de conception d'algorithmes (force brute, diviser pour régner, etc.) à la résolution d'un problème ;
- D'utiliser des méthodes exactes (programmation dynamique, backtracking, etc.) et des méthodes heuristiques (glouton, A*, etc.) pour obtenir des solutions approchées à un problème d'optimisation ;
- D'analyser des algorithmes et d'estimer leurs complexités temporelle et spatiale ;
- D'étudier la classe de complexité d'un problème pour choisir les bonnes méthodes de résolution.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

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

En lien avec la compétence C1 (Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes)

- Raisonner en termes algorithmiques pour résoudre des problèmes de la vie réelle (pensée computationnelle ou « computational thinking »). En partant d'un problème de la vie réelle, l'élève doit proposer une modélisation, déterminer la classe de complexité du problème informatique associé, proposer une résolution algorithmique du problème et évaluer la qualité de la solution.

En lien avec la compétence C6.1 (Résoudre numériquement un problème)

- Connaître des techniques génériques de conception d'algorithmes (force brute, diviser pour régner, etc.) et de les appliquer pour résoudre un problème ;
- Utiliser des méthodes exactes (programmation dynamique, etc.) et des méthodes heuristiques (glouton, A*, etc.) pour obtenir des solutions approchées à un problème d'optimisation ;
- Analyser des algorithmes et d'estimer leur complexité temporelle et spatiales ;
- Déterminer la classe de complexité d'un problème pour choisir les bonnes méthodes de résolution.

En lien avec la compétence C6.2 (Concevoir un logiciel)

- 3 TP et 2 TD-machine permettront aux élèves d'implémenter les algos étudiés par le biais d'une programmation en Python.

1CC3000 – Modélisation – Représentations et analyse des modèles

Responsables : **Cristina-Nicoleta Maniu**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT AUTOMATIQUE**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

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

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **31,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Les progrès technologiques et scientifiques actuels n'auraient pas pu être possibles sans les concepts et les outils permettant de comprendre le comportement des systèmes complexes faisant intervenir des domaines d'application variés (comme l'énergie, les télécommunications, le transport, l'aéronautique et le spatial, l'économie et la finance, la santé, etc.). La modélisation de systèmes joue un rôle essentiel pour la commande des systèmes, ainsi que pour l'analyse des interactions entre les divers composants d'un système ou entre différents systèmes.

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables de représenter et analyser l'évolution d'un système au moyen d'un modèle exploitable analytiquement ou numériquement, adapté à l'objectif de modélisation déterminé en termes d'hypothèses de modélisation, de représentativité et de niveau de complexité, et d'en déterminer le domaine de validité.

Pour cela, ils seront capables de choisir et justifier l'échelle temporelle et spatiale d'intérêt, ainsi que la représentation la plus adaptée. Puis, à partir de données expérimentales, ils seront capables de concevoir une structure de modèle et d'en identifier les paramètres, malgré les bruits de mesure inhérents, et finalement d'évaluer la pertinence / la validité des modèles proposés.

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

ST2

Prérequis

Analyse, Probabilités, Bases d'Algorithmique.

Plan détaillé du cours (contenu)

1) Introduction générale : du système à la formalisation mathématique [Cours 1h30]

- Taxonomie des modèles (discret/continu/hybride, déterministe/stochastique, mécaniste/data-driven, espace d'états etc.)
- Démarche de modélisation

2) Modélisation des systèmes à état continu (dans le sens d'un système dynamique) [Cours 6h, TD 4h30]

- Représentation temporelle des systèmes dynamiques :
 - o Temps continu : écriture d'une équation différentielle sous forme de représentation d'état (linéaire ou non linéaire), calcul des points d'équilibre et linéarisation d'un système non linéaire autour d'un point de fonctionnement, résolution explicite d'une équation d'état linéaire, analyse de la stabilité par étude des valeurs propres
 - o Temps discret : représentation d'une équation aux différences sous forme de représentation d'état (linéaire ou non linéaire), calcul des points d'équilibre et linéarisation autour d'un point, solution de la représentation d'état linéaire, analyse de stabilité par étude des valeurs propres
- Représentation fréquentielle :
 - o Fonction de transfert d'un système linéaire à temps continu : notions de base sur les transformée de Laplace, analyse fréquentielle (diagramme de Bode), analyse temporelle (réponse impulsionnelle, réponse indicielle - focus sur les systèmes du 1er et du 2nd ordre), lien avec la représentation d'état
 - o Fonction de transfert d'un système linéaire à temps discret : notions de base sur la transformée en z, lien avec la représentation d'état

3) Modélisation des systèmes à état discret [Cours : 3h, TD : 3h]

- Automates :
 - o Automates non temporisés, produits synchrones et parallèles d'automates
- Réseaux de Petri :
 - o Formalisation des réseaux de Petri non temporisés, modélisation de processus (partages de ressources, synchronisation, etc.), analyse par algèbre linéaire, analyse des propriétés d'un réseau de Petri
 - o Extension au cas de réseaux de Petri temporisés
- Systèmes hybrides
 - o Formalisation, conditions de garde et d'invariances, fonction de réinitialisation des états continus

4) Méthodes pour l'analyse, l'identification paramétrique et l'évaluation des modèles [Cours 4h30 + TD 3h]

- Analyse de sensibilité, calcul de perturbations, analyse d'incertitudes :
 - o Modélisation des incertitudes : modélisation à partir de données disponibles (histogrammes, méthodes des noyaux, estimation de la moyenne et de la variance), principe du maximum d'entropie
 - o Propagation des incertitudes : calcul par intervalle, combinaison de variance, approche Monte Carlo
 - o Analyse de sensibilité : cas des systèmes linéaires ou quasi-linéaires, indices de Sobol
- Evaluation de modèles :
 - o Identifiabilité, éléments d'identification paramétrique (méthode des moindres carrés, à partir d'une réponse temporelle, à partir d'une réponse fréquentielle), optimisation numérique, critères AIC (Akaike Information Criterion) / MSE (Mean Squared Error of Prediction)
- Application de l'estimation de paramètres sur modèle simple, régression linéaire / non linéaire

5) Illustration et mise en application de la démarche de modélisation [TD : 1h30]

- TD de mise en œuvre de l'approche de modélisation sur un cas d'étude réel

6) Examen écrit final [3h]

7) En parallèle, les étudiants réaliseront un projet en temps libre. Un créneau est prévu pour des échanges Q&A avec l'équipe enseignante. [Projet : 1h30 en présentiel]

Déroulement, organisation du cours

Voir le plan détaillé du cours

Organisation de l'évaluation

Epreuves obligatoires :

- Examen final (3h) : 75% de la note finale - individuel, avec documents et calculatrice ;
- Projet : 25% de la note finale - par groupe de 3 élèves ; La note du projet est une évaluation obligatoire (EO)
- Lors de ce cours, la compétence C1 sera évaluée via l'examen final et le projet.

Support de cours, bibliographie

- T. Chevet, S. Font, M.A. Lefebvre, V. Letort-Le Chevalier, H. Lhachemi, C. Maniu, G. Sandou, C. Vlad (2021). "Modélisation. Représentations et analyse des modèles", Polycopié CentraleSupélec, 3ème édition en français, Gif-sur-Yvette.
- T. Chevet, S. Font, M.A. Lefebvre, V. Letort-Le Chevalier, H. Lhachemi, D. Madhavan Brochier, C. Maniu, G. Sandou, C. Vlad (2021). "Model Representations and Analysis", Polycopié CentraleSupélec, 2ème édition en anglais, Gif-sur-Yvette.
- Walter, É., & Pronzato, L. (1994). Identification de modèles paramétriques à partir de données expérimentales. Masson.
- Lamnabhi-Lagarrigue, F, Annaswamy, A, Engell, S, Isaksson, A, Khargonekar, P, Murray, RM Nijmeijer, H, Samad, T, Tilbury, D & Van den Hof, P 2017, 'Systems & Control for the future of humanity, research agenda : Current and future roles, impact and grand challenges' Annual Reviews in Control, vol 43, pp. 1-64.
- Saltelli, A. et al. (2008). Global sensitivity analysis: the primer. John Wiley & Sons.

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Stéphane FONT, Véronique LETORT-LE CHEVALIER, Hugo LHACHEMI, Guillaume SANDOU, Cristina STOICA, Cristina VLAD
- Taille visée pour les groupes de TD : 2 fois (par demi-promo) 12 TDs à 40 étudiants ;
Liste provisoire : Stéphane FONT, Véronique LETORT-LE CHEVALIER, Hugo LHACHEMI, Guillaume SANDOU, Cristina

STOICA, Cristina VLAD, Pedro RODRIGUEZ, Chengfang REN, Israel HINOSTROZA, Jacques ANTOINE

- Outils logiciels et nombre de licences nécessaires : Matlab
- Salles de TD : TD en classes normales (tableau, vidéoprojecteur, prises électriques, Wifi) avec portables des élèves

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Après complétion de ce cours, les étudiants seront capables de :

1. Choisir un type de modèle adapté au système étudié et à l'objectif de modélisation (simulation, optimisation, commande, ...) : discret / continu, dynamique / statique, mécaniste (fondé sur les connaissances) / empirique (fondé sur les données), fréquentiel / temporel.
2. Modéliser et analyser un processus continu, en utilisant les représentations fréquentielles ou temporelles ; mettre en œuvre des méthodes de base d'identification paramétrique (méthodes des moindres carrés à partir de mesures fréquentielles ou temporelles).
3. Modéliser et analyser un système discret en utilisant une approche adéquate : automates, réseaux de Pétri, simulation fondée sur événements discrets.
4. Apporter un regard critique sur les modèles développés : propagation d'incertitudes, analyse de sensibilité (méthodes locales et globales notamment fondées sur la variance), sélection de modèles par rapport à un cahier de charges.
5. Implémenter numériquement le modèle obtenu, le simuler et le valider, en le confrontant aux données expérimentales.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

En termes de compétences :

- Les 3 premiers items des **Acquis d'apprentissage visés** contribuent aux compétences C1.1 "Analyser : étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc." et C1.2 "Modéliser : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes"
- Les items 4 et 5 correspondent à la compétence C1.3 "Résoudre : résoudre un problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation"
- L'item 5 répond à la compétence C1.4 "Concevoir : spécifier, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe"

1CC4000 – Traitement du signal

Responsables : **Charles Soussen**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT SIGNAL, INFORMATION, COMMUNICATION**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

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

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **21,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le monde numérique produit des volumes importants de données de toutes sortes (audio, images, vidéo, mesures physiques) associées aux activités humaines dans des domaines aussi variés que la santé, les télécommunications, l'industrie ou l'environnement. L'extraction d'information de ces signaux est de plus en plus nécessaire pour :

- La prise de décision (ex. diagnostic médical),
- Le codage de l'information (ex. compression de données),
- L'analyse de phénomènes physiques (ex. détection de défauts mécaniques),
- La restauration de signaux (ex. suppression de bruits parasites d'un signal audio)

Le traitement du signal se situe à l'interface entre les mathématiques, la physique et l'informatique. Les concepts mathématiques fournissent des outils de représentation des signaux et les opérateurs nécessaires à leur manipulation. Les modèles physiques permettent de relier les données mesurées à l'information recherchée. Enfin, l'informatique est nécessaire à la mise en œuvre de tout traitement numérique.

A l'issue du cours, l'étudiant sera en mesure de comprendre et d'utiliser les méthodes de traitement déterministe et statistique du signal pour résoudre différents problèmes des sciences de l'information comme le filtrage, la transmission de l'information, le débruitage de signaux, l'estimation de paramètres physiques et l'analyse spectrale. Ces problèmes apparaissent dans des applications aussi variées que la reconnaissance automatique d'enregistrements musicaux, la localisation de sources en radar, l'analyse de données climatiques, la reconstruction d'images médicales en IRM, la détection d'ondes gravitationnelles en astrophysique, le développement des réseaux cellulaires de futures générations (5G, IoT).

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

ST4

Prérequis

- « Convergence, intégration, probabilités » (CIP - 1SL1000)
- « Equations aux dérivées partielles » (EDP - 1SL1500) - pour la théorie des distributions
- « Modélisation » (ST2 -1CC3000)

Plan détaillé du cours (contenu)

- **Motivations et applications du traitement du signal** : espaces de signaux, distributions, signaux aléatoires
- **Filtrage**, convolution, corrélation, produit scalaire.
- **Représentation spectrale des signaux à temps continu ou discret** : transformées de Fourier, TFD, analyse spectrale
- **Numérisation des signaux à temps continu** : échantillonnage, théorème de Shannon, reconstruction
- **Signaux modélisés par des processus aléatoires** : définition, propriétés (stationnarité, ergodicité), fonction de corrélation, densité spectrale de puissance (DSP), filtrage de processus stationnaires
- **Caractérisation de signaux modélisés par des processus aléatoires** : estimateurs de la fonction de corrélation et de la DSP (périodogramme, estimateur paramétrique de processus AR)
- **Exemples de traitements et applications** : prédiction linéaire, débruitage, déconvolution, compression, transmission

Déroulement, organisation du cours

7 CM, 6 TD

Les travaux dirigés comprennent des exercices, des études de cas, des traitements programmés en Python (Jupyter Notebook)

Organisation de l'évaluation

- 2 questionnaires à choix multiples en mode auto-évaluation (non noté, en ligne) à mi-parcours et en fin de ST4
- 1 contrôle final écrit (2h) portant sur l'ensemble du cours et des TD.

La note finale de première session est égale à celle de l'examen écrit :
 $\text{note session1} = \text{exam}$.

Support de cours, bibliographie

Polycopié et slides.

Bibliographie présente dans le polycopié.

Liens sur la page d'edunao vers des ressources numériques externes.

Moyens

- Equipe enseignante : G. Chardon, R. Combes, M. Ferreira, E. Lahalle, J. Picheral, P. Rodriguez, C. Soussen, G. Valmorbida
- Taille des TD : 40
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Python, jupyter notebook. La distribution Python recommandée est anaconda : <http://mycs.centralesupelec.fr/ordinateur/installation-logiciels>

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

Modéliser dans les domaines temporel et fréquentiel les signaux et systèmes à temps continu ou discret.

Maîtriser la théorie de l'échantillonnage et de la reconstruction de signaux.

Caractériser un signal via son analyse temporelle ou spectrale.

Modéliser des signaux par des processus stochastiques.

Estimer les caractéristiques d'un signal aléatoire à partir de données expérimentales.

Être capable d'utiliser les analyses élémentaires de signaux pour aborder des problèmes de traitement du signal comme le débruitage, le filtrage, la compression de données, la prédiction, ou l'analyse fréquentielle.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le cours contribue à valider les compétences C1 et C6, du fait qu'il traite des sous-compétences :

- C1.2 : Modéliser : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes

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

- C6.1 : Traiter numériquement un problème

- C6.2 : Analyser et valider le résultat issu de l'approche numérique

L'examen permet de valider les compétences C1 et C6.

1CC5000 – Statistique et Apprentissage

Responsables : **Arthur Tenenhaus**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MATHÉMATIQUES, MATHÉMATIQUES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

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) : **31,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans ce cours, les étudiants devront acquérir les bases mathématiques, méthodologiques et numériques permettant de réaliser à partir d'observations d'un phénomène aléatoire (les données) une inférence sur la distribution de probabilité sous-jacente. Ainsi, ils seront en mesure d'analyser un phénomène passé ou de réaliser des prévisions pour un phénomène futur de nature similaire.

Pour cela, les étudiants devront dans un premier temps acquérir les formalismes, concepts et résultats élémentaires de la statistique mathématique. Cela inclut en particulier la définition de modèles statistiques, les principes de la théorie de l'estimation et de la théorie des tests d'hypothèses.

Dans un deuxième temps, les élèves se familiariseront avec les méthodes et algorithmes d'apprentissage statistique à partir des données, dans le cadre de l'apprentissage supervisé pour la statistique prédictive ou de l'apprentissage non-supervisé pour la statistique descriptive. Dans ce cadre, ils seront en particulier sensibilisés à la problématique de la grande dimension.

Finalement, les étudiants découvriront et utiliseront par des travaux pratiques en Python des bibliothèques et algorithmes d'apprentissage statistique.

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

ST4

Prérequis

Convergence-Intégration-Probabilités

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Variables aléatoires et échantillons, statistique descriptive, mesure empirique.
2. Estimation paramétrique
 - a. Familles de distributions et modèles paramétriques
 - b. Quelques estimateurs ponctuels : méthode de substitution, méthode des moments, maximum de vraisemblance
 - c. Propriétés des estimateurs ponctuels (biais, consistance, risque, Borne de Cramer- Rao, vitesse de convergence, propriétés asymptotiques, normalité asymptotique, consistance et normalité asymptotique de l'EMV)
 - d. Théorème central limite, méthode delta, th. De continuité, et th. De Slutsky
 - e. Régions de confiance (fonctions pivotales, cas gaussien), et régions de confiance asymptotiques.
3. Estimation Bayésienne : théorème de Bayes, distributions a priori et a posteriori, exemples de distributions conjuguées, intervalle de crédibilité, fonctions de perte et estimateurs bayésiens ponctuels
4. Tests d'hypothèses statistiques
 - a. Principes et démarches générale d'un test : hypothèses alternatives, risques et puissance, statistique de test, région de rejet, p-valeur
 - b. Tests paramétriques : Lemme de Neyman-Pearson, tests asymptotiques
 - c. Tests non paramétriques d'ajustement (chi2, Kolmogorov)
5. Modèle Linéaire de régression et modèles additifs généralisés, arbres.

6. Sélection de modèles, Pénalisation L1 (lasso) et L2 (ridge), validation croisée.
7. Modèle logistique pour la classification
8. Introduction aux Réseaux de neurones.
9. Analyse en composantes principales + Méthodes non supervisées : Clustering (K-means)

Déroulement, organisation du cours

9 x 1H30 de CM + 10 x 1H30 de TD + 3H de Contrôle.
Avec alternance de CM et TD.

Organisation de l'évaluation

Un examen écrit obligatoire de 3h couvrant la totalité du programme

Support de cours, bibliographie

- Slides de cours + sujet de TDs
- Casella, G., & Berger, R. L. (2002). Statistical inference (Vol. 2). Pacific Grove, CA : Duxbury.
- Friedman, J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2001). The elements of statistical learning (Vol. 1, pp. 241-249). New York : Springer series in statistics.

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) :
 - 9 CM : Arthur Tenenhaus + Laurent Le Brusquet + Julien Bect + Arshak Mynasian + Gilles Fay + Vincent Lescarret + Xujia Zhu (Anglais)
- 10 TDs/TPs (par défaut 50 élèves) :
- Outils logiciels : Les TPs seront réalisés en Python, avec notamment les librairies ScikitLearn, StatsModels, Scipy, Keras.
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : A priori TP en classes normales avec portables des élèves.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- modéliser un problème d'inférence statistique
- estimer les paramètres de ce modèle
- valider ou remettre en cause des hypothèses statistiques
- résoudre des problèmes de régression et de classification à partir de données
- identifier des sous-familles homogènes à partir de données

COURS HORS SEQUENCE

1SL1000 – CIP - Convergence, Intégration et Probabilités

Responsables : **Alexandre Richard**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MATHÉMATIQUES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANÇAIS**

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) : **34,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Maîtriser les concepts et formalismes mathématiques de la modélisation des systèmes complexes passant par

- l'analyse de modèles intégro-différentiels ; les techniques d'approximation et leur convergence;
- la construction d'outils de transformation pour la résolution de problèmes;
- la connaissance approfondie de la théorie de la mesure, à la base du cadre probabiliste moderne, nécessaire pour décrire des phénomènes fluctuants, et du traitement des données.

Le cadre théorique ainsi introduit permettra d'aborder les techniques de traitement du signal et l'étude statistique de données au sein de cours communs à tous. En deuxième année, ce socle pourra se prolonger par l'étude de processus stochastiques et de phénomènes non linéaires, au sein de cours avancés

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

SG1, ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Topologie
Espaces métriques
Espaces vectoriels normés
Espaces de Hilbert
Espaces mesurés
Construction de l'intégrale
Espaces L^p
Interversion limite-intégrale
Probabilités, variables aléatoires
Mesures produits, probabilités sur \mathbb{R}^N , indépendance
Convolution, Transformée de Fourier et fonctions caractéristiques
Vecteurs gaussiens
Convergence de suites et séries de variables aléatoires
Espérance conditionnelle
Marches aléatoires

Déroulement, organisation du cours

Ce cours fait l'objet de modalités différenciées selon la filière d'origine des élèves et leur sélection à partir des vœux exprimés.

Les élèves seront affectés dans l'une des 3 modalités suivantes :

- Modalité 1 : en présentiel en français

Cours et TD en présentiel en français (plusieurs groupes de niveaux, nombre de places limité).

- Cours : 11 séances d'1h30 (16,5 HPE / 25 HEE) en amphi
- TD : 10 séances d'1h30 (15 HPE / 22,5 HEE) en salle
- Autonomie : Outre le travail habituel classique entre chaque séance, les élèves devront effectuer 4 travaux en autonomie correspondant au contenu d'une séance d'1h30 de cours et

de deux séances d'1h30 de TD, réparties entre les séances avec le professeur (0 HPE / 9,5 HEE).

Certains élèves (sélection par la Direction des Etudes) seront affectés dans des groupes de TD *avec renforcement* :

- 3 groupes de 25 élèves en français et 1 groupe de 25 élèves en anglais,
- 10 créneaux supplémentaires d'1h30 de renforcement en plus des cours et TD.

- Modalité 2 : blended learning en français

Cours en ligne en français (choix de la langue par les élèves) et TD en présentiel.

Le contenu des cours est transmis via des séquences vidéo pré-enregistrées. L'interaction avec les enseignants se déroule durant les séances de TD prévues à l'emploi du temps et à travers des moyens numériques. Cette modalité permet aux élèves d'adapter leur rythme d'apprentissage, particulièrement lorsque les concepts sont plus difficiles à appréhender.

- Cours, 12 séances d'1h30 (1,5 HPE / 28,5 HEE) : une première séance en amphi, puis vidéos en ligne ;
- TD : 11 séances d'1h30 (16,5 HPE / 28,5 HEE) : séances en présentiel avec quiz en début de séance sur le cours.

- Modalité 3 : en présentiel en anglais

Cours et TD en présentiel en anglais (nombre de places limité).

- Cours : 11 séances d'1h30 (16,5 HPE / 25 HEE) en amphi
- TD : 10 séances d'1h30 (15 HPE / 22,5 HEE) en salle
- Autonomie : Outre le travail habituel classique entre chaque séance, les élèves devront effectuer 4 travaux en autonomie correspondant au contenu d'une séance d'1h30 de cours et de deux séances d'1h30 de TD, réparties entre les séances avec le professeur (0 HPE / 9,5 HEE).

Certains élèves (sélection par la Direction des Etudes) seront affectés dans des groupes de TD *avec renforcement* :

- 3 groupes de 25 élèves en français et 1 groupe de 25 élèves en anglais,
- 10 créneaux supplémentaires d'1h30 de renforcement en plus des cours et TD.

- Math Libre 1

A la place du cours traditionnel de CIP, un petit groupe d'élèves sélectionnés pourra participer à une classe spécifique dirigée par Erick Herbin. Le contenu avancé et la pédagogie employée seront précisés par Erick Herbin au début de l'année. Les créneaux utilisés seront ceux planifiés pour CIP.

Important : Les élèves affectés dans des groupes où l'enseignement se déroule sous forme présentielle s'engageront sur l'honneur à être présents à l'ensemble des séances.

Organisation de l'évaluation

- Pour l'ensemble des élèves à l'exception de ceux inscrits en renforcement, l'évaluation est constituée comme suit :
 - Une épreuve unique de contrôle continu [CC] (variable selon les groupes), composée de plusieurs parties évaluées à des dates différentes : 30%.
 - Un examen final commun de 3h [EF] (commun à tous les groupes) : 70%,
 - De sorte que la note de session 1 sera max $(0,3*CC + 0,7*CF ; CF)$.
- Pour les élèves inscrits en renforcement, l'évaluation est constituée comme suit :
 - Une épreuve unique de contrôle continu [CC] (variable selon les groupes), composée de plusieurs parties évaluées à des dates différentes, dont plusieurs parties ont lieu pendant les renforcements [MR] à hauteur d'un tiers de la note de [CC] : 30%.
 - Un examen final commun de 3h : 70%,
 - De sorte que la note de session 1 sera max $(0,3*CC + 0,7*CF ; CF)$.
 - L'attention des élèves est attirée sur le fait que l'assiduité est prise en compte dans l'évaluation des renforcements et qu'ils ne peuvent pas prendre l'initiative de se retirer de cette modalité de leur propre chef.

Les documents et appareils électroniques ne sont pas autorisés durant les évaluations.

L'évaluation des élèves du groupe Math Libre 1 sera uniquement constituée de leur note à l'examen final.

Support de cours, bibliographie

Notes de cours (en anglais) imprimées et bibliographie de référence (livres, documents électroniques, fascicule d'exercices)

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) :
Julien Bect, Philippe Bouafia, John Cagnol, Ioane Muni Toke, Alexandre Richard - cours en français
Antonio Silveti-Falls - cours en anglais
Erick Herbin - cours spécial Math Libre 1 en français
- Taille des TD : 21 groupes de TD en parallèle d'effectifs entre 25 élèves et 60 élèves
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Aucun
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : 0

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 (1er jalon)

Analyser les aspects scientifiques du comportement global d'un système à envergure limitée (par exemple partie isolée d'un système complexe), incluant l'identification des facteurs qui influencent son comportement.

C1.3 (1er jalon)

Résoudre : résoudre un problème avec une pratique de l'approximation.

1SL1100 – Zone critique : Limites planétaires et biodiversité

Responsables : **Didier Clouteau**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MÉCANIQUE ÉNERGÉTIQUE PROCÉDÉS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

La terre où nous vivons et construisons n'est pas vraiment cette planète bleue vue de l'espace. Elle se limite en réalité à une fine pellicule de quelques kilomètres d'épaisseur que scientifiques et philosophes ont récemment appelé "la zone critique" : critique pas sa finesse, par sa fragilité et sa complexité mêlant physique, chimie, biologie, écologie et activités humaines.

L'introduction à cette zone critique proposée dans ce cours, est ainsi un cours de géologie dont on a retourné la perspective : il se place du point de vue de ses habitants, humains et non-humains et non du point de vue de Sirius.

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours 1 : Observation de la variabilité naturelle du climat et leur phénoménologie : les forçages, les rétroactions, effets de seuil, de bascule, et d'hystérésis.

TD 1 : Etude d'un modèle d'instabilité climatique

Cours 2 : les grands principes physiques et chimiques : l'effet de serre (rayonnement), les transports d'énergie et d'eau (équations de conservation, transferts thermiques, thermodynamique), le cycle du carbone.

TD 2 : Le climat en chiffres

TD 3 : Modèle d'effet de serre

Conférence (3h) Zone critique, Pr. Jérôme Gaillardet, Institut de Physique du Globe.

Cette conférence est une introduction à la zone critique, couche de quelques kilomètres à la surface de la Terre ayant rendu possible le développement de la vie et de l'espèce humaine et condition de sa survie. On insistera en particulier sur l'importance des différents cycles bio-géo-physico-chimiques (eau, carbone...) imbriqués sur des périodes allant d'une à des centaines de millions d'années.

Conférence (3h) Biodiversité, Pr. Jane Lecomte, Professeur d'écologie au Museum d'Histoire Naturelle.

Cette conférence vise à familiariser les élèves à l'écologie et à tracer les grands défis touchant la biodiversité auxquels elles et ils seront confrontés dans leur carrière ou comme habitant-es de la "zone critique". Cette conférence insiste également sur le lien entre climat et biodiversité, comme en témoignent les travaux conjoints du GIEC et de l'IPBES.

Déroulement, organisation du cours

Cours (3h), travaux dirigés (4,5h) et conférences (6h)

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu en TD et Examen final sous forme de QCM

Moyens

Conférences et Travaux dirigés.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Ce cours a pour objectif de familiariser de futurs ingénieurs aux cycles bio-géo-physico-chimiques qui gouvernent l'environnement avec lequel nous interagissons, en particulier dans les activités de construction et d'exploitation des ressources. L'eau, les sols, l'altération des roches et l'érosion, les écosystèmes, qu'il s'agit d'utiliser sans les épuiser ou les détruire.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 Analyser : étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc.

C2.2: Importer des connaissances d'autres domaines ou disciplines

"comprendre et interagir avec des spécialistes des sciences de la zone critique : géologues, hydrologues, écologies"

C9 : Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales

"Être conscient des enjeux de l'usage des sols et de la rareté des ressources naturelles tant en termes de réduction des impacts que d'adaptation aux risques"

1SL1500 – EDP - Equations aux dérivées partielles

Responsables : **John Cagnol**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MATHÉMATIQUES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Les équations aux dérivées partielles (ou EDP en abrégé) sont des équations dont les solutions sont des fonctions. Elles apparaissent naturellement dans la modélisation en physique, mécanique, biologie, économie, finance et plus généralement tous les domaines de l'ingénieur.

Dans ce cours, vous apprendrez les bases des EDP. Nous commencerons par un rappel sur les équations différentielles ordinaires (EDO) sur lesquelles nous examinerons le caractère bien-posé des questions. Nous aborderons ensuite les différentes classes d'EDP, notamment elliptiques, paraboliques et hyperboliques. Vous verrez comment on peut prouver l'existence et l'unicité des solutions de certaines équations elliptiques.

Vous verrez comment approcher numériquement les solutions des équations aux dérivées partielles elliptiques et paraboliques à l'aide de deux techniques standard : La méthode des éléments finis et la méthode des différences finies. Ces deux techniques aboutissent à un système linéaire de très grande taille ; nous verrons donc les bases de l'algèbre linéaire numérique qui permettent de résoudre ce problème. Vous serez également initié à un logiciel de résolution numérique.

Dans ce cours, vous verrez également la théorie des distributions qui généralise le concept de fonctions. Vous apprendrez comment utiliser et les appliquer cette théorie. Vous découvrirez également les espaces de Sobolev qui sont utiles dans le contexte des EDP.

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

ST2 et SG3

Prérequis

- Convergence, Intégration et Probabilités
- Modélisation (corequis)
- Système d'information et programmation

Plan détaillé du cours (contenu)

Chapitre I - Equations différentielles ordinaires
Chapitre II - Classification des EDP et modélisation
Chapitre III - Distributions
Chapitre IV - La formulation variationnelle
Chapitre V - La méthode des éléments finis
Chapitre VI - La méthode des différences finies
Chapitre VII - Analyse numérique matricielle
Chapitre VIII - EDP paraboliques

Les chapitres I et V se font sur deux séances chacun.
Le chapitre II se fera via un travail personnel des élèves.

Déroulement, organisation du cours

Le cours est disponible en :

Français

Présentiel (groupes 3 à 7) ou blended learning (groupe 1)

Anglais

Blended learning (groupe 2)

La modalité "blended learning" signifie que les cours ont lieu sous forme de capsules vidéo et le TD en présentiel. Les élèves auquel il apparaît opportun d'apporter une aide complémentaire sont inscrits en MR (renforcement). Ils bénéficient de séances supplémentaires animées par les élèves inscrits dans l'électif de 2e année "Teaching Assistant" sous la responsabilité de l'équipe enseignante. Les renforcements sont compatibles avec le français présentiel et l'anglais "blended learning".

Une modalité dite "maths libres" est pourrait être ouverte pour quelques élèves d'un niveau mathématique exceptionnel et souhaitant approfondir les équations aux dérivées partielles. L'admission est soumise à candidature.

La modalité choisie en CIP et le groupe de cours/TD sont reconduits en EDP sauf motif impérieux. Cette reconduction ne concerne pas la modalité "maths libres".

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est constituée :

- D'un contrôle final CF.
- D'une évaluation obligatoire EO pour :
 - Les élèves en renforcement : ils devront réaliser un mini-projet qui consistera en la collation de leur travail en renforcement.
 - Les élèves qui ne sont pas en renforcement et qui s'inscrivent dans un "projet compagnon" : ils devront alors réaliser un mini-projet dit compagnon.
- D'une épreuve unique de contrôle continu CC, laquelle est composée de plusieurs parties se déroulant à des dates différentes, mais constituant une épreuve unique.

Pour les élèves sans projet compagnon ni renforcement, la note finale sera $\alpha_f \text{ CF} + \alpha_1 \max(\text{CC}, \text{CF})$

Où $\alpha_f = 0.7$ et $\alpha_1 = 0.3$

Pour les élèves en renforcement ou avec un projet compagnon, la note finale sera $\alpha_f \text{ CF} + \alpha_o \text{ EO} + \alpha_1 \max(\text{CC}, (\alpha_f \text{ CF} + \alpha_o \text{ EO})/(\alpha_f + \alpha_o))$

Où $\alpha_f = 0.68$, $\alpha_o = 0.12$ et $\alpha_1 = 0.2$

Il est important de préciser que si l'inscription en "projet compagnon" est facultative, ce projet devient obligatoire pour tout élève qui y est inscrit. En particulier, il n'est pas possible de s'en désinscrire et rendre un projet de mauvaise qualité peut faire baisser la note finale.

Support de cours, bibliographie

Erick Herbin & Pauline Lafitte

CIP and PDE Lecture Notes

Haïm Brézis

Analyse fonctionnelle - Théorie et applications : Théorie et applications

Dunod, 2020 (dernière version) ou toute autre version antérieure

Grégoire Allaire

Analyse numérique et optimisation : Une introduction à la modélisation mathématique et à la simulation numérique

Ellipses, 2005

Moyens

Cet enseignement est composé de neuf cours et de neuf TD.

Les cours sont donnés dans l'un des groupes de cours ainsi qu'une modalité spéciale appelée "maths libres" dont l'ouverture éventuelle fera l'objet d'une communication spécifique. Chaque groupe de cours est subdivisé en groupes de TD. Une modalité de renforcement est attribuée à certains élèves.

En outre, les élèves qui ont à traiter un problème de modélisation conduisant à une EDP dans le cadre d'un projet, d'une ST, d'une activité associative ou d'un intérêt personnel, peuvent demander à bénéficier d'un projet compagnon. Il s'agit de la réalisation d'un travail supplémentaire. Ce travail est facultatif et soumis à candidature. Il est placé sous la responsabilité de Lionel Gabet.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Pour tous : C1, C2, C6

Pour les élèves faisant un projet compagnon : en plus C4, C7

1SL2000 – Gestion et transformation des Entreprises

Responsables : **Éléonore MOUNOUD**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à proposer aux élèves-ingénieurs une présentation structurée des principales problématiques de la gestion des entreprises et des transformations en cours. Il s'agit de développer une vision systémique de ce que sont les entreprises, de leurs objectifs, de leur organisation, de leurs partenaires, ainsi que des enjeux sociaux et environnementaux que posent leurs modèles actuels de développement et des alternatives qui s'offrent pour orienter leur nécessaire transformation vers des modèles sobres, résilients et démocratiques.

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Préambule – LA CROISSANCE ECONOMIQUE ET SES ENJEUX

A. Un capitalisme industriel mondialisé et financiarisé, vecteur de croissance et d'inégalités

B. Les effets externes de la croissance : climat, énergie, ressources, déchets, pollutions, milieux

LANCEMENT – LES ENTREPRISES ET LA GESTION

(AMPHI 7 novembre 2025)

Les entreprises, entre profitabilité et responsabilité (RSE / ESS)

Cours 1. BAU, LE POSITIONNEMENT DE L'ENTREPRISE

L'économie circulaire, une nécessité et une opportunité

Cas Loewi : de l'opportunité à la création d'une activité

Cours 2. L'ENVERS DU DECOR, LA GRANDE ACCELERATION

Les impacts environnementaux et sociaux des chaînes de valeur globales

Cas ZARA : le modèle de la fast fashion et les dérives de l'ultra fast fashion

Cours 3. IMPACTS et GOUVERNANCES ALTERNATIVES

Les modèles responsables au-delà de leurs frontières : ESS, commerce équitable, contributif

Cas mi-parcours : identifier des opportunités responsables, construire un modèle d'activité

Cours 4. DECARBONER LES BUSINESS MODELS

La décarbonation : du Bilan Carbone, scope 1-2-3 au Net-zéro (SNBC)

Cas AMI Citroën : électrification de l'industrie automobile et décarbonation de la mobilité

Cours 5. IMPACTS DU NUMERIQUE

Ubérisation - L'économie des plateformes peut-elle contribuer au bien commun ?

Cas FAIRPHONE : comment réduire les impacts des terminaux numériques

CONFERENCE DE CLÔTURE : le métier du manager, la responsabilité du dirigeant,

Déroulement, organisation du cours

Le cours se déroulera en deux sessions parallèles organisées en ST2.

Les sessions sont organisées par demi-promo en ST2 et sont identiques dans leur organisation

- 1 séance d'introduction du cours le 7 novembre et 1 conférence de clôture le 8 janvier

- 5 séances de 3h en classes intégrées permettant de découvrir le travail par étude de cas et favorisant la mise en situation (prise de parole, rôle) :
l'étude de cas est corrigée et débattue en séance, les classes intégrées se déroulent majoritairement sans écran (DEVICE FREE CLASS ROOMS)
- Un examen intermédiaire obligatoire à mi-parcours avant les congés de Noël
- Un examen final sous forme de QCM plus une question de synthèse

Organisation de l'évaluation

Contrôle final :

- Examen écrit individuel SANS DOCUMENT de 1h30 composé d'un QCM sur les chapitres du cours et les études de cas ainsi que d'une question d'analyse et de réflexion, il compte pour 70% de la note finale

Contrôle continu en classe intégrée, permet d'améliorer la note de contrôle final selon la formule

Max (70%CF+30%CC; CF)

- En classe intégrée, il est proposé de travailler en groupe sur des études de cas pendant 5 séances, les travaux sont remis et évalués par l'enseignant, la note de contrôle continu correspond à la moyenne des notes obtenues sur les travaux remis en groupe,
- La première classe intégrée est obligatoire, l'absence aux classes suivantes n'a pas d'autres conséquences que l'absence de note de contrôle continu

La note de l'examen intermédiaire obligatoire compte pour 30% de la note finale

- L'absence non justifiée à la première classe intégrée se traduit par un malus sur la note de l'examen intermédiaire (malus de 30%)

La validation des compétences se fait

- Par les questions correspondantes dans le CF, ces questions seront indiquées en cours et sur le sujet d'examen
- Par les travaux effectués en classes intégrés, pour les étudiants où la mise en situation le permettra

Support de cours, bibliographie

- . Un polycopié avec les chapitres du cours
- . Les supports visuels du cours
- . Les cas à préparer pour les études de cas
- . Liste bibliographique et netographique

Moyens

- . Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Eléonore Mounoud (CentraleSupélec), Michel Barth, Antoine Coicadan, Elliott Rabin, Colas Cabriel, Guillaume Casses, Pauline Honoré, Lucie Baumgarten, Marie Caroline Boulon, Nicolas de Roffignac, David Talbourdet
- . Taille des TD : session en classes intégrées (cours + TD) de <40 élèves (11 groupes pour 420 élèves) - DEVICE FREE CLASSROOMS (classe sans écran)
- . Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : s/o
- . Salles de TP (département et capacité d'accueil) : s/o

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- . D'exprimer le métier, le secteur, les enjeux et la raison d'être d'une entreprise
- . De décrire les principales fonctions d'une entreprise et les principes de gestion
- . D'identifier les parties prenantes économiques et non économiques d'une entreprise ainsi que les impacts de son activité
- . D'analyser le modèle d'affaires (business model) d'une entreprise et la place qu'y tient le numérique,
- . De comprendre de quoi l'entreprise prend la responsabilité dans son modèle de développement actuel
- . De citer et de relier les enjeux économiques, technologiques, sociaux et environnementaux d'un modèle de croissance
- . De proposer des alternatives bas carbone, circulaires, contributives, équitables

Description des compétences acquises à l'issue du cours

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

1SL3000 – Physique Quantique et statistique

Responsables : **Hichem Dammak**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT PHYSIQUE**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

L'ambition de ce cours est de construire les bases de la physique du 21^{ème} siècle telles qu'elles ont été formulées au début du 20^{ème} (la relativité mise à part). Ce faisant, il s'agit de montrer comment les modèles se sont élaborés, en partant des résultats expérimentaux, en tentant d'utiliser les outils de l'ancienne théorie puis en reconstruisant de manière axiomatique une nouvelle théorie. Ceci est fait dans un premier temps sur la mécanique et l'électromagnétisme conduisant alors à la théorie quantique puis, dans un second temps, sur la thermodynamique, aboutissant à la physique statistique. L'accent est à chaque fois mis sur les applications où l'impact des notions introduites sur les domaines où l'ingénieur (ou, simplement, le citoyen) est présent. In fine, le but est de donner une certaine familiarité aux élèves ingénieurs avec les apports conceptuels de la physique sur lesquels s'élaborent de nombreuses innovations actuelles. Ils en auront le vocabulaire, en maîtriseront quelques démarches essentielles pour une mise en œuvre éclairée et connaîtront les limites de son application.

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

SG3 et ST4

Prérequis

Equations différentielles, algèbre linéaire, espaces vectoriels, thermodynamique, électromagnétisme.

Plan détaillé du cours (contenu)

En plus des séances de présences aux cours et travaux dirigés (TD), du travail en temps libre est demandé à un moment précis entre deux séances sous forme d'un devoir libre (DL). Chaque DL demandé est indispensable pour l'assimilation des notions de base du cours et pour les séances qui suivent.

I. Période 1

1) Cours 1 : Dualité onde-corpuscule. Quelques expériences clef (1h30)

-DL1 : Applications de la dualité onde-corpuscule

2) Cours 2 : De la phénoménologie à la formulation axiomatique. Equation de Schrödinger et potentiels constants par morceaux (1h30)

*TD1 : Puits infinis (2D) et modèle du dihélium (1h30)

-DL2 : Non dégénérescence en 1D. Propriétés générales d'ondes stationnaires dans un puits symétrique

-DL3 : L'ensemble des fonctions d'onde des états stationnaires forment une base orthogonale.

3) Cours 3 : Opérateurs, commutateurs et principe d'indétermination de Heisenberg (1h30)

*TD2 : Effet tunnel et microscopie (1h30)

-DL4 : Manipulation d'opérateur. Fonctions propres de x , p_x et L_z (rotation 2D)

4) Cours 4 : Formalisme et notations de Dirac (1h30)

*TD3 : Etalement du paquet d'ondes (1h30)

-DL5 : Double puits. Maser NH₃

5) Cours 5 : Vibrations et Oscillateur harmonique (1h30)

*TD4 : Vibration moléculaire et transitions entre états (1h30)

6) Cours 6 : Moment cinétique (1h30)

*TD5 : Précession de Larmor (application à la RMN)

-DL6 : Méthode de variation appliquée au potentiel quartique (x^4).

7) Cours 7 : Fermions, Bosons et moment Spin. Atome H et modèle de (1h30)

II. Période 2

*TD6 : Etat fondamental de l'hydrogénoïde. Hamiltonien de He (1h30)

8) Cours 8 : Approximations. Perturbations au premier et second ordre (1h30)

*TD7 : Potentiel de Morse ou oscillateur anharmonique (1h30)

-DL7 : Application de la méthode de perturbation et de la Méthode de variation à l'atome He.
9) Cours 9 : Physique statistique de la thermodynamique à la théorie de l'information (1h30)
10) Système régulé de particules classiques (1h30)
*TD8 : Paramagnétisme et loi de Curie (1h30)
-DL8 : Modèle d'Einstein pour la chaleur spécifique d'un solide à basse température
*TD9 : Sublimation de l'argon (1h30)
-DL9 : Chaleur spécifique d'un gaz diatomique
EXAMEN FINAL (1h30)

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, travaux dirigés, lectures. L'inscription (et le maintien) dans les groupes de petits effectifs est conditionnée à une participation active.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fait au moyen d'une épreuve écrite dont les questions portent sur les acquis d'apprentissage attendus à la fin du cours (voir liste ci-dessus). La validation de la compétence C1 est conditionnée par l'obtention d'une note supérieure à 10 au contrôle Final. Contrôle sans documents. Calculatrice non autorisée. Formulaire fourni.

La note de première session (NS1) est calculée à partir des notes des cinq quiz de contrôle continu et du contrôle final (CF). La note de première session :

$N1 = n\alpha$ (moyenne Quiz) + $(1 - n\alpha)$ (note CF), où n est le nombre de Quiz dont la note est supérieure à celle du Contrôle Final (CF) et $\alpha = 7\%$ est le poids de chaque Quiz.

Pour les élèves bénéficiant de la formation en modalité renforcée, une note MR est fournie par le responsable de cette activité (voir fiche de cours associée). Pour les élèves bénéficiant de la mise à niveau Dual Diplôme, une note DD est également fournie par l'équipe. La note MR ou la note DD remplacera au maximum deux des plus mauvaises notes obtenues dans les cinq Quiz.

Support de cours, bibliographie

Polycopié de cours et d'exercices imprimé fourni.

Moyens

Equipe enseignante : constitué de dix-huit enseignants-chercheurs et doctorants.

· Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 90, 50, 25

· Salles de cours et TD (département et capacité d'accueil) : Physique, 1 grand amphithéâtre, 6 salles de 90, 1 salle de 50 et 10 salles de 35

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin du cours, l'élève devrait avoir acquis la capacité de :

- 1) Appliquer le concept de dualité onde-corpuscule pour interpréter un résultat ou modéliser une expérience (effet photo-électrique, diffraction par un réseau)
- 2) Appliquer les conditions de continuité pour déterminer les fonctions d'onde des états stationnaires d'une particule dans un potentiel constant par intervalle, en 1D.
- 3) Distinguer les états stationnaires liés et libres à l'aide de leur énergie à partir d'une courbe d'énergie potentielle $V(x)$.
- 4) Décrire qualitativement l'effet tunnel ainsi que l'influence de la hauteur ou de largeur de la barrière de potentiel sur le coefficient de transmission.
- 5) Appliquer la décomposition spectrale pour établir l'évolution temporelle d'une particule dans un état non stationnaire.
- 6) Déterminer la moyenne d'une observable (énergie, position, quantité de mouvement, ...).
- 7) Déterminer l'état d'une particule après une mesure ainsi que la probabilité de mesurer une valeur d'une observable.
- 8) Appliquer le principe d'indétermination d'Heisenberg pour estimer les limites de précision dans la mesure simultanée de grandeurs physiques complémentaires.
- 9) Appliquer le modèle de l'oscillateur harmonique pour estimer les énergies des états localisés d'une particule confinée dans un puits.
- 10) Déterminer les états d'un moment magnétique soumis à un champ magnétique en utilisant les propriétés du moment cinétique/spin
- 11) Appliquer le modèle de l'ion hydrogénoïde pour déterminer ou interpréter des spectres d'émission ou d'absorption.
- 12) Appliquer la méthode de perturbation au premier ordre pour estimer les énergies des états stationnaires d'un système proche de ceux modélisés et traités en cours (puits de potentiel, oscillateur harmonique, ion hydrogénoïde)

- 13) Appliquer les concepts d'équilibre et de température à un système de N particules
- 14) Différencier les états macroscopiques et microscopiques et utiliser les notions de probabilité et d'entropie
- 15) Calculer la fonction de partition pour des systèmes simples et en déduire des grandeurs thermodynamiques
- 16) Utiliser une représentation statistique pour dériver des équations d'état et calculer des fluctuations.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les compétences visées sont C1.2 : Utiliser les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes pour traiter le problème et C1.3 : Faire preuve d'esprit critique sur une solution. En particulier en comparant les résultats issus d'une modélisation et ceux de l'expérience. La compétence C1 est évaluée par (au moins) une question dédiée lors de l'examen écrit final.

1SL3005 – Physique Q & S - Renforcement DUAL

Responsables : **Hichem Dammak**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT PHYSIQUE**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

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) : **48,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours de renforcement de physique quantique et statistique vise à fournir un soutien aux élèves (Dual diplôme IN UR et hors UE, Double Diplôme IN, Redoublement, Certains Admis sur Titre, Formation Initiale, etc.) les outils nécessaires pour mieux appréhender les TDs et cours physique quantique et statistique I (1A). Une approche pédagogique variée est proposée lors des séances de TD avec l'objectif de favoriser la réussite des élèves au contrôle finale de physique quantique et statistique.

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

SG3 et ST4

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Les TDs du cours de renforcement arrivent en support des TDs de physique quantique et statistique I (1A). Il vise à fournir un soutien aux élèves de 1ère année. Voir fiche du cours pour plus de détails sur le contenu des TDs.

Déroulement, organisation du cours

9 séances de TD reprenant les concepts traités en TD de 1A. 3 à 4 classes dispensées en anglais. Les séances se déroulent généralement le soir (mercredi et jeudi). Pour plus de détails, voir section "Moyens".

Organisation de l'évaluation

En début de chaque séance (excepté la première séance), un QCM sera proposé. Ces QCM participent à la note des tests (2 tests du cours de physique quantique et statistique) selon la formule* suivante : $\text{Max} [\text{moyenne}[\text{QCM renforcement}], \text{moyenne} [\text{Test TD}]]$.

*Cette formule peut être adaptée chaque année afin de prendre en compte les difficultés des élèves rencontrées durant l'année scolaire.

Support de cours, bibliographie

Cours de physique quantique et statistique de 1A, TDs de renforcement élaboré par l'équipe enseignante du cours de Teaching Assistants de 2A ainsi que le responsable du cours. La plateforme numérique suivante : <http://prd-mecaqu.centralesupelec.fr/> (version beta), est employée dans le but d'illustrer les concepts abordés durant le TD.

Moyens

Les enseignements, élaborés par l'équipe enseignant (TA et responsable du cours), sont construits avec l'objectif suivant : donner les outils aux élèves pour mieux appréhender les TDs via :

- Mini-projets
- Jeu de rôle
- Exercices marathon
- Classe inversée

Le second volet de cet enseignement est de donner du visuel (Homework ou exercices en classe) en utilisant la plateforme numérique :

<http://prd-mecaqu.centralesupelec.fr/>

Enfin, le troisième volet consiste à faire un retour d'expérience et test des acquis des élèves durant les séances via un QCM (5' max). Les QCM portent sur les TD, Homework et plateforme numérique, etc. L'objectif étant d'améliorer l'enseignement et mieux l'adapter aux attentes et besoins des élèves

A l'issue de chaque séance, des Homework vous seront proposés pour approfondir certains concepts

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Mieux appréhender les concepts de base de physique quantique et statistique dispensés en cours et TD de 1A.
Meilleure préparation au contrôle finale de physique quantique et statistique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Des jalons seront franchis dans les compétences suivantes :

- C3.1 – Être pro-actif, prendre des initiatives, s'impliquer
- C4.1 – Penser client, identifier les besoins et la valeur d'une idée
- C3.7 - Choisir les solutions et agir de façon pragmatique
- C7.4 – Maîtriser les techniques orale et écrite de communication
- C8.4 – Travailler en mode projet avec des méthodes adaptées

1SL4000 – Finance d'Entreprise

Responsables : **Maxime Guymard**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

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

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **12,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Le cours permettra aux étudiants de comprendre et d'appliquer les bases du pilotage financier d'une entreprise. Il s'adresse à tout futur ingénieur amené à travailler en entreprise, même ceux qui ne seront pas en première ligne confrontés aux métiers de la Finance.

Les étudiants souhaitant approfondir ces compétences pourront s'orienter vers l'électif de deuxième année de finance d'entreprise et droit.

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

SG3

Prérequis

Gestion et transformation des entreprises

Plan détaillé du cours (contenu)

- Bases de comptabilité : Bilan, Compte de résultat, Trésorerie
- Les paramètres à surveiller pour le pilotage financier d'une entreprise
- Mise en pratique sur un jeu de simulations par équipe

Déroulement, organisation du cours

3 cours en amphithéâtre (1h30 chacun) ; puis mise en pratique avec le jeu et simulations en ligne par équipe (14h, y compris le travail personnel). Les élèves ont la possibilité d'échanger avec l'équipe enseignante pendant la phase de jeu en ligne via la mise en place d'une hotline par mails et lors de séances ad hoc où ils peuvent prendre rendez-vous pour des explications complémentaires de vive voix. Une dernière séance en amphithéâtre (1h30) pour faire le bilan du cours et en ouverture, une introduction à la comptabilité carbone.

Organisation de l'évaluation

Les résultats du jeu, ses simulations et le travail de synthèse sur le jeu demandé aux élèves servent en tant que notation finale.

Support de cours, bibliographie

Tous les documents présentés en amphithéâtre seront disponibles en ligne.

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Maxime GUYMARD, Guillaume CASSES, Sylvain DUFOURNY, David LEJEUNE, Nicolas PECH-GOURG, Eliott RABIN
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : N/A
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Internet
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : non

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre le contenu des états financiers d'une entreprise (bilan, compte de résultat, état des flux de trésorerie)
- Connaître les bases du pilotage financier d'une entreprise

Description des compétences acquises à l'issue du cours

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

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

C8- Mener un projet, une équipe

1SL5005 – Ateliers Pratiques Ingénieur - API - 1A

Responsables : **Christophe Laux**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT DÉVELOPPEMENT PROFESSIONNEL ET MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à développer les bases des compétences clés attendues d'un ingénieur CentraleSupélec : travail en équipe, communication, approche de problèmes complexes et créativité.

Les ateliers se déroulent en français (sauf pour un des groupes pour lequel l'activité sera proposée en anglais). Les travaux à rendre peuvent être rédigés en français ou en anglais, au choix.

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

SG1, ST2, SG3 et ST4

Prérequis

Semestre 5 : pas de prérequis

Semestre 6 : suivre un projet de S6

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 : structurer une présentation convaincante, prendre la parole en public, augmenter son impact en communication orale
- Résolution de problèmes complexes : savoir bien les poser, établir des hypothèses robustes, savoir déterminer et utiliser des ordres de grandeur pertinents, gérer l'incertitude et les risques
- Créativité : méthodes de créativité de groupe (brainstorming, inversion, bi-sociation, analogie...)

Déroulement, organisation du cours

- Apports théoriques
- Etudes de cas en équipe
- Mise en œuvre des apports sur un projet d'ingénieur
- Travail de prise de recul individuelle

API 1 : Introduction au travail d'ingénieur.

API 2 : Problèmes systémiques complexes : changement climatique, Fresque du Climat, bilan carbone.

API 3 : Poser un problème

API 4 : Créativité

API 5 : Management de projet

API 6 : Dynamique de groupe & Suivi d'avancement

API 7 : Communication pour convaincre

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 travaux individuels sont évalués 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.

Des mini-quiz en début d'atelier, portant sur les apports des ateliers précédents, pourront être effectués et évalués.

La note de chaque semestre sera basée sur l'évaluation des Productions lors des cas pratiques en équipe, les Travaux inter-ateliers (TIA), la Qualité de la participation en atelier, et le cas échéant le Résultat du mini-quiz.

Une absence injustifiée (ABI) conduit à une pénalité de 2 points par demi-journée d'absence. Si un rattrapage est proposé, la pénalité est ramenée à -1 pt.

La consolidation semestrielle de ces travaux se traduit en validation de jalon des compétences concernées : C9 en S5 et C3, C4, C7 et C8 en S6

Moyens

Ateliers en groupes de 30 à 40 élèves animés par 2 enseignants

Cas pratiques

Application concrète sur le projet de première année

Films, vidéos, jeux de mise en situation

Travail en équipe

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- travail en équipe et dynamique de groupe
- gestion de projet
- communication orale
- résolution de problèmes complexes
- techniques de créativité en équipe

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A la fin du cours, l'élève maîtrisera les premiers niveaux des compétences suivantes :

- être proactif, prendre des initiatives, proposer des solutions nouvelles (C3)
- penser client et savoir identifier la valeur apportée (C4)
- savoir convaincre (C7)
- mener un projet et travailler en équipe (C8)
- penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre (C9)
- **Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers (C2)**

1SL7005 – Ateliers Projet Professionnel - APP - 1A

Responsables : **Christophe Laux**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT DÉVELOPPEMENT PROFESSIONNEL ET MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **6,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours vise à accompagner les 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)

SG1, ST2, SG3 et ST4

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours comprend deux ateliers (6 HPE), une demi-journée de rencontres collectives avec des ingénieurs (3 HPE), deux entretiens individuels.

En outre, chaque élève doit réaliser trois interviews d'ingénieur et assister à 2 soirées Découverte d'entreprises organisées par l'Ecole.

Déroulement, organisation du cours

- travail en groupe
- rencontre collective d'ingénieurs
- entretiens individuels avec les animateurs d'ateliers
- notes de synthèse des interviews individuelles d'ingénieurs

Dans ces notes de synthèse, il est demandé à chaque élève d'effectuer une prise de recul personnelle sur l'apport de la rencontre ou de la conférence : qu'ai-je appris ? qu'ai-je aimé dans le métier, le parcours, l'entreprise ... ? et pourquoi ? qu'ai-je moins aimé ? et pourquoi ? qu'est-ce qui m'a surpris ? ... Aucun jugement n'est apporté sur les avis exprimés dès lors qu'ils sont argumentés.

Organisation de l'évaluation

La présence aux ateliers est obligatoire.

La participation de chaque élève durant les ateliers est une condition nécessaire à l'apprentissage de tous.

La présence aux deux entretiens individuels est obligatoire.

Une absence à l'un des ateliers entraîne la note fail à l'APP du semestre en question

Au cours du 1er semestre, les élèves doivent rencontrer un minimum de trois ingénieurs. Les interviews d'ingénieurs donnent lieu à une note de synthèse. Le rendu à date de ces documents ainsi que la qualité de la réflexion personnelle sont évalués.

Pour valider les APP de chaque semestre, il faut respecter l'ensemble des conditions suivantes : - Avoir rempli le "questionnaire Projet Professionnel" - Être présent aux ateliers en collectif du semestre, Avoir préparé et effectué l'entretien individuel de chaque semestre, Avoir effectué les trois interviews d'ingénieur et remis la note de synthèse associée dans le bon délai (15 janvier) - avoir assisté aux soirées Découverte d'Entreprise demandées. Chaque semestre, le cours est évalué en « pass or fail ».

Moyens

- Ateliers de 30 à 40 élèves, animés par deux enseignants-accompagnateurs
- Entretiens individuels avec un des deux enseignants-accompagnateurs
- Soirées découverte entreprises organisées par l'Ecole
- Rencontres collectives avec des ingénieurs organisées par l'Ecole
- Rencontres individuelles avec des ingénieurs du choix de chaque élève

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de ce cours, l'élève aura :

- découvert plusieurs métiers d'ingénieur
- découvert plusieurs entreprises
- réfléchi à une première version de son projet professionnel
- ouvert le champ des carrières possibles, en s'affranchissant des biais et stéréotypes

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Découverte des métiers d'ingénieur (C2.5)

1SL8000 – Projet S6

Responsables : **Laurent Bourgois**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT DÉVELOPPEMENT PROFESSIONNEL ET MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **100**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **54,00**

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. L'objectif de cette activité est de mettre en œuvre collectivement les différentes étapes d'un projet, depuis la définition du besoin jusqu'à la restitution du produit, pour aboutir à un livrable à destination d'un client. 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)

SG3 et ST4

Prérequis

Gestion de projets, Ateliers API.

Plan détaillé du cours (contenu)

Les projets s'étendent sur deux séquences (SG3 et ST4). Ils 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 :

- des temps collectifs à l'échelle du pôle pour la transmission de bonnes pratiques et de connaissances ;
- un travail personnel à définir au sein du groupe ;
- un travail collectif d'alignement et de pilotage du groupe projet.

Les encadrants suivront le projet régulièrement pour s'assurer qu'aucun blocage n'apparaisse 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 : l'implication, le contenu et les livrables, la communication, et le fonctionnement de l'équipe en mode projet. Un projet validé implique que l'étudiant ait validé au moins 3 compétences sur 4 parmi l'ensemble {C3, C4, C7, C8}.

Moyens

Les projets sont menés par groupes de 5 étudiants. 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. En début d'année, les pôles sont présentés lors d'un forum. Les étudiants peuvent demander à rejoindre un pôle. Ils peuvent également proposer de mener un projet personnel avec une équipe constituée qui sera hébergée dans un pôle. Tous les étudiants participent à une campagne d'affectation en ligne. Les responsables de pôle aident à choisir les étudiants les plus motivés.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- d'interagir avec un client à distance et en présentiel (discussion téléphonique, échange de messages électroniques, présentation orale, conduite de réunion d'avancement, etc.) ;
- d'identifier la valeur de son travail dans la résolution d'un problème complexe ;
- d'organiser une équipe pour produire une solution originale et de valeur ;
- de prévoir les conséquences humaines, sociales et environnementales de ses actions, et de déterminer le champs de ses responsabilités ;
- de présenter un travail scientifique à l'écrit et à l'oral (en particulier, la bonne gestion des ressources bibliographiques et une communication claire et rigoureuse des réalisations) ;
- de produire un livrable à grande valeur ajoutée en lien avec des parties prenantes variées.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

De manière générale, un projet abouti est un projet où les élèves ont :

- bien posé le problème et apporté des solutions qui créent de la valeur (il y a un avant et un après projet pour le client) ;
- apporté un minimum d'innovation ou de créativité pour répondre au problème de façon novatrice ;
- su fonctionner en équipe et manager le projet avec des ressources ;
- su convaincre dans leur communication orale ou écrite ;
- été capables de prendre du recul sur les aspects éthiques.

Nous retrouvons donc tout au long du projet les compétences :

- C3 : Agir, entreprendre, innover en environnement scientifique et technologique.
- C4 : Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients.
- C7 : Savoir convaincre.
- C8 : Mener un projet, une équipe.
- C9 : Penser et agir en ingénieur éthique, responsable et intègre en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et sociétales.

Selon la nature du projet, les compétences C1, C2, C5 et/ou C6 pourront également être ciblées.

Grands enjeux de société

Responsables : Didier Clouteau, Christophe Laux, Eléonore Mounoud, Didier Paillard

Départements de rattachement : SHS, MEP

Langues d'enseignement : ANGLAIS, FRANCAIS

Type de cours : Cours hors séquence

Campus : Paris-Saclay

Année : 1A

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : 71

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : 42,50

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours de première année, par nature interdisciplinaire croise des approches issues de l'ingénierie, des sciences humaines et sociales, et des sciences du climat. Il propose une lecture systémique des grands enjeux du XXI^{ème} siècle, à moyen et long terme : changement climatique, limites planétaires, érosion de la biodiversité, transitions écologique et énergétique, responsabilité sociale des organisations.

L'ambition du cours est de donner aux élèves les clés pour comprendre et affronter la complexité de ces enjeux d'ordre technique, économique, social et environnemental, en les articulant à différentes échelles (locales, globales), tout en analysant les tensions qu'ils soulèvent.

Il s'agit également de questionner la responsabilité de l'ingénieur, en tant que professionnel et citoyen, et de l'encourager à formuler des questions pertinentes, à mobiliser des savoirs critiques, à déconstruire des idées reçues et à situer son rôle dans ces transitions.

L'enseignement s'appuie sur les interventions d'enseignants-chercheurs et de spécialistes issus de disciplines variées (sciences de gestion et finance d'entreprise, sciences du climat, écologie, énergétique et ingénierie) provenant de CentraleSupélec, des centres de recherche de l'Université Paris-Saclay et d'autres institutions de référence. Ces interventions sont conçues pour nourrir le débat et développer l'esprit critique des élèves face aux controverses scientifiques, techniques et politiques contemporaines.

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

SG1, ST2, SG3, ST4

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours par période

SG1 / ST2 (septembre-janvier)

Ateliers - Rôle de l'ingénieur dans la transition écologique et sociale (6 heures)

- Journée transition énergétique et climat
- Bilan carbone des Campus CS

Introduction aux grands enjeux contemporains, responsabilité sociétale et environnementale des organisations

- Gestion et transformation des entreprises (21 heures)
 - Enjeux : capitalisme mondialisé et financiarisé, transformation numérique et transition écologique
 - Les chaînes de valeur globales : impacts, responsabilité de l'entreprise et modèles alternatifs
 - Les *business models* : vers la décarbonation ?

- Transformation des *business models*
- Finance d'entreprise (2 heures)
 - Bases de la Comptabilité Carbone

SG3 / ST4 (février- mai)

Science du climat, enjeux du changement climatique et de la biodiversité, approche système : Fondamentaux (13.50 heures)

- L'observation de la variabilité naturelle du climat et leur phénoménologie
- Les grands principes physiques et chimiques
- Les simulations numériques du climat
- Les facteurs d'impacts anthropiques
- Les enjeux de la Biodiversité
- L'approche systémique

Déroulement, organisation du cours

- 42,5 heures présentielles réparties pour moitié environ entre cours d'amphithéâtre et travaux dirigés (ou Ateliers).
- Possibilité de classes intégrées selon séances et disponibilités (places limitées).

Evaluation : QCM en ligne et contrôles des connaissances à chaque étape du cours (SG1, ST2, SG3, ST4)

Supports et ressources

- Équipe pédagogique : Didier Clouteau (CS), Maxime Guimard (CS), Masa Kageyama (LSCE), Christophe Laux (CS), Eléonore Mounoud (CS), Didier Paillard (CS et LSCE) et vacataires (dont CS et LSCE).
- Polycopiés intégrant les chapitres, supports de cours et les énoncés des travaux dirigés.
- Cours et travaux dirigés en français ou en anglais.
- Bibliographie fournie.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

La démarche générale du cours consiste à examiner les grands enjeux du développement durable au regard d'études scientifiques rigoureuses et récentes, pour :

- Donner et discuter des chiffres clés (de l'état des lieux aux futurs possibles) ;
- Comprendre leur construction (hypothèses et limites des modèles scientifiques sur lesquels ils reposent) ;
- Et aborder les enjeux dans leurs dimensions multiples (locale à mondiale).

Compétences visées et description

C1. Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques.

C2. Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers.

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

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

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

1SL9000 – Sport

Responsables : **Stéphane Blondel**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE**

Langues d'enseignement :

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

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

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

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)

S5 et S6

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. S'approprier les principes fondamentaux des APSA
2. Aptitudes à mobiliser des connaissances scientifiques et techniques dans l'action.
3. Aptitude à mobiliser des ressources (motrices, cognitives, affectives) en vue d'être performant.
4. S'engager dans un projet d'entretien durable de sa santé et de son bien-être.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- 1-
Maîtriser des techniques en vue d'atteindre un but dans une APSA (C2-2, C2-3)
Être capable de s'adapter aux conditions de jeu, rapports de force, milieux, espaces scéniques. (C2-2, C2-3)
- 2-
Respecter les règles et modalités de pratique l'activité (C3-1, C3-2, C3-4, C3-6, C3-7)
Mettre en œuvre des principes physiologiques et biomécaniques. (C3-1, C3-2, C3-4, C3-6, C3-7)
- 3-
Mettre en œuvre des techniques permettant de mieux gérer son stress et ses émotions (C2-2, C7-3, C9-1)
Relever des informations pour prendre des décisions pertinentes (C3-1, C3-2, C3-4, C3-6, C3-7, C9-1)
Faire preuve de persévérance, se dépasser (C3-1, C3-2, C3-4, C3-6, C3-7, C9-1)
Utiliser les feedbacks pour réguler sa pratique (C3-1, C3-2, C3-4, C3-6, C3-7, C9-1)
- 4-
Connaître les principes physiologiques pour un maintien en bonne santé (préparation à l'effort, récupération, diététique, régularité et dosage de la pratique (C2-2)
Connaître ses préférences motrices et identifier les mobiles de sa pratique (C2-2, C9-1)
Prendre du plaisir pour s'engager durablement dans la pratique des APSA (C2-2, C3-1, C3-4, C3-7, C9-1)

COURS DE SCIENCES POUR L'INGENIEUR

1EL1010 – Rayonnement et propagation

Responsables : **Dominique Lecoïnte**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT ÉLECTRONIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTISME**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,50**

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.

Pour l'ingénieur du 21^{ème} siècle, la maîtrise de la théorie électromagnétique ne peut être ignorée. Mais, dans un environnement où les défis technologiques sont de plus en plus complexes, comment l'ingénieur aborde-t-il les problèmes, quels sont les moyens à sa disposition pour les résoudre ? Cette démarche sera le fil conducteur de ce cours d'électromagnétisme. Partant d'applications variées et concrètes, ce cours présente la démarche d'un ingénieur pour passer d'une scène réelle à la mise en équations sous forme d'un problème électromagnétique, puis le passage à la résolution par utilisation le plus souvent d'outils numériques spécialisés. Les problèmes présentés et leurs formulations théoriques couvriront un large spectre de fréquences : du continu, en passant par les radiofréquences et micro-ondes jusqu'à l'optique. L'accent sera mis sur les différents types de problèmes, en particulier, la propagation libre et guidée et le rayonnement. Les petites classes permettront une mise en pratique sur des problèmes très variés : propagation libre et interférences, propagation guidée et fibre optique, rayonnement et antennes... L'essor des outils numériques a radicalement transformé la méthodologie de résolution des problèmes électromagnétiques. Plusieurs petites classes utiliseront un logiciel électromagnétique industriel afin d'illustrer la démarche actuelle d'un ingénieur pour la résolution des problèmes électromagnétiques.

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

SG1 et SG3

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Introduction

Présence de l'électromagnétisme dans de nombreux secteurs industriels

Diversité des applications de l'électromagnétisme

Importance de la simulation numérique - état de l'art pour les outils numériques

Contenu du cours et liens entre les parties - situation du cours dans l'ensemble du cursus

2. Mise en équations d'un problème électromagnétique : les 3 piliers

De la scène réelle à la mise en équation : phase de modélisation étude en temporel ou en régime harmonique

Premier pilier : équations de Maxwell cas général

Deuxième pilier : équations constitutives des milieux - modèles les plus classiques - linéarité, homogénéité, isotropie, dispersion

Troisième pilier : équations de passage d'un milieu à un autre - écriture selon le choix des modèles de milieu lien avec les outils numériques (exemple CST)

Application : TD numérique : CST présentation et prise en main

3. Synthèse : les différents types de problèmes : objectif, hypothèses associées et simplification, applications emblématiques

États quasi-stationnaires
Propagation
Rayonnement
Diffraction

4. Propagation libre

Onde plane
Polarisation d'une onde plane
Exemple d'une autre solution - faisceaux gaussiens
Propagation en milieu conducteur - épaisseur de peau
Transmission d'une onde d'un milieu à un autre
Application : TD : duplexeur
Application : TD : polarimétrie

5. Propagation guidée : théorie des guides

Approche physique des modes à travers le guide à lames parallèles
Développement théorique - mode TE, TM, TEM
Exemple du guide rectangulaire
Exemple du guide coaxial
Application : TD : fibre optique
Application : TD numérique : transition ligne coaxiale - guide rectangulaire

6. Propagation guidée : théorie des lignes

Du mode TEM vers la théorie des lignes
Théorie des lignes
Adaptation
Application : TD : réalisation d'un circuit d'adaptation pour ligne micro-ruban

7. Rayonnement et antennes

Champ rayonné - champ lointain
Technologie des antennes
Caractéristiques des antennes (approche expérimentale) - diagramme de rayonnement gain et directivité -
Impédance d'entrée
Bilan de liaison
Application : TD : antenne
Application : TD numérique : réalisation d'une antenne Yagi

Déroulement, organisation du cours

11 cours de 1h30, 5 TD de 1h30, 3 TD Numériques de 1h30, 1 contrôle continue de type QCM et 1 contrôle final écrit de 2h00.

Toutes les occurrences sont présentées en langue française.

Organisation de l'évaluation

1 QCM (pondération 20%)

1 contrôle final écrit sans documents de 2h00 (pondération 80%)

Les acquis en compétence seront validés durant le contrôle final. Des questions identifiées permettront de valider les jalons 1 des compétences C1 et C2. Au minimum, deux questions par compétence. L'élève ayant obtenu la moyenne sur les questions associées à la compétence évaluée validera le jalon 1.

Support de cours, bibliographie

Polycopié de cours et d'exercices.

Planches projetées durant le cours (EDUNAO)

Techniques micro-ondes de Marc Hélier, édition Ellipses

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Dominique Lecointe
- Taille des TD (par défaut 25 élèves) : En général, 2 groupes en TD numérique alterneront avec 2 groupes en TD traditionnel.
- Outils logiciels et nombre de licences nécessaires : logiciel MWS. Licence éducation obtenue de la part du fournisseur.
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : Salles informatiques (2 salles informatique de 25 postes) pour les TD numériques

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- mettre en équations un problème réaliste par le choix de modèles plus ou moins complexes.
- juger la pertinence des modèles et leurs limitations.
- choisir une méthodologie de résolution incluant des outils de simulation modernes.
- maîtriser, de la théorie à la pratique, les structures des ondes électromagnétiques se propageant dans un milieu donné.
- maîtriser, de la théorie à la pratique, les systèmes permettant la propagation d'un signal électromagnétique.
- maîtriser, de la théorie à la pratique, les systèmes rayonnant un signal électromagnétique.

Ces différents acquis d'apprentissage permettent de valider le jalon 1 de la compétence C1.2 (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.).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les différents acquis d'apprentissage permettent de valider le jalon 1 de la compétence C1.2 (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.).

Également, les différents acquis d'apprentissage permettent de valider le jalon 1 de la compétence C2.1 (savoir délimiter la notion d'un domaine scientifique)

1EL1500 – Physique des Ondes

Responsables : **Mohammed Serhir**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT PHYSIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

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) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours fournit les éléments de base nécessaires à l'ensemble des disciplines qui utilisent des ondes : sismologie, télécommunication, télédétection (radar, sonar...), techniques d'imagerie, photonique, ... en s'appuyant sur les cas de l'électromagnétisme et de l'acoustique.

Objectif : maîtrise de l'analyse de Fourier, des concepts d'onde et de leurs applications dans différents domaines :

- 1) filtrage spatial, comme le montage 4f en optique de Fourier, pour le traitement des images
- 2) les approximations simplificatrices adaptées en fonction de la longueur d'onde, la taille du système et la distance à laquelle le phénomène est observé : diffraction et rayonnement
- 3) directivité d'une antenne.
- 4) Comportement d'un milieu (transparent, absorbant ou opaque) en fonction de ses propriétés diélectriques ou optiques.
- 5) Calcul des coefficients de réflexion et de transmission d'une onde à travers une interface.

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

SG1 et SG3

Prérequis

- Optique géométrique (lentille convergente)
- Électrostatique, Magnétostatique
- Équations de Maxwell dans le vide
- Onde plane électromagnétique
- Décomposition d'une fonction périodique en série de Fourier
- Équations aux dérivées partielles (Laplace, d'Alembert)

Plan détaillé du cours (contenu)

1-Introduction

Expliquer le contenu du cours et le fil conducteur entre les parties. Situer le cours dans l'ensemble du cursus (présenter les enseignements où ce cours sera utile). Préliminaires mathématiques : Transformée de Fourier, distribution de Dirac

2-Principes de base de l'imagerie, Développement en ondes planes

Propagation : champ proche, champ lointain, ondes évanescentes, diffraction et auto-diffraction d'une onde, limite de résolution

TD1 : Propagation et diffraction, dimensionnement satellite, mesure distance Terre-Lune

TD2 : Traitement optique des images

3-Sources d'ondes

Potentiel retardé, approximation en champ lointain, approximation dipolaire

TD3 : Rayonnement par une antenne filaire et par un réseau d'antennes, lobes d'émission

4-Rayonnement

Champ rayonné : structure locale d'onde plane. Puissance rayonnée

TD4 : Rayonnement par une antenne de téléphonie mobile (antenne dipolaire magnétique)

5-Diffusion, diffraction par un réseau périodique

Introduction à la diffusion par un ou plusieurs diffuseurs ordonnés. Diffraction de Bragg

TD5 : Diffusion/Diffraction de la lumière par un cristal photonique simplifié

6-Équations de Maxwell dans la matière, du microscopique au macroscopique

Établissement des équations de Maxwell valables pour tout milieu : passage à la moyenne pour l'établissement des équations de Maxwell macroscopiques

TD6 : Constante diélectrique, atténuation et bilan d'énergie d'une onde dans un milieu absorbant

7-Relations constitutives, équations de Maxwell généralisée, propagation libre dans la matière

Constante diélectrique généralisée. Notions d'homogénéité, linéarité, isotropie, dispersion. Liens entre dispersion et inertie. Définition de l'indice optique. Signification des parties réelle et imaginaire de l'indice et de la constante diélectrique. Bilan d'énergie. Définition des milieux transparents, opaques et absorbants

TD7 : Couches minces : traitements antireflets. Microscope à onde évanescente

8-Relations de continuité. Réflexion, réfraction

Lois de Snell Descartes. Réflexion et réfraction d'une onde TE ou TM. Angle de Brewster

TD8 : Guide d'ondes diélectrique : application à la fibre optique

TD9 : Milieu non-linéaire : génération de second harmonique

TD10 : Diffusion Brillouin : couplage entre onde acoustique et onde électromagnétique

9-Milieu à indice négatif – Métamatériau

Propagation dans un matériau double-négatif : lentille parfaite, invisibilité

Déroulement, organisation du cours

9 séances de cours magistral en Amphi

10 séances de travaux dirigés en groupe de 33 élèves

Dans le cas de l'occurrence en anglais le cours magistral est enseigné en anglais, en revanche une seule salle de TD où l'enseignement est assuré en anglais (dans les trois autres salles de TD l'enseignement est assuré en français).

L'occurrence 1.2 sera enseignée en anglais et l'occurrence 1.4 sera enseignée en français

Déroulement des séances :

- 1 CM1
- 2 CM2
- 3 TD1
- 4 CM3
- 5 TD2
- 6 CM4 (test 1)
- 7 TD3
- 8 CM5
- 9 TD4
- 10 CM6
- 11 TD5
- 12 CM7 (test 2)
- 13 TD6
- 14 CM8
- 15 TD7
- 16 TD8
- 17 TD9
- 18 CM9 (test 3)
- 19 TD10
- 20 Examen final

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu (QCM) sans documents : Test 1 de 15 min à la séance 6 pendant le CM4. Test 2 de 15 min à la séance 12 pendant le CM7. Test 3 de 15 min à la séance 18 pendant le CM9. Contrôle final (examen écrit) de 2 heures avec documents (65%).

Chaque contrôle continu (QCM) compte avec une pondération 0.35/3 de la note, le contrôle final comptant avec une pondération de 0,65

La compétence C.1 est évaluée à travers un exercice parmi les exercices du contrôle final. Si la note brute à cet exercice est supérieure à 50%, l'élève aura validé la compétence C.1 dans le cadre de ce cours.

La compétence C.2 est validée si la note de la session est supérieure à 10/20

Support de cours, bibliographie

Polycopiés de cours et d'exercices avec corrigés.

Moyens

Equipe enseignante : Pierre-Eymeric Janolin, Bruno Palpant, Nicolas Mallick, Mohammed Serhir, Romain Pierrat (vacataire), Aurélie Bonnefois (vacataire), Michael Vaz (vacataire)

Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 4 salles de TD de 30 élèves.

Outils logiciels et nombre de licences nécessaires : Python installé sur les PC des élèves

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

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- 1) **Appliquer** les méthodes de filtrages spatial, comme le montage 4f en optique de Fourier, pour le traitement des images
- 2) **Appliquer** les approximations simplificatrices adaptées en fonction de la longueur d'onde, la taille du système et la distance à laquelle le phénomène est observé : diffraction d'une onde ou rayonnement d'une antenne
- 3) **Déterminer** la zone de rayonnement et la directivité d'une antenne.
- 4) **Décrire** si un milieu est transparent, absorbant ou opaque à partir de ses propriétés diélectriques ou optiques.
- 5) **Appliquer** les conditions aux limites pour un système présentant une ou plusieurs interfaces.
- 6) **Calculer** les coefficients de réflexion et de transmission d'une onde à travers une interface.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 : Analyser les aspects scientifiques du comportement global d'un système à envergure limitée (par exemple partie isolée d'un système complexe), incluant l'identification des facteurs qui influencent son comportement (**diffraction, diffusion, réflexion, transmission, absorption, interférences**)

C1.2 : Utiliser correctement un modèle présenté en cours, dans ses conditions de validité (modèle décrivant un phénomène, sans couplages) (**approximations champs lointain, approximation dipolaire, approximation onde plane, optique de Fourier/traitement d'images, réseau d'antennes, diffusion par un réseau périodique, couche anti-reflet, diffusion Brillouin**)

C1.3 : Confronter les résultats d'une simulation à des mesures expérimentales ou aux résultats de calcul approximatifs en tenant compte des erreurs de mesure, des approximations du modèle ou des incertitudes, à partir de la connaissance des ordres de grandeur.

C2.1 : Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

1EL2000 – Energie Electrique

Responsables : **Martin Hennebel**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT SYSTÈMES D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

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

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'énergie électrique est indispensable au fonctionnement et au développement de la société dans toutes les régions du globe. Les progrès continus depuis plus de cent ans ont permis d'intégrer son usage dans de nouveaux secteurs d'activité (transports terrestre, maritime ou aérien, systèmes embarqués, énergies renouvelables, spatial). Aujourd'hui, les objectifs de respect de l'environnement et du développement durable sont aussi des moteurs de l'amélioration des technologies associées à cette énergie et favorisent son déploiement à différents niveaux de puissance.

Le cours d'énergie électrique se propose de donner les méthodes et les outils fondamentaux pour l'analyse des systèmes utilisant l'électricité en tant que vecteur énergétique. Il associe la connaissance de la physique à celle des matériaux magnétiques pour caractériser les éléments constituant les systèmes d'énergie électrique.

Dans un premier temps, le cours précise les enjeux de l'énergie électrique pour le fonctionnement de la société et présente les principaux acteurs. Il montre aussi ses nombreuses interactions avec les différentes disciplines scientifiques.

Il présente ensuite les grandeurs principales, les concepts et les outils nécessaires à l'analyse des systèmes d'énergie électrique et donne des exemples d'application.

Il met l'accent sur le comportement des couplages magnétiques en utilisant l'application de l'électromagnétisme au cas des éléments utilisant des matériaux magnétiques. Le comportement de ces matériaux est analysé pour en établir une modélisation énergétique et préciser les performances selon l'amplitude d'excitation ou la fréquence. La représentation de type circuit magnétique est employée pour le passage de la physique des éléments à leurs modèles.

L'application naturelle de cette partie est l'étude des transformateurs et des systèmes de couplages par induction.

Ensuite, la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique est formalisée par le principe des travaux virtuels basé sur les énergies et coénergie magnétiques pour exprimer les forces et couple produits par les actionneurs et les générateurs.

Une application de la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique est proposée avec l'étude de la motorisation à courant continu qui permet de poser les bases de fonctionnement des systèmes de motorisation ou de génération en variation de vitesse.

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

SG1 et SG3

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Introduction à l'électrotechnique

Omniprésence de l'électrotechnique : production, transport, conversion, utilisation et contrôle de l'énergie électrique. Caractère multi-physique et aspects économiques.

Transport et utilisation de l'énergie électrique

Monophasé, triphasé, définition et calcul des puissances. Dimensionnement et facteur de puissance.

Bases de la physique pour l'électrotechnique

Électromagnétisme appliqué à l'électrotechnique. Matériaux magnétiques, création et canalisation du champ, aimants permanents. Méthodes de modélisation, circuit magnétique, réluctance, FMM. Prise en compte des pertes de puissance dans les circuits magnétiques.

Principes des couplages magnétiques

Notions de flux commun et de flux de fuites. Inductances de fuites partielles et inductances de fuites totales.

Modélisation du couplage magnétique.

Transformateurs monophasé et triphasé : fonction et structure ; transformateur parfait ; modélisation du transformateur réel, mise en œuvre à 50 Hz et influence de la fréquence variable ; réalisation : circuit magnétique, isolants, conducteurs.

Conversion électromécanique

Lien entre énergies électrique, magnétique, et mécanique. Système à partie mobile ; calcul des forces et des couples ; couple de réluctance.

Machine à courant continu

Principe et réalisation. Équations fondamentales. Modes d'excitation. Problèmes de fonctionnement. Principes de la commande en variation de vitesse. Moteur DC Brushless

Déroulement, organisation du cours

Cours Magistraux (CM), travaux dirigés (TD). Pendant la durée des travaux de rénovation du bâtiment Breguet, des séances de travaux pratiques (TP) seront organisées en fonction de la disponibilité des installations ou bien par simulation numérique en distanciel. En raison des capacités d'accueil du laboratoire de travaux pratiques, les TD se déroulent en parallèle des TP.

En conditions de fonctionnement nominales, les activités se répartissent comme suit :

CM 13h30

TD 9h

TP 6h

Organisation de l'évaluation

L'évaluation se fera par un examen écrit de 2h. Les TP seront pris en compte dans la note finale du module pour 20%. L'absence à un TP donnera la note 0/20 au TP.

Les TP sont des évaluations obligatoires

Support de cours, bibliographie

Polycopié fourni par l'équipe enseignante

Electrical Machines, Drives and Power Systems (Theodore Wildi, Prentice-Hall Intl)

Moyens

• Equipe enseignante : Martin Hennebel - Michael Kirkpatrick - Romaric Landfried – Mohamed Bensetti

• Taille des TD : 25

• Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Matlab Simulink - Toolbox simscape

• Salles de TP (département et capacité d'accueil) : Département Systèmes d'Énergie Électrique

L'occurrence 1.1 est enseignée en anglais, les occurrences 1.2, 1.3 et 1.4 sont enseignées en français.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Modéliser les dispositifs et matériels électriques basés sur le couplage magnétique
 - Faire le choix d'un modèle de comportement adapté (forme intégrale des équations de Maxwell, schéma équivalent de type circuit ...)
 - Identifier les paramètres de ce modèle à l'aide de données expérimentales et/ou des propriétés géométriques et physiques
 - Valider la qualité du modèle
- Prédéfinir un système de transmission d'énergie à courant alternatif (triphase) avec ses principaux éléments
- Analyser et évaluer une motorisation à base d'actionneurs à courant continu ou alternatif
 - Analyser le comportement électrique, magnétique et mécanique de l'actionneur
 - Comparer au comportement nominal
 - Évaluer les performances et critiquer les résultats obtenus

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours permet de valider le jalon 1 des compétences C1 et C2 :

Le cours, et notamment les séances de travaux pratiques, permettent de développer la compétence C1, c'est à dire l'analyse, la modélisation et la résolution, ainsi que la conception de systèmes complexes. Ces compétences s'appliquent aux systèmes de puissances triphasés, aux systèmes magnétiques (transformateurs, aimants) et aux systèmes d'actionnement électromécaniques (actionneurs, moteurs).

Ce cours permet de développer une compétence approfondie dans le domaine de l'ingénierie des systèmes de puissance électrique, qui correspond au jalon 1 de la compétence C2.

1EL2500 – Théorie de l'information

Responsables : **Richard Combes**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT SIGNAL, INFORMATION, COMMUNICATION**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

La théorie de l'information fournit un ensemble de concepts puissants permettant de comprendre et de résoudre des problèmes fondamentaux de notre monde moderne tels que les grands réseaux de communication, le stockage des grandes masses de données, la transmission fiable et efficace d'information, la sécurité des données, la biologie, l'apprentissage automatique. La théorie de l'information, fruit des premiers travaux de scientifiques tels que Hartley, Shannon, Wiener et Kolmogorov, est à présent un domaine pluridisciplinaire au carrefour des probabilités, des statistiques, de la physique et de l'ingénierie. Elle a permis le développement des sciences et des technologies de l'information et de la communication qui ont été sources d'innovation et de transformations de nos modes de vie, de notre économie, et de nombreux secteurs industriels. Les enjeux actuels sont considérables pour de nombreux secteurs (spatial, énergie, santé, mobilité, services, industrie du futur...).

Le but de ce cours est de présenter les outils fondamentaux de la théorie de l'information tels que l'entropie et l'information mutuelle, et de montrer comment ces outils s'appliquent à des problèmes pratiques : représentation et codage d'informations, compression de données, communication, correction d'erreur, cryptanalyse, inférence. Pour toutes ces grandes familles de problèmes applicatifs, le cours montrera comment des solutions élégantes et optimales peuvent être proposées en se basant sur les outils de la théorie de l'information. Les liens entre les concepts développés durant le cours et les ponts naturels avec d'autres cours sont nombreux : probabilités, statistiques et apprentissage, traitement du signal, communications numériques, réseaux et sécurité.

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

SG3

Prérequis

Probabilités

Plan détaillé du cours (contenu)

Les cours magistraux permettent d'inculquer les concepts fondamentaux de la théorie de l'information et de découvrir la diversité des applications. Les séances des TD/TP proposent des résolutions concrètes de problématiques d'ingénieur pour modéliser, analyser et concevoir des architectures de traitement pour des champs applicatifs variés : cryptographie, compression d'image, communication, apprentissage, finance.

1 - Introduction à la théorie de l'information

- entropie et thermodynamique
- mesure de l'information d'un événement, information conditionnelle, entropie
- unités de mesure de l'information (bit)
- mesure de l'entropie du langage naturel
- exemples d'applications

2 Mesure de l'information

Outils mathématiques fondamentaux de la théorie de l'information

- entropie, entropie conditionnelle, entropie relative, information mutuelle
- Propriétés et interprétations
- positivité de l'entropie, entropie maximale
 - relations entre les différentes mesures d'information : règles de chaînes
 - inégalités : log-somme, Fano-Shannon, systèmes traitement de données
 - limites fondamentales de l'équipartition asymptotique et de la typicité
 - conséquences applicatives

3 - Jeux et Information (exercices et travaux pratiques – 3h)

- expériences de Shannon
- application de l'entropie au jeux de type "20 questions"
- apprentissage de stratégies optimales à partir de données

4 - Représentation des données : limites fondamentales

- représentation binaire des données
- codage d'une suite de données dans un alphabet de code discret M-aire
- construction de codes à longueur variable à décodage sans ambiguïté
- inégalité de Kraft pour les codes à préfixe
- conséquence de l'inégalité de Kraft : limite fondamentale pour minimiser la longueur moyenne d'un message codé (entropie)

5 – Compression de données

Algorithmes de compression d'une suite de données discrètes sans perte

- algorithme de codage d'Huffman
- codage de sources de Markov
- compression universelle de données

Algorithmes de compression avec perte

- quantification vectorielle versus quantification scalaire
- théorie de la distorsion de taux
- fonction de distorsion de taux pour des vecteurs gaussiens

6 – Compression d'images (exercices et travaux pratiques – 3h)

- mesure du taux de compression d'une image
- techniques de compression d'images avec ou sans perte
- conception d'un algorithme de compression sur des images tests

7 – Information mutuelle et communication

Systèmes de traitement de données

- exemples de problématiques: stockage, exploration spatiale, IoT/WiFi/5G etc.
- information mutuelle sortie-entrée d'un système

Systèmes à entrées-sorties discrètes

- messages d'information erronés : fautes de frappe, données effacées, erreurs de transmission etc.
- information mutuelle sortie-entrée maximale d'un canal (capacité)
- capacité du canal binaire à erreurs symétriques indépendantes
- schéma de réalisation d'un codage optimal pour atteindre la capacité (rendement)
- exemples de mise en œuvre pratique (codage correcteur d'erreur)

Systèmes avec bruit additif gaussien

- calcul de l'information mutuelle maximale de canaux à entrées-sorties continues(capacité)
- canaux à bruit additif gaussien à temps discret
- canaux gaussiens parallèles et algorithme de « waterfilling »
- limites fondamentales du théorème de Shannon pour une transmission sans erreur
- compromis : débit d'information / bande passante / rapport signal à bruit
- exemples de mise en œuvre pratique (modulation et codage)
- contraintes et métriques de performance (complexité, fiabilité, secret, latence, énergie, efficacité spectrale...)

8 - Communication audio (exercices et travaux pratiques - 4h30)

- information mutuelle et conséquences applicatives
- conception et expérimentation d'une communication numérique audio
- évaluation des performances

9 - Économie et finance : théorie du portefeuille

- marchés boursiers et portefeuilles
- optimalité des portefeuilles log-optimaux
- portefeuilles universels

10 - Apprentissage automatique et statistiques : inférence

- théorie de l'information & inférence
- f-divergences et distances statistiques
- taux minimax pour les problèmes d'estimation

11 - Investissement en bourse (exercice et session pratique de simulation – 3h)

- théorie de l'information & stratégie de portefeuille
- optimisation d'une stratégie d'investissement avec de l'argent fictif

Déroulement, organisation du cours

Le cours est proposé une seule fois (SG3). Le cours est programmé en 19 créneaux de 1h30 et un créneau d'examen de 2h.

- 10 créneaux de cours (15h00)
- 9 créneaux de TD/TP (13h30) organisées en 3 séances de 3h TD/TP avec exercices et mise en œuvre pratique (9h) et 1 séance TD de 1h30 avec évaluation de type QCM (1/2h)

Organisation de l'évaluation

La note finale est calculée par la formule suivante :

MAXIMUM (A, $80\% \times A + 20\% \times B$)

ou A désigné la note de l'examen écrit final (tous documents autorisés) et B la note de l'évaluation intermédiaire (contrôle continu CC) de type QCM (sans documents).

Support de cours, bibliographie

- Notes de cours fournies aux élèves
- Thomas M. Cover and Joy A. Thomas, Elements of Information Theory
- David J.C. MacKay, Information Theory, Inference, and Learning Algorithms
- Imre Csiszar, Information Theory and Statistics: A Tutorial
- Alexandre B. Tsybakov, Introduction to Nonparametric Estimation

Moyens

- - Equipe pédagogique (cours magistraux) : Richard Combes
- - Taille des groupes de TD/TP : 25 élèves par groupe

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- A l'issue de ce cours les élèves seront capables :
- - de modéliser des systèmes porteurs d'information
- - de manipuler les mesures d'informations et de comprendre leur sens physique
- - de comprendre les limites fondamentales pour la transmission de données, le stockage, la sécurité, le traitement de données
- - de développer des algorithmes pour des problèmes pratiques et de comprendre les contraintes applicatives et évaluer leur performance
- - de concevoir des architectures de traitement

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les compétences du référentiel évaluées sont les compétences C1 (C1.1 C1.2 C1.4) et C2 (C2.1). Le contrôle intermédiaire permet d'évaluer le jalon 1 de la compétence C1. Le contrôle final permet d'évaluer le jalon 1 des compétences C1 et C2. Les compétences C1 et C2 sont validées si la note finale est supérieure ou égale à 10.

1EL3000 – Génie Industriel

Responsables : **Ludovic-Alexandre VIDAL, Loïc Pineau**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT GÉNIE INDUSTRIEL ET OPÉRATIONS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

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) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

- Sensibiliser les élèves de 1ère année aux problématiques de l'entreprise, des organisations et des produits, et leur importance dans la société, l'économie et l'innovation.
- Les ouvrir au caractère pluridisciplinaire du monde de l'entreprise et de la conception de produits et de services, et leur faire prendre conscience des verrous scientifiques et technologiques autour des processus de l'entreprise (processus d'innovation, de conception, de production, de supply chain, de logistique, ...).
- Montrer que le choix d'une stratégie de développement d'un produit, d'un service ou d'une organisation résulte d'un compromis dans un ensemble de contraintes : disponibilité des ressources et des compétences, concurrence, cycle de vie, impact environnemental, stratégie et culture d'entreprise...).
- Faire maîtriser les concepts et modèles fondamentaux (et leur application à travers quelques exemples) qui capturent l'essentiel du génie industriel des processus, ainsi que les outils associés qui permettent d'appréhender ces phénomènes, et donner l'envie d'approfondir dans des cours plus approfondis par la suite.

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

SG1 et SG3

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours permet d'aborder les concepts fondamentaux du génie industriel.

Les différents chapitres du cours permettent aux étudiants d'appréhender l'ensemble du cycle de vie des produits et services auxquels seront confrontés nos futurs ingénieurs.

Couplés aux acquis de chaque TD (dans un ratio 1h de cours pour 2h de TD environ), les enseignements permettront aux élèves de comprendre en profondeur les systèmes industriels ou organisationnels, leurs enjeux et leurs interdépendances tout au long du cycle de vie.

Séance 1 (Introduction 1h30) : Cycle de Vie d'un Produit / d'une Organisation Concept de cycle de vie d'un produit / d'une organisation, Parties prenantes et Valeurs, Approche systémique, Grandes Phases et Processus.

Séances 2&3 : Processus de Conception - Processus de conception, Analyse de la Valeur, Analyse Fonctionnelle, Cahier des Charges Fonctionnel, Conception à coût objectif/coût total, Analyse du Cycle de Vie (ACV), Cycle en V, Bloc-Diagramme, Flexibilité de la conception, AMDEC Produit.

Séances 4&5 : Processus de Production - Approches Make-to-Order, MRP, Modèles mathématiques élémentaires associés, Flux poussés par l'amont, Approches Make-to-Stock, Kanban, Modèles mathématiques élémentaires associés, Flux tirés par l'aval.

Séances 6&7 : Processus de Logistique - Enjeux de la chaîne logistique, Pilotage des flux, Dimensions de la performance logistique, Niveaux de stock, Taux de service, DRP, Entrepôts et cross-docking, Livraisons et tournée de véhicules, Fonction Achat, Durabilité de la Supply Chain, Traçabilité.

Séance 8&9 : Processus de Maîtrise de la Qualité Produit Notion de fiabilités produit, Lois de Survie, Paramètres de sûreté de fonctionnement (taux de défaillance), Courbe en baignoire, Montages de composants en Parallèle ou Série. Maintenabilité et disponibilité, Introduction à la Maîtrise Statistique des Processus. Introduction au 6 Sigma. Cartes de contrôles de la moyenne et de l'étendue. Mesures de capabilité machine.

Séance 10 : Conférence Industrielle (3h) Synthèse de l'ensemble du cycle de vie produit / organisation et des grands processus au travers d'un cas réel.

Séance 11 : Contrôle (2h) Contrôle final.

Déroulement, organisation du cours

Certaines des séances seront réalisées en mode pédagogie inversée pour les cours magistraux (libérant des heures présentes pour favoriser un apprentissage proactif et flexible des concepts), suivis de TD en présentiel pour répondre aux questions éventuelles avant d'aborder les sujets de TD.

Les occurrences de ce cours seront enseignées dans les langues suivantes

Occurrence 1.1. Anglais

Occurrence 1.2. Français

Occurrence 1.4. Français

Organisation de l'évaluation

2 contrôles continus auront lieu pendant le cours.

Contrôle écrit de 2h pour chaque session initiale.

Examen avec document et calculatrice, mais sans ordinateur ni connexion internet.

La note de contrôles continus (intermédiaires) vaudra pour 40% (20% chaque contrôle continu) et celle du contrôle final pour 60%.

Support de cours, bibliographie

Donnée au fur et à mesure du cours par séance (références spécifiques).

Moyens

Equipe enseignante : Ludovic-Alexandre Vidal et Julie Le Cardinal pour les cours magistraux. Loïc Pineau, Ludovic-Alexandre Vidal & Julie Le Cardinal pour exercices et études de cas. Quelques conférenciers industriels.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- C1.1 Analyser : Étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc.
- C1.2 Modéliser : Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes
- C1.4 Concevoir : Spécifier, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe
- C2.1 Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique (adapté au Génie Industriel)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

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

- C1.1 Analyser : Étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc.
- C1.2 Modéliser : Utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes
- C1.4 Concevoir : Spécifier, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe
- C2.1 Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique (adapté au Génie Industriel)

1EL4000 – Matériaux

Responsables : **Véronique Aubin**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MÉCANIQUE ÉNERGÉTIQUE PROCÉDÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

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) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

- Sensibiliser les élèves de 1^{ère} année aux problématiques matériaux et à leur importance dans la société, l'économie et l'innovation
- Les ouvrir au caractère pluridisciplinaire du monde des matériaux et leur faire prendre conscience des verrous scientifiques et technologiques autour des matériaux (e.g. aéronautique, pile à combustible, ITER, électronique au-delà de la loi de Moore, récupération et transformation de l'énergie, matériaux pour la santé, biomatériaux, MEMS-NEMS, ...)
- Donner aux élèves la capacité à lire des documents scientifiques et techniques sur n'importe quel matériau, savoir en extraire les caractéristiques importantes pour une application ciblée, et interpréter ces éléments en lien avec les caractéristiques structurales, physiques et mécaniques du matériau
- Montrer que le choix d'un matériau résulte d'un compromis dans un ensemble de contraintes : disponibilité des ressources, procédés d'élaboration, propriétés d'usage, cycle de vie, impact environnemental et coût
- Faire comprendre les phénomènes physiques à l'origine des propriétés des matériaux, proposer, à travers quelques exemples, des modèles simples qui capturent l'essentiel de la physique des phénomènes et des outils qui permettent d'appréhender ces phénomènes, et donner l'envie d'approfondir dans des cours plus fondamentaux par la suite

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

SG1 et SG3

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Introduction : importance actuelle des matériaux, défis associés aux matériaux dans les grands enjeux de société, prise en compte des contraintes liées au développement durable
- Introduction aux grandes familles de matériaux : définition à partir de la nature de la liaison chimique, propriétés résultantes et d'usage, initiation au choix des matériaux
- Structures et transformations de phase des matériaux :
 - o Notions d'ordre-désordre : du cristal à l'amorphe via les polymères et les cristaux liquides et comment décrire et mesurer l'ordre et le désordre
 - o Défauts (0D à 3D) : rôle crucial du défaut dans les matériaux, illustration par différents couples défaut/propriété
 - o Equilibres thermodynamiques et diagrammes de phases, leur rôle en élaboration des matériaux
- Propriétés des matériaux :
 - o Propriétés mécaniques en lien avec la structure : mécanismes de déformation plastique
 - o Propriétés fonctionnelles en lien avec la structure : conduction thermique et électrique, ferroélectricité, magnétisme, optique

Déroulement, organisation du cours

(1 séance = 3 heures d'enseignement) sauf la séance 1 de 1h30 et la séance 11 qui sera de 2 heures

- Séances 1 : cours
- Séances 2 à 9 : cours + TD
- Séance 10 : 3h de bureau d'étude
- Séance 11 : examen

Organisation de l'évaluation

Évaluation obligatoire :

- Contrôle continu pendant le cours (20% de la note finale) par QCM. Les 2 meilleurs quiz sont retenus pour la note de contrôle continu.
- Document de synthèse sur un matériau et son application produit à l'issue de la séance de bureau d'étude (évaluation obligatoire) : 20% de la note finale.
- Examen écrit final de 2h : 60 % de la note finale

La compétence C1 est validée si l'étudiant obtient une note supérieure à 12 à l'examen final ou au BE. La compétence C2 est validée quand le cours est validé (note globale à l'UE >10).

Support de cours, bibliographie

Matériaux : Ingénierie, science, procédé et conception, Michael Ashby, Hugh Shercliff, David Cebon, Presses polytechniques et universitaires romandes

Moyens

- Équipe enseignante : Véronique Aubin, Laurent Daniel, Brahim Dkhil, Camille Gandiolle, Elsa Vennat
- Taille des TD : 35 élèves
- Outils logiciels et nombre de licences nécessaires : CES Edupack de 100 licences
- Salles de TP : salles informatiques

Les occurrences 1.1 et 1.3 sont données en français, l'occurrence 1.4 en anglais.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Analyser les aspects scientifiques du comportement global d'un système à envergure limitée (par exemple partie isolée d'un système complexe), incluant l'identification des facteurs qui influencent son comportement

Comment :

- o Pour une application donnée, savoir décrire les contraintes imposées par cette application, les sollicitations. Savoir prioriser ces contraintes pour faire un choix de matériaux. Effectuer un choix de matériau multicritères.

- o Pour un matériau donné, savoir expliquer les propriétés macroscopiques en fonction de son agencement atomique, de ses défauts et de sa microstructure aux différentes échelles

- o Lire des documents scientifiques et techniques sur un matériau, en extraire les caractéristiques importantes pour une application ciblée, interpréter ces éléments en lien avec les caractéristiques structurales, physiques et mécaniques du matériau

- Utiliser correctement un modèle présenté en cours, dans ses conditions de validité (modèle décrivant un phénomène, sans couplages)

Comment :

- o Savoir utiliser un diagramme de phase pour prédire la microstructure d'un matériau en fonction de son histoire thermomécanique

- o Savoir exploiter un diffractogramme pour identifier la structure et l'agencement atomiques du matériau analysé

- o Savoir exploiter le modèle d'interaction des dislocations avec la microstructure pour expliquer le comportement mécanique d'un matériau cristallin

- o Savoir interpréter les propriétés électroniques d'un matériau pour en déduire ses propriétés fonctionnelles, semiconductivité et ferroélectricité

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

1EL5000 – Mécanique des milieux continus

Responsables : **Guillaume PUEL**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MÉCANIQUE ÉNERGÉTIQUE PROCÉDÉS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANÇAIS**

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) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

On souhaite montrer par des applications variées l'extrême diversité des utilisations de la Mécanique dans les projets industriels classiques et de haute technologie.

Les concepts de base sont introduits dans un cadre commun et unifié à la mécanique des solides tridimensionnels déformables et à la mécanique des structures minces. Des problèmes impliquant la mécanique à différentes échelles illustrent le cours, avec des ouvertures proposées notamment sur les applications concernant le génie civil, les transports, la biomécanique ou les nanotechnologies.

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

SG1 et SG3

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

1. Notion de déformation : approche lagrangienne du mouvement, tenseur des déformations de Green-Lagrange, tenseur des petites déformations (1h30)
2. Notion de contrainte : relations fondamentales de la dynamique pour un domaine matériel, tenseur des contraintes de Cauchy, équation d'équilibre local
3. Critères de résistance : essais de caractérisation mécanique, critères de rupture par clivage, critères de Tresca et de von Mises, concentrations de contraintes
4. Comportement des matériaux : diversité des comportements mécaniques, comportement élastique linéaire isotrope, thermoélasticité
5. Élasticité : propriétés de la solution, résolutions exactes et approchées, simplifications d'un problème d'élasticité (séance en classe inversée avec 3h de TD)
6. Approximation des poutres : mise en évidence des hypothèses du modèle poutres, définition des efforts généralisés. Amphi de 1h00, puis contrôle intermédiaire (analyse de solutions numériques, 30 min, sans documents) puis TD sur les poutres
7. Approximation des poutres : approximation de la cinématique, relations de comportement, liaisons
8. Approximation des poutres : méthodes de résolution, phénomène de flambement
9. Problème de synthèse sur les poutres (3h)
10. Bureau d'études : problème de dimensionnement avec rendu noté (3h)
11. Contrôle final (2h)

Déroulement, organisation du cours

Cours/TD sauf la séance 1 (1h30 de cours) et les séances 5, 9 et 10 (3h de TD)

Les occurrences 1.1 et 1.4 sont en anglais ; les occurrences 1.2 et 1.3 sont en français.

Organisation de l'évaluation

Note finale = 20% max (contrôle intermédiaire de la séance 6, contrôle final) + 20% max (rapport du bureau d'études de la séance 10, contrôle final) + 60% contrôle final

Tous documents papier autorisés et calculatrices non communicantes pour le contrôle final

Support de cours, bibliographie

Polycopié

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Andrea BARBARULO, Didier CLOUTEAU, Ann-Lenaig HAMON, Guillaume PUEL
- Taille des TD : 40
- Outils logiciels et nombre de licences nécessaire : aucun (facultatif : Comsol Multiphysics avec le module Structural Mechanics)
- Salles de TP : aucune

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

1. Modéliser le comportement mécanique d'un solide déformable
 - a. Justifier le choix de modélisation pertinent (2D ou 3D, axisymétrie, structures minces, ...)
 - b. Traduire en équations et conditions aux limites appropriées les sollicitations subies par le domaine et les interactions de ses frontières avec l'extérieur
 - c. Identifier les propriétés mécaniques des matériaux constitutifs (rigidité, résistance, ...) pertinentes pour le problème posé
2. Déterminer la réponse mécanique (stationnaire) d'un solide déformable
 - a. Aboutir à une solution exacte ou approchée du problème posé, analytique ou numérique
 - b. Dédire de la solution obtenue les quantités permettant de faire des choix de conception ou de dimensionnement
 - c. Critiquer la validité de la solution obtenue

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le contrôle intermédiaire sur l'analyse de solutions numériques permet d'évaluer le jalon 1 des sous-compétences **C1.2** "Modéliser : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes" et **C1.3** "Résoudre : résoudre un problème avec une pratique de l'approximation, de la simulation et de l'expérimentation".

Le rendu du bureau d'études (séance 10) permet d'évaluer le jalon 1 des sous-compétences **C1.1** "Analyser : étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaires avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines" et **C1.4** "Concevoir : spécifier, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe".

Ces deux éléments permettent donc de valider le jalon 1 de la compétence **C1**, tandis que la validation du jalon 1 de la compétence **C2** est directement lié à la note finale pour ce cours.

1EL6000 – Réseaux et Sécurité

Responsables : **Pierre Wilke, Alessandro PALUMBO**

Département de rattachement : **CAMPUS DE RENNES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

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) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours de SPI a pour but de donner aux élèves ingénieurs de CentraleSupélec une connaissance de base en réseau et de les sensibiliser à la sécurité informatique.

Pour le réseau, l'accent sera mis sur la compréhension de l'ensemble des différents mécanismes mis en œuvre pour permettre aux utilisateurs que nous sommes de naviguer sur le web ou d'utiliser les services Internet. Ainsi, seront introduites les différentes couches réseau, en partant du physique jusqu'à l'applicatif, mais aussi les services réseau additionnels, tels que le DNS (Domain Name System). La pratique en TD et TP permettra aux étudiants de se confronter à la mise en œuvre technique des différentes notions abordées, dans des situations et systèmes réalistes.

Concernant la sécurité informatique, les cours permettront d'introduire les concepts fondamentaux et de présenter succinctement quelques mécanismes de sécurité. Ces cours seront complétés par des TP qui illustreront les risques de sécurité et des exemples de contre-mesures pouvant être déployées.

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

SG1 et SG3

Prérequis

- Systèmes d'information et programmation
- Pratique de base de la programmation en langage Python

Plan détaillé du cours (contenu)

Partie 1 : Réseau - Couches basses

- Couche physique / Accès réseau (Ethernet)
- Protocole de résolution d'adresse (ARP - Address Resolution Protocol), adressage MAC (Media Access Control)

Partie 2 : Réseau – Couches intermédiaires

- Protocole et adressage IP
- Routage IP et protocoles de routage
- Protocoles de transport (TCP et UDP)
- TD1 : Analyse de trames réseau (Wireshark)
- TD2 : Spécification d'un protocole de communication
- TP1 : Manipulation d'équipements réseau (commutateurs / routeurs)
- Travail personnel : BGP (Border Gateway Protocol), peering, migration de IPv4 vers IPv6, contrôle de congestion, contrôle de flux, qualité de service...

Partie 3 : Réseau – Services et Couches applicatives

- Résolution de noms de domaines (DNS – Domain Name System)
- Protocole HTTP et technologies du Web
- TD3 : Implémentation du protocole spécifié en TD2 en Python (programmation sockets)
- Travail personnel : protocoles d'email (IMAP, POP, SMTP), service d'annuaires (LDAP)...

Partie 4 : Sécurité informatique

- Introduction à la sécurité, concepts fondamentaux
- Aspects juridiques et sociétaux
- Introduction à la cryptographie et aux protocoles cryptographiques
- Introduction aux logiciels malveillants (malware)
- TP2 : Virtual Private Network (OpenVPN)
- TP3 : Sécurité des applications Web
- Travail personnel : IPSec, DNSSEC, TLS, Sécurité de la messagerie instantanée...

Déroulement, organisation du cours

Réseau – Couches basses : CM (1h30)

Réseau – Couches intermédiaires : CM (3h), TD (6h), TP (3h), travail personnel (9h)

Réseau – Services et couches applicatives : CM (3h), TD (3h), travail personnel (9h)

Sécurité informatique : CM (3h), TP (6h), travail personnel (10h)

Examen écrit (2h)

L'occurrence 1.2 est enseignée en français

L'occurrence 1.3 est enseignée en anglais

L'occurrence 1.4 est enseignée en français et en anglais

Organisation de l'évaluation

L'évaluation sera la moyenne d'un examen écrit (CF) en fin de session d'une durée de 2h et de l'évaluation des TP 1 et 2 (évaluation obligatoire, EO)

- 70% pour l'examen final examen écrit (QCM) sans document

- 15% TP1

- 15% TP2

Les notes de TP participent toujours à la note finale, peu importe qu'elles l'améliorent ou qu'elles la fassent baisser.

Support de cours, bibliographie

Transparents du cours mis à disposition au format électronique

Livres :

- J.F. Kurose and K.W. Ross, *Computer Networking : A Top-Down Approach*, 7th ed. Eyrolles. Pearson. ISBN : 978-0133594140
- Ross J. Anderson, *Security Engineering : A Guide to Building Dependable Distributed Systems*, 2nd Edition. Wiley. ISBN : 978-0470068526 (accessible en ligne sur <https://www.cl.cam.ac.uk/~rja14/book.html>)

MOOC :

- Stanford Online : *Introduction to Computer Networking* (<https://lagunita.stanford.edu/courses/Engineering/Networking-SP/SelfPaced/about>)
- Coursera / Université du Maryland : *spécialisation Cybersécurité* (<https://www.coursera.org/specializations/cyber-security>)
- Cisco Networking Academy : modules CCNA1 et CCNA2 (<https://netacad.centralesupelec.fr/>)

Moyens

- Équipe enseignante : membres de l'équipe CIDRE (Rennes), enseignants du campus Paris-Saclay (départements informatique et télécommunications) ;
- La plupart des TD et TP requièrent l'utilisation d'un ordinateur portable personnel ;
- Logiciels utilisés : Wireshark, Python, VirtualBox, OpenVPN (tous libres / open source) ;
- Certaines sessions de travaux pratiques mettent en œuvre du matériel réseau spécifique ;
- Certains cours magistraux pourront être faits en visio-conférence depuis Rennes.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Connaître les concepts, protocoles et mécanismes des réseaux informatiques sur TCP/IP ;
- Analyser l'activité réseau générée par une application web ;
- Connaître les principales familles de schémas cryptographiques ;
- Connaître des techniques utilisées par les logiciels malveillants ;
- Mettre en place et administrer des réseaux informatiques commutés et interconnectés ;
- Concevoir et implémenter un protocole de communication applicatif ;
- Mettre en place et configurer un réseau privé virtuel (VPN) ;
- Détecter et analyser certaines vulnérabilités liées aux applications web.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.1 - Analyser : étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc.
- C1.4 - Spécifier, concevoir, réaliser et valider tout ou partie d'un système complexe
- C2.1 - Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

1EL7000 – Sciences des Transferts — Thermique & Fluides

Responsables : **Ronan Vicquelin**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MÉCANIQUE ÉNERGÉTIQUE PROCÉDÉS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANÇAIS**

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) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce cours est d'inculquer les notions fondamentales de transferts de masse, d'espèces, de chaleur et de quantité de mouvement nécessaires à la caractérisation et au dimensionnement de multiples systèmes. Du fait de la grande analogie entre les transferts d'espèces et de chaleur d'une part, et du couplage fort entre la mécanique des fluides et les transferts thermiques et massiques inhérent au phénomène de convection d'autre part, ce paquet de sciences de l'ingénieur forme un tout très cohérent et fait partie du socle disciplinaire de base dans un ensemble de secteurs industriels très vaste couvrant l'énergie (nucléaire, fossiles, renouvelables), les transports (automobile, aéronautique, spatial), les procédés (industries chimique, biomédicale, ...), la santé ou encore le bâtiment. De plus, la maîtrise de ces sciences des transferts est indispensable dans le domaine en plein essor de l'optimisation des procédés industriels, tous secteurs confondus. Soulignons enfin que les défis environnementaux tels que la réduction, la dispersion ou la séquestration des polluants, ou encore le changement climatique sont autant d'enjeux sociétaux dont la physique est également gouvernée par ces sciences des transferts. Pour résoudre les grands défis du 21^{ème} siècle, il faudra réaliser des développements importants et passionnants dans tous ces domaines de la technologie, de la santé et de l'environnement. Dans ce contexte, une bonne connaissance des transferts thermiques, massiques et de la mécanique des fluides est un atout pour l'avenir, et cet ensemble de matières est essentiel à la formation d'ingénieurs de haut niveau. Le cours repose sur un contenu théorique dense (transferts de masse, de chaleur et de quantité de mouvement par diffusion, convection ou rayonnement thermique dans diverses configurations : stationnaires / instationnaires, transferts isolés / couplés, couches limites) complété de résolutions concrètes de problèmes d'ingénieur au travers des divers TD qui seront traités.

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

SG1 et SG3

Prérequis

Mathématiques et thermodynamique de base (étudiées pendant les 2 premières années universitaires)

Plan détaillé du cours (contenu)

L'ordre des séances et les sujets de TD sont indicatifs. D'autres problèmes pourront être traités en cours

- **LES BASES DU RAYONNEMENT THERMIQUE :**
Notions de corps opaque et de milieu transparent. Notions de flux émis, absorbé, réfléchi, partant, incident et radiatif. Ecriture de 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.
- **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, de corps noir et de corps à propriétés radiatives isotropes. Modèles simples de transfert radiatif entre 2 corps opaques : (1) corps opaque convexe isotherme entouré par un corps noir isotherme ; (2) corps opaque convexe isotherme de petites dimensions entouré par une enceinte opaque isotherme.
- **INTRODUCTION A L'ÉTUDE DES ÉCOULEMENTS FLUIDES :**
Le théorème Pi. Conditions de Similitude. Quelques types d'écoulements. Exemple d'application du

théorème Pi. Systèmes matériels et description du mouvement. Vitesse et accélération d'une particule fluide. Théorèmes de transport. Equation de bilan de masse. Description des mélanges d'espèces.

- **BILAN DE QUANTITÉ DE MOUVEMENT :**
Mouvement général d'une particule fluide. Taux de déformation. Notions sur l'analyse des contraintes dans un fluide. Relations entre les contraintes et les taux de déformation pour un fluide Newtonien. L'équation locale de bilan de quantité de mouvement. Équations d'Euler. Équations de Navier-Stokes. Analyse dimensionnelle des équations de Navier-Stokes. Équation locale de bilan pour l'énergie cinétique.
- **BILANS D'ÉNERGIE :**
Bilan local d'énergie. Equations locales générales des transferts de matière, chaleur et quantité de mouvement et leur similarité. Le théorème de Bernoulli et ses applications. Bilan macroscopique d'énergie mécanique. Analyse d'écoulements incompressibles dans des conduites. Pertes de charge. Le diagramme de Moody. Pertes de charge singulières. Rendement d'une pompe et d'une turbine.
- **BILANS MACROSCOPIQUES :**
Notion de bilan macroscopique. Bilans macroscopiques de masse et d'espèces. Le théorème des quantités de mouvement pour les écoulements permanents. Le théorème du moment angulaire. Turboréacteurs et moteurs fusées. Poussée de systèmes propulseurs (turboréacteur, moteur fusée). Bilan macroscopique d'énergie thermique.
- **CONVECTION FORCÉE EXTERNE - COUCHES LIMITES MÉCANIQUE ET THERMIQUE**
Couche minces et notions de la théorie de la couche limite. Estimations de grandeurs caractéristiques de la couche limite. Transition et décollement de couche limite. Définitions d'épaisseurs de couche limite. Équations de la couche limite laminaire sur une plaque plane. Résultats de la couche limite laminaire sur une plaque plane sans gradient de pression. Notions de couche limite thermique en convection externe forcée. Forme générale d'une corrélation de convection forcée externe. Hypothèses simplificatrices et équation simplifiée du bilan d'énergie. Résultat corrélation couche limite thermique laminaire.
- **NOTIONS DE CONVECTION FORCÉE INTERNE :**
Notions élémentaires sur les écoulements de régimes et les régimes établis dans les conduites de section constante. Notion de vitesse débitante et de température de mélange. Résolution du profil de vitesse en régime laminaire établi. Expressions du nombre de Nusselt en écoulements laminaire et turbulent pour une conduite de section circulaire. Notions de convection forcée interne en régime turbulent. Diamètre hydraulique.

Déroulement, organisation du cours

Le cours est proposé sur plusieurs occurrences en plusieurs langues :

Séquence SG1

- Occurrence 1.1 (Français) : Hervé Duval
- Occurrence 1.2 (Anglais) : Gabi Stancu
- Occurrence Campus Metz (Français) : Julien Colin

Séquence SG3

- Occurrence 1.3 (Français) : Fabien Bellet
- Occurrence 1.4 (Français & Anglais) : Ronan Vicquelin, Antoine Renaud
 - Amphithéâtre + TD (Français) : Ronan Vicquelin
 - *Modalité standard en français par défaut.*
 - Classe intégrée (Anglais) : Antoine Renaud
 - *Cette modalité en anglais est au choix des élèves une fois inscrit en occurrence 1.4 (affichée en français dans la campagne MyWay)*

Le cours est programmé sur 19 créneaux de 1h30 chacune et une séance d'examen de 2h.

Organisation de l'évaluation

Le Contrôle Final (CF) organisé sur 2h00 lors de la dernière séance peut être réalisé avec documents. L'étudiant obtient une note CF.

Contrôle Continu (CC) au travers de minimum deux questionnaires-test facultatifs traités en cours. Pour chaque test, l'étudiant obtient une note CCi : CC1 pour le test n°1, CC2 pour le test n°2, etc...

Ncc est le nombre de questionnaires-test (minimum 2). Le contrôle continu compte ainsi pour maximum 33% de la note finale et le contrôle finale compte minimum pour 67%.

Support de cours, bibliographie

- Matériel de cours fourni
- Polycopié CentraleSupélec « Mécanique des Fluides » ; Tome I ; Sébastien Candel.
- « Transferts thermiques - Introduction aux transferts d'énergie » ; 5ème édition ; auteurs : Jean Taine, Franck Enguehard et Estelle Iacona ; Dunod, Paris, 2014.

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Fabien Bellet, Julien Colin, Hervé Duval, Antoine Renaud, Gabi Stancu, Ronan Vicquelin
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 35

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

1. Identifier les différents modes de transfert thermique / massique à l'œuvre dans une configuration donnée,
2. Écrire des bilans appropriés (masse, quantité de mouvement, énergie) et d'équations de continuité aux interfaces pour déterminer l'évolution de différents champs (concentrations, vitesse, pression, température),
3. Calculer des efforts et flux thermiques (locaux ou intégrés), des puissances, des rendements, des pertes de charges.
4. Modéliser des systèmes complexes en vue de leur dimensionnement et leur optimisation :
 - Faire des approximations et des estimations d'ordres de grandeur,
 - Simplifier un problème d'apparence compliquée où plusieurs phénomènes de transfert coexistent, en n'en retenant que les principaux,
 - Modéliser des configurations complexes et utiliser les bilans fondamentaux pour résoudre des problèmes d'ingénieur.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Le cours émerge dans l'acquisition des compétences C1 et C2 du cursus ingénieur CentraleSupélec.

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C1.1 : Analyser : étudier un système dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un système dans le cadre d'une approche transdisciplinaire avec ses dimensions scientifiques, économiques, humaines, etc.

C1.2 : Modéliser : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses simplificatrices pertinentes

C2 : Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

C2.1 : Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

La compétence C1 est validée si $CF \geq 10$.

La compétence C2 est validée si la note finale $NF \geq 10$.

1EL8000 – Systèmes Electroniques

Responsables : **Erwan Libessart**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT ÉLECTRONIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTISME**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

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

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'électronique et le numérique sont aujourd'hui omniprésents dans notre vie, que ce soit dans l'usage des objets connectés, dans les transports, dans le médical, dans les objets de notre quotidien, dans la défense et le spatial, ou dans les milliards d'ordinateurs connectés à travers le WEB.

Les technologies évoluent de façon exponentielle (loi de Moore) depuis une cinquantaine d'année, mais on retrouve un certain nombre de constantes dans la plupart des équipements : - des interfaces avec le monde physique (capteurs) et les hommes (dispositifs d'affichage, IHM),

- un traitement des signaux analogiques (filtrage, ondelettes, ... et bientôt systèmes neuromorphiques),
- une conversion analogique-numérique (avec ou sans compression de données) et numérique-analogique (transducteurs)

- des unités de traitement numérique embarquées ou déportées (HPC, cloud...).

Le but de ce cours est dans une approche top-down, d'apprendre aux élèves à spécifier et concevoir des systèmes électroniques à partir de composants matériels comme des amplificateurs opérationnels, microcontrôleurs, FPGA. L'aspect microélectronique (CAO) et réalisation (technologie) de ces composants sera réservé aux étudiants souhaitant se spécialiser dans le domaine et étudié dans des cours de niveau plus élevé. Les principes et grandeurs physiques liés au fonctionnement de ces composants devront néanmoins être connus ou évoqués.

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

SG1 et SG3

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Analogique :

- cours 1 : Panorama Historique et d'Economie des Systèmes Électroniques ; Circuits Linéaires
- cours 2 : Circuits Non-Linéaires - Distorsion ; Modulation ; Saturation ; Modélisation
- TD 1 : Montages à Amplificateur Linéaire - Amplificateur d'Instrumentation, TIA, Filtre Active 2eme Ordre
- cours 3 : Composants Semiconducteurs - Jonction PN ; Transistor MOS
- TD 2 : Modélisation des Systèmes Non-Linéaires - Multiplicateur de Tension Analogique ; Redresseur de Tension ; Échantillonneur/Bloqueur ; OTA.
- TD 3 : Simulation LTSPICE de la chaîne d'instrumentation : Radar Ultrason
- TP : Montage d'une chaîne d'instrumentation : Radar Ultrason

Numérique :

- cours 1 : Introduction et les composants du numérique, solutions logicielles vs matérielles, méthodologie de conception.
- Travail personnel : découverte de l'Arduino
- cours 2 : représentation des données, logique, portes, bascules
- cours 3 : Fonctions évoluées, opérateurs, machines d'état
- cours 4 : Introduction au langage VHDL
- TD 1 : Initiation au langage VHDL sur carte FPGA
- cours 5 : Architecture des unités de traitement, exemples en VHDL
- TD 2 : Implémentation de traitements sur FPGA, préparation du TP
- TP : implémentation d'un traitement sur carte FPGA

Interfaces :

- cours 1 : échantillonnage et quantification, défauts et caractérisation, spécification d'une chaîne de conversion
- travail personnel : les familles de convertisseurs analogiques-numériques
- cours 2 : Instrumentation, Interface et capteur

Déroulement, organisation du cours

Le cours est divisé en 3 parties : Analogique, numérique, et conversion.

Chaque partie analogique et numérique est composée de cours, de TDs d'application, de travail à la maison et un TP de mise en œuvre.

Les TDs en électronique analogique sont des TDs 'papier'.

1 des TDs de numérique se fait autour d'une carte électronique DE10 Altera en initiation à la conception en langage VHDL.

Les 2 TP forment un tout ; un projet comprenant un capteur, un étage analogique, un CAN et un étage numérique. Le premier TP consiste à concevoir, simuler et tester l'étage analogique, alors que le 2^e TP permettra la conception de l'étage numérique en langage VHDL.

Le cours est donné en français pour les occurrences 1.1, 1.2 et 1.3. Il est donné en anglais à l'occurrence 1.4

Organisation de l'évaluation

Le cours est évalué sur la base de 2 TP et d'un examen écrit d'une durée de 2 heures avec document.

Évaluation finale = note de l'examen écrit pour 75%, TP analogique et TP numérique pour 25 %.

Les TP sont des évaluations obligatoires (EO)

Les TP 'analogiques' sont préparés par un TD qui permet de prédéterminer les fonctions qui seront testées. Les encadrants vérifieront que ce travail préliminaire a bien été fait et en tiendront compte dans leur notation. Les TP sont évalués sur la base du compte-rendu rédigé en temps réel et des éléments de simulation et de mesures produits, ainsi que de l'observation par les encadrants de TP des élèves en situation.

L'examen écrit de 2 heures sur table pose un problème d'ingénieur d'un système électronique pour lequel les élèves doivent apporter une solution par le choix d'un capteur, d'une chaîne de traitement analogique, d'un convertisseur analogique-numérique et un traitement numérique.

Évaluation des acquis d'apprentissage : Les compétences évoquées précédemment sont toutes évaluées à un niveau 1, c'est-à-dire dans le cas de problèmes simples, relativement fermés, et de façon guidée par les enseignants. Les compétences seront évaluées de 2 façons : - de façon théorique au moyen de l'examen écrit et de façon pratique par les TP.

C1 est validé si la moyenne des 2 TP est supérieure à 12 et la moyenne des questions marquées C1 lors de l'examen écrit est supérieur à 10

C2 est validé si la moyenne des questions marquées C2 lors de l'examen écrit est supérieur à 10

Support de cours, bibliographie

"Digital Design and Computer Architecture"

David and Sarah Harris

Morgan Kaufmann Publishers

« Foundations of analog and digital electronic circuits »

Anant Agarwal and Jeffrey H Lang

Morgan Kaufmann Publishers

Moyens

- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : Par groupe de 35 élèves
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : 2 salles de TP de 32 élèves en parallèle (4 encadrants).
- Matériel mis à disposition des élèves : Carte Altera DE10-Lite, AnalogDiscovery 2 Development Kit

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Le cours « Systèmes électroniques » apportera plus précisément aux élèves des notions de base pour :

- A) Spécifier une chaîne de traitement analogique
 - Comprendre les différentes technologies électroniques (circuits intégrés vs circuits imprimés) et leurs évolutions (technologies traditionnelles vers more than Moore ou beyond CMOS), Systems on Chip, packaging, interconnexions
 - Concevoir des architectures analogiques depuis des modèles simple (bloc Laplace par exemple) jusqu'à des circuits à base d'AOP, capacités, résistances, inductances.
 - Analyser sous forme matricielle les réseaux de Kirchoff simple (circuits RLC + AOP).

- Déterminer si les limitations des AOPs sont respectés (bande passante, produit Gain-bande, impédances d'entrée et sortie, vitesse de balayage) par rapport une application donnée
- Choisir un capteur interface entre le monde physique et les signaux électroniques
- B) Simuler et tester un circuit simple
 - Prendre en main des logiciels de simulations de type Spice (saisie de schéma, simulation AC, DC, et transitoire)
 - Paramétrer efficacement une simulation : temps de simulation et pas adapté, résolution d'éventuels problèmes de convergence sur des cas simples (circuits RLC + AOP).
 - Faire des montages propres sur des plaques à essais (simulation versus mesure)
 - Mesurer des courants, des tensions, des impédances avec les équipements appropriés (oscilloscopes, impédancemètres, ...).
 - Choisir le composant approprié à partir de sa documentation (limitations AOP)
- C) Spécifier et choisir le bon convertisseur analogique-numérique adapté à un problème donné en termes de fréquence d'échantillonnage, résolution, famille, et analyser l'effet de l'échantillonnage et de la quantification sur le signal à traiter (effets de repliement de spectre, de saturation ou non linéarité).
- D) Spécifier et choisir une architecture de traitement numérique adaptée à un problème donné
 - Type d'unité de traitement adaptée au problème (processeur, microcontrôleur, DSP, circuit programmable, ASIC dédié)
 - Choix des outils de développement nécessaires à la mise en œuvre de ces composants
- E) Mettre en œuvre une application simple avec un microcontrôleur ou un circuit logique programmable.
 - Connaître les périphériques disponibles dans un microcontrôleur en fonction de leur utilisation potentielle, et leur mise en œuvre simple en langage C
 - Programmer, télécharger et tester une application simple sur microcontrôleur ou FPGA en langage VHDL

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours permet de valider certaines compétences de type C1 – Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes.

Cette validation se fait au moyen des TPs (Résoudre et Concevoir) et de l'examen écrit (Analyser, Modéliser)

L'examen écrit permet aussi de valider des compétences de type C2 (Approfondir un domaine de l'ingénieur, Importer des connaissances d'autres domaines)

Ainsi nous allons apprendre lors de ce cours à :

- A) Spécifier une chaîne de traitement analogique simple
- B) Simuler et tester un circuit simple
- C) Spécifier et choisir le bon convertisseur analogique-numérique
- D) Spécifier et choisir une architecture de traitement numérique adaptée à un problème simple donné
- E) Mettre en œuvre une application simple avec un microcontrôleur ou un circuit logique programmable

Certains concepts de base devront être appris ou revus de façon autonome (les bases de la logique, les microcontrôleurs Arduino, les familles de convertisseurs), et nous utiliserons des concepts mathématiques étudiés par ailleurs (théorie de l'échantillonnage, filtrage, traitement du signal)

1EL9000 – Thermodynamique

Responsables : **Marie-Laurence Giorgi**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MÉCANIQUE ÉNERGÉTIQUE PROCÉDÉS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANÇAIS**

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) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de donner les bases théoriques, les outils et les bonnes pratiques, nécessaires aux ingénieurs, pour la compréhension et la conception de systèmes visant à transformer une énergie brute en énergie utile et / ou à modifier les propriétés physico-chimiques de la matière au cours de transformations contrôlées. Les connaissances abordées permettront de dimensionner ces systèmes en cherchant les points de fonctionnement optimaux (par exemple en s'appuyant sur des transitions de phase) pour optimiser leur efficacité énergétique.

Le cours montrera en particulier comment les notions anciennes de la thermodynamique restent plus que jamais indispensables pour les enjeux du XXI^{ème} (production d'énergies traditionnelles ou renouvelables, efficacité énergétique des procédés, matériaux intelligents, recyclage, traitement de l'eau et des déchets ...) et comment les avancées récentes des connaissances permettent de prévoir les couplages multi-physiques dans les systèmes complexes.

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

SG1 et SG3

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Toutes les notions seront appliquées à des cas d'études concrets issus de l'industrie.

1) Efficacité énergétique

Description générale des notions fondamentales (systèmes ouverts, fonctions d'état)

Systèmes ouverts de transformation d'énergie (bilans d'énergie, d'entropie et d'exergie)

Efficacité des cycles de récupération d'énergie (dimensionnement de cycles thermodynamiques)

2) Transitions de phases

Propriétés thermodynamiques d'un corps pur et de solutions

Équilibres de phases, diagrammes de phases

Transition de phases (équilibre et écart à l'équilibre, réactions chimiques, germination / croissance)

Déroulement, organisation du cours

Le cours sera divisé en séances de 3h00 (1h30 CM et 1h30 TD).

À la fin de chaque partie de cours, les étudiants réaliseront un projet en binômes ou trinômes (deux séances de 3h00 pour réaliser les projets et écrire les rapports associés).

Une évaluation finale (contrôle écrit de 2 h) terminera le cours.

La seconde session sera un contrôle écrit de 2 h.

La langue d'enseignement est le français pour les occurrences 1-1 et 1-2 et l'anglais pour l'occurrence 1-3.

Organisation de l'évaluation

Deux projets avec deux rapports (40 %) et contrôle final individuel (60 %)

Les projets sont des évaluations obligatoires (EO) comme le contrôle final

Support de cours, bibliographie

D. Kondepudi, I. Prigogine, Modern Thermodynamics – From Heat Engines to Dissipative Structures, John Wiley and sons, England, 1998.

C.H.P. Lupis, Chemical Thermodynamics of Materials, Elsevier Science Publishing, New York, 1983.

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Marie-Laurence Giorgi, Sean Mc Guire
- Taille des TD : 35
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : logiciels libres

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de l'enseignement, les élèves seront capables de :

1. Écrire les bilans d'énergie, d'entropie et d'exergie
2. Dimensionner et optimiser les cycles de récupération d'énergie
3. Proposer et évaluer des solutions pour optimiser l'efficacité énergétique des systèmes
4. Comprendre et utiliser des diagrammes d'équilibre pour l'élaboration de matériaux
5. Construire des modèles thermodynamiques décrivant les équilibres
6. Travailler en équipe de façon autonome et interdépendante vers un objectif commun à l'équipe

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1, C1.2, C1.3, C2.1

COURS SEQUENCE THEMATIQUE 2

ST2 – ROBOTIQUE MEDICALE

Dominante : GSI (Grands Systèmes en Interaction)

Langue d'enseignement : Français

Campus : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

L'essor de la robotique a été motivé à ses origines par des problématiques industrielles (fabrication, évolution dans un environnement hostile, etc.). Aujourd'hui, les développements s'orientent de plus en plus vers de nouveaux marchés : santé, services à la personne, assistance, services urbains, logistique, transport, agriculture, etc. Dans le domaine de la santé, les systèmes d'assistance aux médecins d'une part, et aux patients d'autre part, sont indissociables de la notion d'interaction humain-robot.

Les nouveaux usages ainsi apparus nécessitent des temps de développement matériel et logiciel plus courts, une personnalisation accrue ainsi qu'une validation des performances sous des contraintes de sécurité, cout, d'encombrement, de poids, etc. Les méthodes de conception intègrent régulièrement des phases d'optimisation qui s'appuient sur des modèles des systèmes robotiques et de leurs environnements. Ces phases peuvent être liées à la conception mécanique, à la commande des systèmes robotiques, au développement de modules fondés sur l'intelligence artificielle (comme en imagerie médicale) etc.

Dans le contexte de la robotique, le développement de tels modèles requiert une démarche généraliste et structurée. En particulier, la modélisation dynamique fait souvent appel au formalisme de Lagrange qui donne une portée très générale. Les méthodes abordées dans cette séquence thématique sont contextualisées dans le domaine disciplinaire de la robotique tandis que leur champ d'application dépasse largement ce contexte.

Cette séquence thématique aborde plus précisément les problématiques du milieu médical à travers différentes composantes : la radiologie interventionnelle (plus précisément la radiologie vasculaire) qui constitue une aide importante en termes de guidage notamment au personnel médical lors des phases d'intervention ; la chirurgie mini-invasive, associée la plupart du temps à des systèmes de vision, qui limite les traumatismes chirurgicaux ; et l'assistance au geste par un exosquelette de membre supérieur, qui offre des perspectives intéressantes entre autres pour la rééducation fonctionnelle.

Prérequis conseillés

Prérequis pour le cours spécifique : connaissances élémentaires de mécanique du point (notions de vitesse, accélération, force, moment).

Modules contexte et enjeux : ces modules ont pour objectif de donner une vision de la thématique sous plusieurs angles :

- Introduction générale avec une conférence d'ouverture sur le thème « La robotique dans le système de santé en France, état actuel et perspectives »
- Mise en évidence des principaux enjeux cliniques de la robotique interventionnelle
- Mise en évidence des aspects juridiques, risques, sécurité et normes, aspect contrainte et cout produit par GE Healthcare
- Exposé des technologies existantes et des verrous via des présentations sur le thème « Gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur ou robot »

Cours spécifique (40 HEE) : Dynamique des systèmes indéformables

- **Brève description :** De nombreux systèmes mécaniques sont destinés à assurer des mouvements spécifiques ou à transmettre des efforts de façon contrôlée ; il s'agit alors de mécanismes généralement constitués de plusieurs solides en liaison les uns avec les autres, où l'on peut considérer que les déplacements sont surtout notables au niveau de ces liaisons, et qu'il est donc raisonnable de supposer que les solides sont indéformables. L'étude de ces mécanismes permet alors de quantifier les performances qu'ils peuvent offrir, ainsi que de les dimensionner pertinemment. En outre, les outils de modélisation mis en œuvre peuvent s'avérer adaptés pour la description de systèmes issus d'autres domaines : ainsi, le cours s'attachera à donner de nombreux exemples issus de domaines d'application variés, comme, typiquement :
 - La dynamique des véhicules terrestres, aéronautiques et spatiaux, qui implique notamment les problématiques de contrôle et de pilotage ;

- La robotique, avec le dimensionnement des mécanismes de transformation de mouvement et la conception des lois de commande ;
- La biomécanique et l'étude du geste sportif.

Enseignement d'intégration n°1 : Modélisation et dimensionnement d'un exosquelette de membre supérieur

- **Partenaire associé** : CEA-LIST
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : Un exosquelette de membre supérieur est un système robotisé portable par l'être humain et permettant d'assister celui-ci pour exécuter des gestes, porter des charges lourdes etc. Un tel système devrait dans l'idéal offrir les mêmes possibilités de mouvement au bras humain que lorsque celui-ci est entièrement libre, tout en apportant l'assistance souhaitée. Dans ce projet on s'intéresse plus particulièrement à la manière dont la conception et la commande de l'exosquelette permettent de se conformer à la morphologie et aux mouvements humains. En effet, les choix de conception mécanique et le dimensionnement mécatronique influencent directement le confort et l'anthropomorphisme des mouvements possibles, ou encore les efforts transmis. Dans ce projet, il s'agit d'élaborer des modèles de l'exosquelette permettant d'analyser ses mouvements et les efforts transmis pour offrir le niveau de performance recherché pour l'assistance à l'être humain.

Enseignement d'intégration n°2 : Modélisation et dimensionnement d'un robot médical – Modélisation d'un robot polyarticulé de radiologie vasculaire

- **Partenaire associé** : GE Healthcare
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : Lors d'opérations vasculaires (cœur, poumons, cerveau, reins) la radiologie interventionnelle est une aide devenue indispensable aux chirurgiens. En effet, ce type de système réduit le temps de récupération et les traumatismes du patient lors des opérations comparativement à la chirurgie « ouverte » classique. Un système de radiologie vasculaire peut être constitué d'un ou deux robots polyarticulés, posés au sol ou suspendus. Le système étudié comporte cinq axes motorisés permettant le déplacement du système de prise d'images constitué d'un tube à rayons-X et du récepteur. Le niveau de précision requis lors du mouvement est étroitement lié à l'objectif d'imagerie et dépendant en partie de la conception du système d'actionnement. De plus, pour garantir la sécurité, ce type de système doit pouvoir rester immobile en cas de coupure de l'alimentation, ce qui conduit à un choix et dimensionnement spécifiques de la chaîne de motorisation. Par ailleurs, le robot partageant son espace de travail avec le personnel médical et le patient, se pose le problème de détection de collisions inopinées pour assurer la sécurité des personnes. Dans ce projet, il s'agit de modéliser ce type de robot en tenant compte de sa structure multiaxe.

Enseignement d'intégration n°3 : Modélisation et dimensionnement d'un robot médical – Modélisation d'un robot de chirurgie mini-invasive

- **Partenaire associé** : Laboratoire SAAS de l'ULB (Université Libre de Belgique)
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : Les robots chirurgicaux permettent entre autres d'améliorer la précision des mouvements du chirurgien et de réduire l'effet de tremblements. Ils apportent aussi plus de liberté dans les mouvements et plus de visibilité grâce au système de vision embarqué. La chirurgie mini-invasive vise à réduire l'impact d'une opération sur le patient en termes de traumatismes et de temps de récupération. Le chirurgien opère directement à l'intérieur du corps du patient à l'aide d'une caméra et d'outils insérés par des orifices appelés trocars. L'assistance du chirurgien au moyen d'un système robotisé permet de pallier un certain nombre de contraintes rencontrées par le chirurgien dans ce type d'opérations (espace de travail restreint, visibilité partielle, posture contraignante...). La conception de tels systèmes robotisés nécessite donc de prendre en compte de nouvelles contraintes de géométrie (point fixe au niveau du trocar), d'instrumentation (capteurs, effecteurs...) et de sécurité (collisions dans le corps du patient ou dans l'espace de travail du personnel médical). Dans ce projet, on s'intéresse à la modélisation d'un robot à quatre degrés de liberté dans le but d'évaluer son espace de travail et d'estimer les efforts extérieurs en cas de collision.

1SC2110 – Dynamique des solides indéformables

Responsables : **Guillaume PUEL**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MÉCANIQUE ÉNERGÉTIQUE PROCÉDÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

De nombreux systèmes mécaniques sont destinés à assurer des mouvements spécifiques ou à transmettre des efforts de façon contrôlée ; il s'agit alors de mécanismes généralement constitués de plusieurs solides en liaison les uns avec les autres, que l'on peut considérer comme indéformables, les déplacements étant surtout notables au niveau des liaisons. L'étude de ces mécanismes permet alors de quantifier les performances qu'ils peuvent offrir, ainsi que de les dimensionner pertinemment. En outre, les outils de modélisation mis en œuvre peuvent s'avérer adaptés pour la description de systèmes issus d'autres domaines : ainsi, le cours s'attachera à donner de nombreux exemples issus de domaines d'application variés, comme, typiquement :

- La dynamique des véhicules terrestres, aéronautiques et spatiaux, qui implique notamment les problématiques de contrôle et de pilotage ;
- La robotique, avec le dimensionnement des mécanismes de transformation de mouvement et la conception des lois de commande ;
- La biomécanique et l'étude du geste sportif.

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

ST2

Prérequis

Connaissances de base en mécanique du point (notions de vitesse, accélération, force, moment).

1EL5000 - Mécanique des milieux continus peut être utile, mais n'est pas nécessaire pour suivre l'enseignement.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Cinématique d'un solide indéformable (1h) : placement des points, champ des vitesses, champ des accélérations. Actions mécaniques. Relations fondamentales de la dynamique pour un solide indéformable
- Composition des mouvements. Application aux liaisons. Liaisons parfaites : cinématique et efforts de liaison
- Iso/hyperstatisme. Méthodes de résolution.
- Méthodes énergétiques : théorème de l'énergie cinétique, principe des puissances virtuelles (application à un solide)
- Contrôle intermédiaire (45 min, sans document) et séance d'exercices
- Puissance (réelle ou virtuelle) des inter efforts de liaison. Utilisation dans les méthodes énergétiques. Equations de Lagrange
- Compléments sur les liaisons (frottement, jeu, élasticité, ...) : cours-en hors présentiel
- Séance de synthèse sur la résolution de problèmes
- Contrôle final (2h)

Déroulement, organisation du cours

1h30 cours + 1h30 TD en alternance, sauf pour la séance 1 (1h cours, TD en autonomie) et les séances 6 et 8 (3h TD)

Total présentiel : 7h cours, 10h30 TD, 2h contrôle final

Organisation de l'évaluation

Contrôle final : durée 2h avec documents et calculatrices non communicantes.
Note finale = max (30% contrôle intermédiaire + 70% contrôle final, contrôle final)

Support de cours, bibliographie

Polycopié
Ressources en ligne

Moyens

Enseignant du cours magistral : Guillaume Puel
Taille des TD : 35 élèves

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Modéliser de manière pertinente un mécanisme constitué de différents solides indéformables :
 - Justifier les choix de modélisation pertinents et le paramétrage associé (2D ou 3D, liaisons parfaites ou non, ...)
 - Déterminer les caractéristiques de chaque solide pertinente pour son étude dynamique (position du centre d'inertie, calcul du tenseur d'inertie)
- Déterminer le mouvement des différents solides du mécanisme au cours du temps et les actions mécaniques en jeu :
 - Choisir et mettre en œuvre une stratégie de résolution pertinente (isolements, projections, approche énergétique ou non) pour établir les équations du mouvement des différents solides
 - Résoudre ces équations de façon analytique ou numérique pour déterminer les grandeurs pertinentes permettant de faire des choix de conception ou de dimensionnement

1SC2191 – Modélisation et dimensionnement d'un exosquelette de membre supérieur

Responsables : **Maria Makarova**

Département de rattachement : **DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

De nombreux domaines, allant des domaines industriels aux domaines médicaux, sont actuellement en recherche de solutions pour réduire les coûts, réduire la pénibilité ou encore assurer une meilleure maîtrise des opérations réalisées. Une des solutions ayant émergé depuis environ une décennie est l'utilisation d'exosquelettes, des dispositifs placés au plus près du corps permettant de le soulager lors d'opérations physiquement difficiles. La majorité des exosquelettes actuellement disponibles à la vente sont des exosquelettes dits passifs (non motorisés). Les limitations de ces exosquelettes ont conduit au développement d'exosquelettes dits actifs, motorisés, offrant beaucoup plus de liberté dans les mouvements réalisés et sur le niveau d'assistance fourni.

L'exosquelette de membre supérieur étudié ici appartient à cette seconde catégorie. Cet exosquelette possède des caractéristiques mécaniques liées à son système d'actionnement permettant d'obtenir de très hauts niveaux de transparence. La transparence correspond à la capacité du robot à être actionné par l'utilisateur sans exercer d'effort résistant ou en en exerçant le moins possible. Cette caractéristique est particulièrement importante pour les domaines applicatifs de ce type de robots dont un exemple est la rééducation fonctionnelle.

La rééducation fonctionnelle est une étape importante vers une amélioration de la qualité de vie des patients atteints de handicaps moteurs, innés ou apparus après un traumatisme ou un accident vasculaire cérébral (AVC), par exemple. Les avantages principaux reconnus à l'utilisation d'exosquelettes dans le domaine de la rééducation fonctionnelle (en particulier pour les membres supérieurs) sont : un espace de travail étendu et en trois dimensions, un suivi du membre dans tout l'espace de travail permettant de travailler sur des mouvements naturels pour le patient et donc la possibilité de travailler sur des mouvements utilisant les synergies et dépendances entre les différentes articulations du bras. Tous les développements et applications possibles évoqués précédemment ne peuvent être rendus possibles que par une connaissance fine des caractéristiques de l'exosquelette considéré, cette condition étant cruciale pour pouvoir obtenir un haut niveau de transparence.

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Projets possibles (sujets types, à préciser) :

- Modélisation et simulation dynamique de l'exosquelette
- Modélisation des frottements dépendants de la charge
- Etude du couplage humain-exosquelette
- Etude de transmission des efforts

Organisation de l'évaluation

Implication dans le travail d'équipe durant la semaine + livrables à la fin de la semaine + soutenance finale

Moyens

- Salle de 30 élèves, avec projecteur, organisée en îlots par groupe
- 3 enseignants par salle
- Matlab/Simulink (accès réseau pour licence) sur PC individuels des étudiants

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement d'intégration, les élèves seront capables de :

- Décrire le contexte actuel de la robotique médicale à travers les principaux enjeux techniques, applicatifs et économiques associés.
- Identifier les thématiques d'actualité de la robotique médicale, et décrire leurs spécificités techniques.
- Décrire les éléments matériels et logiciels principaux constituant un système robotique industriel et médical.
- Élaborer et simuler des modèles de robots polyarticulés ou mobiles.
- Dimensionner, modéliser et simuler une chaîne de motorisation.
- Analyser un système en interaction avec l'environnement extérieur.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1 - Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C4 - Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- C7 - Savoir convaincre
- C8 - Mener un projet, une équipe

1SC2192 – Modélisation d'un robot polyarticulé de radiologie vasculaire

Responsables : **Guillaume PUEL**

Département de rattachement : **DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Lors d'opérations vasculaires (cœur, poumons, cerveau), la radiologie interventionnelle est une aide devenue indispensable aux chirurgiens. Un système de radiologie vasculaire peut être constitué d'un ou deux robots polyarticulés, roulant sur le sol ou suspendus. Le système étudié ici comporte trois axes motorisés permettant le déplacement du système de prise de vue constitué d'un tube à rayons X et d'un récepteur. Le niveau de précision requis lors du mouvement est étroitement lié à l'objectif d'imagerie et dépendant en partie de la conception du système d'actionnement. De plus, pour garantir la sécurité, ce type de système doit pouvoir rester immobile en cas de coupure de l'alimentation, ce qui conduit à un choix et un dimensionnement spécifique de la chaîne de motorisation. Par ailleurs, le robot partageant son espace de travail avec le personnel médical, se pose alors le problème de détection de collisions inopinées pour assurer la sécurité du personnel. Dans cet enseignement d'intégration, il s'agit de modéliser ce type de robot en tenant compte de sa structure multiaxe.

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Projets possibles :

1. Développement du simulateur d'un modèle dynamique du robot Innova
2. Identification des paramètres d'un modèle dynamique d'un robot de radiologie interventionnelle
3. Planification de trajectoire 3D du robot pour une analyse de type "cardiac spin"
4. Développement d'un modèle d'un robot mobile à deux roues motrices

Organisation de l'évaluation

Implication dans le travail d'équipe + livrables à la fin de la semaine + soutenance finale

Moyens

- Salle de 30 élèves, avec projecteur, organisée en îlots par groupe
- 3 enseignants par salle
- Matlab/Simulink (accès réseau pour licence) sur PC individuels des étudiants

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement d'intégration, les élèves seront capables de :

- Décrire le contexte actuel de la robotique médicale à travers les principaux enjeux techniques, applicatifs et économiques associés.
- Identifier les thématiques d'actualité de la robotique médicale, et décrire leurs spécificités techniques.
- Décrire les éléments matériels et logiciels principaux constituant un système robotique industriel et médical.
- Élaborer et simuler des modèles de robots polyarticulés ou mobiles.
- Dimensionner, modéliser et simuler une chaîne de motorisation.

- Analyser un système en interaction avec l'environnement extérieur.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1 - Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C4 - Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- C7 - Savoir convaincre
- C8 - Mener un projet, une équipe

1SC2193 – Modélisation d'un robot de chirurgie mini-invasive

Responsables : **Pedro Rodriguez-Ayerbe**

Département de rattachement : **DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Les robots chirurgicaux permettent entre autres d'améliorer la précision des mouvements du chirurgien et de réduire l'effet de tremblements. Ils apportent aussi plus de liberté dans les mouvements et plus de visibilité grâce au système de vision embarqué.

La chirurgie mini-invasive vise à réduire l'impact d'une opération sur le patient en termes de traumatismes et de temps de récupération. Le chirurgien opère directement à l'intérieur du corps du patient à l'aide d'une caméra et d'outils insérés par des orifices appelés trocars. L'assistance du chirurgien au moyen d'un système robotisé permet de pallier un certain nombre de contraintes rencontrées par le chirurgien dans ce type d'opérations (espace de travail restreint, visibilité partielle, posture contraignante...).

La conception de tels systèmes robotisés nécessite donc de prendre en compte de nouvelles contraintes de géométrie (point fixe au niveau du trocar), d'instrumentation (capteurs, effecteurs...) et de sécurité (collisions dans le corps du patient ou dans l'espace de travail du personnel médical).

Dans ce projet, on s'intéresse à la modélisation d'un robot à quatre degrés de liberté dans le but d'évaluer son espace de travail et d'estimer les efforts extérieurs en cas de collision.

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Projets possibles :

1. Etude des efforts d'interaction au contact du patient ou du chirurgien
2. Etude de capteurs virtuels pour la reconstruction d'efforts d'interaction
3. Développement d'un simulateur d'un modèle dynamique du robot
4. Etude des frottements articulaires à partir de données expérimentales
5. Etude du dimensionnement des actionneurs et des capteurs du robot
6. Etude des mouvements du robot pour la commande

Organisation de l'évaluation

Implication dans le travail d'équipe au cours de la semaine + livrables à la fin de la semaine + soutenance finale

Moyens

- Grande salle de 30 élèves, avec projecteur, organisée en îlots par groupe
- 3 enseignants par salle
- Matlab/Simulink (accès réseau pour licence) sur PC individuels des étudiants

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement d'intégration, les élèves seront capables de :

- Décrire le contexte actuel de la robotique médicale à travers les principaux enjeux techniques, applicatifs et économiques associés.
- Identifier les thématiques d'actualité de la robotique médicale, et décrire leurs spécificités techniques.

- Décrire les éléments matériels et logiciels principaux constituant un système robotique industriel et médical.
- Élaborer et simuler des modèles de robots polyarticulés ou mobiles.
- Dimensionner, modéliser et simuler une chaîne de motorisation.
- Analyser un système en interaction avec l'environnement extérieur.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1 - Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C4 - Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
- C7 - Savoir convaincre
- C8 - Mener un projet, une équipe

ST2 – BIOINGENIERIE : PRODUIRE, PROTEGER, REPARER

Dominante : VSE (Vivant-Santé Environnement)

Langue d'enseignement : Français

Campus où le cours est proposé : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

La Bioingénierie transpose et applique aux systèmes vivants, les concepts, les méthodes et les outils de l'ingénieur, pour produire de manière plus durable, protéger un milieu naturel menacé ou réparer un organe.

Les systèmes vivants sont des systèmes complexes. Les échelles sont variées : l'échelle de la cellule, d'un organe, d'un organisme, d'une population ou d'un écosystème. Les phénomènes mis en jeu sont multiples, nécessitant une approche pluridisciplinaire.

La modélisation est actuellement l'un des grands challenges de la Bioingénierie, pour comprendre, représenter, prédire le comportement des systèmes vivants et participer à leur maîtrise.

Dans le cadre de ce sujet, vous allez découvrir les sciences du vivant et mener une approche de modélisation pour répondre à l'un des quatre enjeux suivants : (i) employer des systèmes vivants pour améliorer le soin des personnes, (ii) délivrer un médicament à un organe ciblé au bon moment et en bonne quantité, ce sont des enjeux de santé ; (iii) l'impact d'une communauté microbienne en milieu naturel (biofilm) perturbant la production d'énergie et (iv) l'utilisation du vivant pour produire des molécules d'intérêt de façon durable, ce sont des enjeux industriels.

Les 4 enseignements d'intégration proposés vous permettront respectivement :

- D'aborder les bases de l'ingénierie des tissus vivants (reconstruction osseuse),
- D'analyser les problématiques industrielles et économiques liées au développement microbien sous forme de biofilm, dans le cadre de la production d'énergie bas carbone (centrale nucléaire),
- De produire naturellement de nouvelles souches de microalgues d'intérêt, ayant de meilleures performances pour la synthèse de composés spécifiques,
- De concevoir de nouveaux systèmes de délivrance de médicament à libération contrôlée afin d'augmenter leur efficacité, faciliter leur utilisation par le patient et réduire les effets néfastes liés au dosage

Prérequis : Aucun

Module contexte et enjeux : Sous la forme de conférences et d'une table ronde, ce module vous permettra d'appréhender l'apport de la modélisation pour relever les défis des domaines du vivant et de l'environnement. Les conférences s'attacheront à donner des exemples d'apport de la modélisation en neurosciences et de développement de dispositifs innovants pour la cardiologie. Les perspectives économiques dans le domaine biomédical et des biotechnologies industrielles seront discutées par des acteurs de ce secteur (un investisseur et des fondateurs de start-up). Les enseignements d'intégration seront alors présentés par les partenaires de la ST : INSERM, EDF, INALVE et INSTITUT GALIEN.

Cours spécifique (40 HEE) : Sciences du vivant

Brève description : Les principes généraux qui définissent le vivant seront présentés. Les nombreuses échelles que l'on peut considérer et le niveau de complexité qui s'accroît au fur et à mesure du changement d'échelle seront progressivement parcourus d'un cours à l'autre (macromolécule / cellule / population de cellules en suspension et sous forme de biofilm / organe).

La première partie du cours traite de biologie cellulaire, présente les échelles macromoléculaire et cellulaire et propose au final une revue des aspects du vivant qu'il est aujourd'hui possible de modéliser pour un ingénieur. La deuxième partie est dédiée aux bioprocédés : les aspects de bioproduction et de bioremédiation seront abordés. Enfin, la troisième partie du cours porte sur un matériau du vivant (tissu osseux). Des TD illustrant ces domaines viendront compléter ces enseignements. A l'issue de ce cours, il est possible de comprendre comment utiliser le vivant pour épurer (défi environnement), produire durable à partir de ressources renouvelables (défi industriel) et réparer le vivant lui-même (défi santé).

Enseignement d'intégration n°1 : Biomatériaux pour la reconstruction osseuse

Partenaire associé : INSERM

Lieu : Campus Paris-Saclay

Brève description : L'excellente capacité naturelle de guérison des os suffit à reconstruire la plupart des fractures. Cependant, pour certains cas difficiles (accident de la route, cancer), une greffe osseuse est obligatoire. Dans le cas de reconstructions grandes ou multiples, le volume de matière osseuse autologue disponible peut s'avérer insuffisant. L'INSERM travaille sur une thérapeutique alternative pour laquelle les copeaux osseux sont remplacés par un biomatériau synthétique microporeux à la fois cellularisable et résorbable.

L'objectif de L'EI est de modéliser la prolifération cellulaire au sein du biomatériau afin de proposer des architectures de matériau innovantes améliorant la cellularisation. Différentes facettes de la modélisation multiphysique seront abordées : la structure poreuse, l'hydrodynamique au sein des pores, le transport d'espèces chimiques (oxygène et glucose), la prolifération cellulaire proprement dite et le couplage entre ces phénomènes.

Enseignement d'intégration n°2 : Biofilm : une entrave à la production d'électricité couplée à des risques environnementaux et sanitaires

Partenaire associé : EDF

Lieu : Campus Paris-Saclay

Brève description : Pour une activité de production d'énergie, l'objectif de cet EI est d'évaluer l'impact négatif de la croissance d'un biofilm dans un échangeur de chaleur refroidi par de l'eau de mer ou par de l'eau de rivière. Après avoir établi un modèle sur un cas de référence, ce sera un cas réel proposé par le partenaire qui sera considéré. Les élèves élaboreront des scénarios qui permettent un niveau et une sûreté de production d'énergie conforme à la demande du client, sur la base des résultats de simulation. Ils prendront en compte les contraintes environnementales et sanitaires de rejet d'eau dans le milieu naturel. Ils établiront le montant de l'investissement en matériel et les coûts d'exploitation associés selon les caractéristiques du site de production (Europe et Asie). Des indicateurs de performance (KPI) permettront de classer ces scénarios et de quantifier la valeur créée pour le client.

Enseignement d'intégration n°3 : Amélioration des performances de microalgues par pression de sélection Darwinienne

Partenaire associé : DareWin Evolution et INRIA

Lieu : Campus Paris-Saclay

Brève description :

Les microalgues sont des usines cellulaires qui convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique tout en consommant du dioxyde de carbone. Diverses molécules à haute valeur ajoutée issues des microalgues présentent un fort intérêt industriel pour des applications variées en pharmaceutique, cosmétique, agro-alimentaire et aquaculture. Ces microorganismes sont cultivés à grande échelle, dans des réacteurs, en général placés à l'extérieur et donc soumis à des variations importantes de flux lumineux et de température à l'échelle de la journée et de la saison.

L'objectif de cet EI est d'améliorer un dispositif innovant pour stimuler de façon naturelle la productivité de certaines molécules d'intérêt à l'aide d'une approche de modélisation. Les élèves développeront un modèle du procédé de culture continu dans lequel des stress périodiques sont appliquées afin que des individus présentant un trait d'intérêt émergent progressivement de la population. Différents stress pourront être évalués, tels que des variations de flux lumineux, de température ou de sels nutritifs. Au final, les élèves proposeront des recommandations de design du bioprocédé et de son pilotage par l'analyse des résultats issus du modèle.

Enseignement d'intégration n°4 : Systèmes de libération contrôlée d'agents pharmaceutiques

Partenaire associé : INSTITUT GALIEN Paris Saclay (Faculté de Pharmacie)

Lieu : Campus Paris-Saclay

Brève description : La conception d'un médicament implique la prise en compte de la cinétique de libération de son agent actif dans le sang et les tissus cibles, et le maintien de la concentration souhaitée aussi longtemps que possible. Pour cela, les agents actifs sont généralement formulés sous des formes spécifiques permettant de contrôler leur libération. Cependant, afin de prédire leurs cinétiques dans le corps, il est aussi nécessaire de prendre en compte les propriétés physiologiques du patient.

L'objectif de l'EI est de modéliser la dynamique de libération d'un médicament, afin de réduire le nombre de tests lors de pré-essais cliniques. La modélisation sera développée de façon incrémentale : d'abord un modèle de type PBPK (Physiology Based Pharmacokinetics) sera construit et calibré avec des données expérimentales. Ce modèle sera ensuite étendu afin de prendre en compte les spécificités liées à la problématique du client, à savoir le système de relargage par nanoparticules, le mode d'inoculation, et les caractéristiques des sous-populations ciblées.

1SC2210 – Sciences du vivant

Responsables : **Filipa Lopes**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MÉCANIQUE ÉNERGÉTIQUE PROCÉDÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Les principes généraux qui définissent le vivant, présenté comme système complexe seront abordés via une approche multi échelle de la cellule à la population : macromolécule, organite intracellulaire, cellule, population de cellules (ex, tissu cellulaire, microorganismes en suspension et immobilisées).

L'objectif général de cet enseignement est d'introduire les concepts de base du vivant nécessaires pour mieux le comprendre et enfin pouvoir l'exploiter dans un objectif donné : 1) le réparer (défi santé), 2) épurer un écosystème (défi environnemental) et 3) produire des molécules d'intérêt (défi industriel).

Les principes seront abordés par une approche multidisciplinaire aux interfaces de la biologie, de la biochimie, des bioprocédés, de la mécanique et des mathématiques afin d'obtenir une vision globale et intégrée du vivant.

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

• Partie 1 : La cellule :

- o Les briques du vivant
- o Cellule procaryote/eucaryote
- o Organites cellulaires
- o Le fonctionnement général de la cellule : du gène à la protéine
- o Métabolisme cellulaire (anabolisme et catabolisme)
- o Approche computationnelle du vivant.

• Partie 2 : Population de cellules :

- o Microorganismes en suspension et immobilisées (biofilm). Applications en bioprocédés (production de molécules d'intérêts et applications environnementales).
- o Tissu osseux.

Partie 1 : La cellule

Comprendre le vivant est essentiel pour l'ingénieur de demain. Qu'il s'agisse de le manipuler pour produire de façon industrielle des médicaments ou des carburants, ou qu'il s'agisse de guérir des pathologies. La biologie moderne fait appel à toutes les techniques de l'ingénieur (mathématiques, physique de tout type, chimie, thermodynamique, informatique, etc.). Elle est par essence multidisciplinaire. Ce cours est une introduction au vivant. Le vivant tel que nous le définissons n'est qu'un ensemble de réactions chimiques assistées par des enzymes et de l'énergie. Les molécules utilisées dans les cellules viennent de l'océan primitif. Nous verrons comment elles ont été utilisées pour donner les cellules que nous connaissons maintenant, notamment les acides aminés, les sucres, les lipides, jusqu'à l'ADN. Nous verrons qu'il existe différents types de cellules, dont certaines sont déjà utilisées à l'échelle industrielle.

Le cœur du cours sera focalisé sur la façon dont les cellules assurent la fabrication des molécules dont elles ont besoin, en utilisant le codage génétique. Le code génétique peut être manipulé pour utiliser le vivant à des fins spécifiques.

Pour faire tout fonctionner, il faut de l'énergie. Une attention particulière sera portée sur la mitochondrie, véritable usine fournissant l'énergie à de nombreuses cellules.

Enfin, nous découvrirons comment les approches computationnelles sont utilisées pour mieux comprendre et contrôler le vivant.

Partie 2 : Population de cellules

Les microorganismes, tels que des bactéries, des levures et des microalgues sont très utilisés en industrie, en particulier dans les secteurs de l'agroalimentaire, pharmaceutique, cosmétique, traitement de déchets et la production d'énergie. Ils peuvent se trouver en suspension ou immobilisés, agrégés sous forme de flocs ou sur un support (biofilm). Les biofilms constituent le mode de vie microbien par excellence et sont ubiquitaires. Ils se développent en milieux naturel, industriel et hospitalier et sont responsables de l'encrassement des échangeurs de chaleur, des tours de refroidissement et des cathéters. Ils sont également utilisés pour la production de molécules d'intérêt et le traitement des eaux usées.

Dans ce cours, nous aborderons ces deux modes de vie microbienne et les applications associés en industrie et environnement.

Ce cours constitue également une introduction aux bioprocédés. Les principes de base (les différentes étapes de la production en bioréacteur jusqu'à la récupération des produits d'intérêt, les différents modes de conduite des bioréacteurs) seront illustrés avec des exemples et applications industrielles concrets. La modélisation du bioprocédé sera également abordée.

L'os : un tissu biologique en évolution - Le squelette humain est composé de différents types d'os. Ceux-ci sont constitués de deux tissus majoritaires : l'os trabéculaire et l'os cortical qui sont en évolution permanente. En effet sous l'effet de l'environnement mécanique, l'os adapte sa densité et son architecture. Dans ce cours, nous aborderons la microstructure de l'os, son lien avec l'environnement mécanique et le processus de remodelage osseux initié à l'échelle de la cellule. Ensuite nous verrons comment étudier le lien mécanique – biologie peut aider à envisager des thérapies de régénération innovantes.

Déroulement, organisation du cours

Cours (70%) et TD (30%)

9 cours de 1h30 chacun et 3 TD de 1h30 chacun

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu (sous forme de QCM) (30% de la note finale) et contrôle final écrit (70% de la note finale).

Support de cours, bibliographie

- Copies des présentations des différents intervenants.
- Ouvrages :
 - Madigan, M. (2007). Brock Biologie des microorganismes ;
 - Meyer, A., Deiana, J., & Bernard, A. (2004). Cours de microbiologie avec problèmes et exercices corrigés-2e édition ;
 - Doran, P. M. (1995). Bioprocess engineering principles. Academic press;
 - Marsily, G., Hydrogéologie quantitative Ed. Masson Paris (1981);
 - Marsily, G., Quantitative Hydrogeology. Groundwater Hydrology for Engineers Ed. Academic Press, New-York (1986);
 - Bear J., Dynamics of Fluids in Porous Media, Elsevier Publishing Company, Inc., New York, 1972.

Moyens

- Equipe enseignante : C. BERNARD, C. PUENTES, E. VENNAT, T. BOUCHEZ et F. LOPES.
- Taille des TD : 30.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

1. Définir les différentes briques du vivant : acides aminés, sucres, bases et leur mode d'assemblage
2. Décrire le mode de codage des protéines : le code génétique, l'ADN, l'ARN et la transcription et le mode de fabrication des protéines : la translation
3. Expliquer les bases des réactions enzymatiques et des processus énergétiques dans la cellule
4. Lister et expliquer les différentes étapes du bioprocédé
5. Estimer le taux de croissance d'une population microbienne et discuter les facteurs l'impactant
6. Définir les biofilms et lister les impacts associés
7. Ecrire les bilans de matière au sein du bioréacteur

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 - Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

1SC2291 – Biomatériaux pour la reconstruction osseuse

Responsables : **Hervé Duval**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

L'enseignement **Biomatériaux pour la reconstruction osseuse** est l'un des 4 Enseignements d'Intégration (EI) qui concluent la Séquence Thématique n°2 (ST2) **Bioingénierie : Produire, Protéger, Réparer**. Il relève plus particulièrement du volet **Réparer**.

Une problématique relevant de la santé publique

L'excellente capacité naturelle de guérison des os, combinée à une immobilisation du membre, suffit à reconstruire la plupart des fractures. Cependant, dans certains cas cliniques tels que des événements traumatiques graves avec perte de substance ou des grandes résections de pièces osseuses suite à une pathologie (tumeur), le processus de réparation naturelle peut être très lent voire totalement inefficace. Pour ces cas orthopédiques difficiles, une greffe osseuse est obligatoire. Dans le cas de reconstructions grandes ou multiples, le volume de matière osseuse autologue disponible peut s'avérer insuffisant. Dans ce contexte, l'INSERM développe une thérapeutique alternative pour laquelle les copeaux osseux sont remplacés par un biomatériau synthétique microporeux à la fois cellularisable et résorbable.

Des biomatériaux à propriétés optimisées, vite !

Le développement d'un biomatériau jusqu'à l'application clinique est long et coûteux. Afin d'accélérer ce processus, le laboratoire LVTS de l'INSERM et les laboratoires LMPS et LGPM de CentraleSupélec mettent en œuvre une stratégie de conception et d'optimisation en rupture avec l'approche empirique traditionnelle. Cette stratégie nouvelle s'appuie sur l'ingénierie des bioréacteurs, la modélisation multiphysique et la simulation numérique. Les bioréacteurs permettent d'étudier in vitro la réparation d'un défaut osseux. La simulation numérique permet d'examiner l'influence de la microgéométrie du biomatériau sur cette réparation. La combinaison de ces outils devrait permettre d'optimiser efficacement les propriétés et la microarchitecture du biomatériau avant de passer à l'expérimentation in vivo plus longue et plus coûteuse.

Modélisation multiphysique du bioréacteur

L'enseignement porte sur la modélisation de la prolifération cellulaire au sein du biomatériau. Dans le bioréacteur, le biomatériau est infiltré par un liquide de perfusion qui (i) apporte les nutriments et l'oxygène nécessaires aux cellules, (ii) élimine les déchets qu'elles produisent et (iii) exerce une contrainte de cisaillement sur les cellules qui stimule leur prolifération. L'enseignement abordera différentes facettes de la modélisation multiphysique : (i) la caractérisation et la représentation géométrique du biomatériau microporeux, (ii) l'hydrodynamique au sein des pores, (iii) le transport d'espèces chimiques (oxygène et glucose), (iv) la prolifération cellulaire et (v) le couplage entre ces phénomènes.

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

ST2

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

- Présentation du projet
 - Contexte de l'ingénierie tissulaire
 - Notion de bioréacteurs
 - Focus sur le bioréacteur du projet
- Analyse du problème

- Estimation des différentes échelles de temps et d'espace mises en jeu
 - Choix des échelles pertinentes
 - Identification des « briques élémentaires » du modèle
 - Identification des données nécessaires
 - Recherche bibliographique
- Description du biomatériau
 - Analyse d'images 3D du biomatériau
 - Caractérisation de sa structure poreuse
- Expérimentation/confrontation au réel
 - Initiation à la culture cellulaire
 - Détermination de la cinétique de prolifération en conditions statiques
- Modélisation à l'échelle du pore
 - Hydrodynamique
 - Transfert d'espèces
 - Prolifération cellulaire
- Modélisation à l'échelle du bioréacteur
 - Approche PNM, Pore Network Model
 - Calcul de la perméabilité
- Implémentation numérique
 - Algorithme de résolution
 - Validation du modèle sur des configurations de test
- Etude paramétrique :
 - Ajustement de la microgéométrie et des conditions opératoires
 - Optimisation la cellularisation

Déroulement, organisation du cours

Biomatériaux pour la reconstruction osseuse est une activité pédagogique de type **Problem solving**. Elle permet de se confronter au caractère multiphysiques et multi-échelles des problèmes de bioingénierie, en mettant en œuvre les concepts introduits dans les cours de base de la **ST2 Bioingénierie** et dans les cours communs de mathématiques et d'informatique.

L'enseignement est programmé sur une semaine "bloquée" (5 jours consécutifs). Il commence par une demi-journée de lancement de projet (lundi matin). Pendant la semaine, les étudiants travaillent par groupes de 4, encadrés par une équipe de chercheurs et d'enseignants-chercheurs des laboratoires LGPM et LMPS. Chaque groupe aborde les différentes facettes de la démarche de modélisation et se confronte au réel dans le cadre de travaux pratiques de culture cellulaire.

Des points d'avancement seront réalisés quotidiennement : mise en commun des informations, apport méthodologique, compléments de cours. La semaine se termine par une séance de restitution le vendredi après-midi en présence D. Letourneur (DR-CNRS), directeur du laboratoire LVTS (INSERM).

Organisation de l'évaluation

La note finale de l'EI prendra en compte : l'assiduité individuelle, l'implication du groupe, la pertinence du modèle, son implémentation numérique, la qualité de la programmation, la présentation orale, le rapport.

Les compétences C1 et C7 sont validées si la note finale de l'EI est supérieure ou égale à 14/20.

La compétence C4 est évaluée par le jury (incluant le client) sur une échelle de 1 à 4. Le seuil de validation est de 3.

La compétence C8 est évaluée par les encadrants.

Support de cours, bibliographie

Diapositives des différentes présentations, articles scientifiques et vademecum d'expérimentation en biologie seront fournis lors du cours

Moyens

- Equipe enseignante : H. Duval (PR, CS, Département MEP, LGPM), B. Taidi (PR, CS, Département MEP, LGPM), B. David (CR CNRS, LMPS)
- Taille de l'effectif : 28
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : ImageJ (logiciel libre)
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : salle de culture cellulaire (LMPS), 14 étudiants dans le même temps

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

1. estimer les différentes échelles de temps et d'espace mises en jeu dans un procédé ;

2. choisir l'échelle la plus pertinente pour résoudre le problème posé ;
3. distinguer et conserver les phénomènes prépondérants ;
4. réduire de façon pertinente les dimensions et la complexité d'un problème
5. établir un modèle multiphysique en agrégeant des connaissances provenant de champs disciplinaires différents (biologie, science des transferts, génie des procédés, science des matériaux, analyse d'images) ;
6. déterminer expérimentalement la vitesse de prolifération d'une lignée cellulaire ;
7. implémenter numériquement un modèle mathématique ;
8. avoir un regard critique sur un modèle et ses limitations.
9. présenter de façon structurée et argumentée une démarche de modélisation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

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

C7 : Savoir convaincre

C8 : Mener un projet, une équipe

1SC2292 – Biofilm : une entrave à la production d'électricité couplée à des risques environnementaux et sanitaires

Responsables : **François Puel**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

L'enseignement « **Biofouling une entrave à la production d'électricité couplée à des risques environnementaux et sanitaires** » est l'un des 4 Enseignements d'Intégration (EI) qui concluent la Séquence Thématique n°2 (ST2) **Bioingénierie : Produire, Protéger, Réparer**. Il relève plus particulièrement des volets **Produire** (énergie) et **Protéger** (écosystème naturel).

Une problématique relevant de la production d'énergie et de son impact sanitaire et environnemental.

Les centrales nucléaires possèdent trois circuits de refroidissement en série. Le circuit tertiaire est basé sur le prélèvement d'eau dans l'environnement (fleuve ou mer) de la centrale nucléaire et a pour but de retirer une importante quantité de chaleur au circuit secondaire. Pratiquement il s'agit de condenser une vapeur. Cette eau prélevée au milieu naturel y retourne directement. Elle ne doit donc pas être modifiée de manière trop importante du point de vue thermique, physico-chimique et biologique. Par son origine naturelle, cette eau de refroidissement contient des micro-organismes. Ces derniers se développent dans les tubes du condenseur et constituent un biofilm, d'autant plus que la température de quelques dizaines de degrés le favorise. La problématique que rencontre l'exploitant peut se lire sur quatre niveaux :

- (i) ce biofilm va limiter la capacité d'échange thermique entre les circuits secondaire et tertiaire, donc la productivité de la centrale (phénomène de biofouling). Il y a donc une limitation opérationnelle. L'exploitant doit utiliser des capacités supplémentaires de refroidissement, ce qui entraîne un surcoût financier. Il y a donc un enjeu de production d'énergie couplé à un enjeu financier.
- (ii) l'eau rejetée dans l'environnement ne doit pas voir sa température s'élever de manière trop importante, sinon c'est dommageable pour les écosystèmes aquatiques au lieu du rejet. Il faut donc prélever le plus d'eau possible, mais cela va à l'encontre des problèmes de débit des cours d'eau, de plus en plus prégnants en raison des périodes de sécheresse intenses et fréquentes. Il y a donc un premier enjeu environnemental (ressource hydrique).
- (iii) Un traitement chimique du biofilm est possible pour limiter son développement, mais en retour il y a un rejet chimique dans l'environnement préjudiciable pour les écosystèmes aquatiques. Il y a donc un second enjeu environnemental (pollution chimique).
- (iv) Sans traitement chimique, les micro-organismes naturels se développent. Certains d'entre eux sont des pathogènes pour les populations avoisinantes et se retrouvent en plus forte concentration au lieu du rejet. Il y a donc un enjeu sanitaire.

Notons ainsi que les problématiques s'opposent et se complètent : le traitement chimique du biofilm permet de conserver une meilleure capacité d'échange thermique (gain opérationnel et financier), limite la concentration de pathogènes (gain sanitaire), mais pollue une ressource en eau de plus en plus fragile (pertes environnementales).

Le sujet proposé a pour objectif de modéliser la perte d'efficacité d'un échangeur de chaleur du réseau tertiaire, engendrée par ce phénomène de biofouling (encrassement par biofilm, inévitable en raison du prélèvement d'eau en milieu naturel) pour proposer des scénarios d'exploitation et d'investissement selon les situations proposées (capacité de production, caractéristique de l'environnement où le prélèvement aqueux est réalisé, etc.). Ces scénarios devront prendre en compte les contraintes environnementales et sanitaires. Des indicateurs de performance (KPIs) permettront de classer ces scénarios et de quantifier la valeur créée pour le client.

Modélisation de l'échangeur de chaleur

L'enseignement porte sur la limitation de l'échange thermique en raison de la croissance biologique du biofilm. La démarche proposée est en trois temps

- (i) Formulation du problème, se traduisant par l'écriture du modèle décrivant les phénomènes mis en jeu, en n'oubliant pas de bien définir le système considéré, les conditions initiales et limites
- (ii) Réalisation de la simulation par codage et sa validation. En général un cas de référence (« Toy problem »), assez simple, est utilisé pour valider le code de simulation, les résultats calculés devant correspondre aux résultats déjà établis pour cette configuration. Cette étape permet d'avoir les ordres de grandeur des phénomènes (dérive de température, épaisseur de biofilm) et de faire une étude de sensibilité de chacun des paramètres, afin de déterminer lesquels sont critiques pour la représentation des phénomènes mis en jeu
- (iii) Application de la modélisation au cas d'étude industriel. En combinant les résultats de la simulation avec d'autres données techniques et économiques, il est alors possible de dimensionner des appareils, de proposer des stratégies de fonctionnement selon la localisation de la centrale en bord de mer et de fleuve tout en considérant des critères de rejets sanitaires et environnementaux.

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- **Jour 1** : Contexte de la production d'électricité et de son incidence environnementale et sanitaire ; Remplir la fiche objectif (quel est le fond du problème) ; lecture de la bibliographie fournie sur le sujet de l'échange thermique et de la croissance de biofilm ; écriture du modèle d'efficacité énergétique (deux slides à rendre en fin de journée).
- **Jour 2** : Réalisation de la simulation. Programmation de la croissance du biofilm en supposant un profil de température dans le fluide interne au tube ; Programmation du profil de température pour une épaisseur de biofilm ; Programmation conjointe du profil de température et de la croissance du biofilm. Pour la fin de la matinée produire un programme qui permet de générer les profils de T et d'épaisseur de biofilm. Validation de la simulation en considérant une étude de référence. Etude de sensibilité des paramètres ; discussion des résultats. Rédaction d'une note écrite de 2,5 pages tout au plus (1ère partie de la note technique finale)
- **Jour 3 matin** : Déplacement au centre de recherche EDF à Chatou (78). Visite des dispositifs expérimentaux d'étude de biofouling ; Discussion des résultats déjà obtenus ; Présentation de la méthodologie de calcul des coûts d'investissement (CAPEX) et d'exploitation (OPEX)
- **Jour 3 après midi & Jour 4 matin** : Simulation des deux études de cas proposées par EDF en intégrant les aspects de coûts. Etablissement de différents scénarii d'investissement et de conduite de production.
- **Jour 5 matin** : Finalisation de la note écrite, préparation de deux oraux pour le chef de projet et pour le jury des experts
- **Jour 5 après midi** : deux oraux avec le chef de projet et les experts / discussions / auto-évaluation.

Déroulement, organisation du cours

« Biofouling une entrave à la production d'électricité couplée à un risque environnemental » est une activité pédagogique de type **Problem solving**. Elle permet de se confronter au caractère multiphysique (échange de chaleur ; biologie) d'un problème industriel, en mettant en œuvre les concepts introduits dans les cours de base de la **ST2 Bioingénierie** et dans les cours communs de mathématiques et d'informatique. Enfin l'élève est dans la posture d'un jeune ingénieur qui doit réaliser une note technique de simulation et présenter ses travaux à des experts techniques et à un chef de projet dans le cadre d'un investissement industriel.

L'enseignement est programmé sur une semaine "bloquée" (5 jours consécutifs). Il commence par une demi-journée de lancement de projet (lundi matin) avec le client. Pendant la semaine, les étudiants travaillent par groupes de 4 à 6 élèves, encadrés par une équipe d'enseignants-chercheurs du laboratoire LGPM. Les élèves visitent chez le client un laboratoire de recherche et développement dédié à cette problématique, pour se rendre compte des moyens à mettre en œuvre pour obtenir des données fiables et ainsi valider les simulations réalisées. Des points d'avancement seront réalisés quotidiennement : mise en commun des informations, apport méthodologique, compléments de cours. La semaine se termine par une séance de restitution le vendredi après-midi en présence d'expert et d'un chef de projet du client EDF.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation prendra en compte : l'assiduité individuelle, l'implication du groupe, la pertinence du modèle, son implémentation numérique, la qualité de la programmation (code), les présentations orales et les discussions (questions/réponses), le rapport technique de synthèse.

Support de cours, bibliographie

Diapositives des différentes présentations, polycopié de cours en Transfert Thermique, articles scientifiques seront fournis lors du cours

- Présentation du client : fichier « 20191203 EI02 Présentation Biofouling EDF »
- Extrait du Cours de Transfert Thermique sur les échangeurs : « Cours TT-chapitre 5-Echangeurs »
- Techniques de l'ingénieur P. Lemoine, Refroidissement des eaux Techniques de l'Ingénieur, b2480, 1986
- Article Melo et al. 1997 « Biofouling in water system » Experimental Thermal and Fluid Science 1997 ; 14:375-381
- Article Nebot et al. 2007 "Model for fouling deposition on power plant steam condensers cooled with seawater: Effect of water velocity and tube material" International Journal of Heat and Mass Transfer 50 (2007) 3351–3358
- Article Huang et al. 2011 "Effect of temperature on microbial growth rate-Mathematical analysis : The Arrhenius and Eyring-Polanyi Connections"
- Document EDF "Centrales Nucléaires et Environnement : prélèvements d'eau et rejets » EDP Sciences. Edition 2020
- Un premier jeu de données (Figure 1, Nebot et al. 1997) en fichier .txt et Excel

Moyens

- Equipe enseignante : F. Puel (PR, CS, Département MEP, LGPM), V. Pozzobon (IR, CS, Chaire industrielle de Biotechnologie CEBB, LGPM), T. Neveux (Ingénieur Recherche et Développement, EDF Chatou), P. Herbelin (Microbiologiste, chef de projet EDF Chatou)
- Taille de l'effectif : 24 à 30
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Synder-Python (logiciel libre)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

1. Estimer les différentes échelles de temps et d'espace mises en jeu dans un procédé ;
2. Choisir l'échelle la plus pertinente pour résoudre le problème posé ;
3. Distinguer et conserver les phénomènes prépondérants ;
4. Réduire de façon pertinente les dimensions et la complexité d'un problème ;
5. Établir un modèle multiphysique en agrégeant des connaissances provenant de champs disciplinaires différents (biologie, science des transferts, analyse technico économique) ;
6. Mettre en place numériquement un modèle mathématique ;
7. Avoir un regard critique sur un modèle et ses limitations ;
8. Présenter de façon structurée et argumentée une démarche de modélisation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1.1 : Analyser : Analyser les aspects scientifiques du comportement global d'un système à envergure limitée (par exemple partie isolée d'un système complexe), incluant l'identification des facteurs qui influencent son comportement.

C1.2 : Modéliser : Utiliser correctement un modèle présenté en cours, dans ses conditions de validité (modèle décrivant un phénomène, sans couplages).

C1.3 : Résoudre : Confronter les résultats d'une simulation à des mesures expérimentales en tenant compte des erreurs de mesure, incertitudes, à partir de la connaissance des ordres de grandeur.

C1.4 : Concevoir : Interpréter un cahier des charges fourni par le client en vue de la conception d'un système.

C4.1 : Identifier et reformuler : Interagir avec le client pour poser le cadre et (re)formuler son besoin en identifiant avec lui la valeur attendue. Distinguer le symptôme et la vraie question à traiter. Créer de la valeur pour le client en le questionnant.

C4.2 : Proposer une ou des solutions : Définir et présenter une ou des solutions qui répondent au besoin (re)formulé en qualifiant et quantifiant la valeur créée.

C7.1 : Convaincre sur le fond. Construire une argumentation rigoureuse, claire, pertinente et convaincante en fonction de l'objectif poursuivi et des caractéristiques de l'interlocuteur. Anticiper et évaluer des objections et des argumentations opposées.

C7.2 : Convaincre avec la forme : Identifier et utiliser les supports, canaux, outils, techniques et démarches les plus pertinents pour favoriser son projet de communication.

C8.1 : Construire le collectif : Créer le collectif –Se présenter et connaître l'autre –Ecouter en mode actif ses coéquipiers –Participer et influencer au sein de l'équipe –Questionner et s'approprier l'objectif commun.

C8.4 : Travailler en mode projet : Utiliser les méthodes classiques de développement et de gestion de projet (jalons, livrables, planning, ressources, organisation, risques, coûts, résultats) et les mettre en œuvre tout au long d'un projet simple en faisant les ajustements nécessaires.

1SC2293 – Amélioration des performances de microalgues par pression de sélection Darwinienne

Responsables : **Olivier Bernard, François Puel**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

L'enseignement " **Amélioration des performances de microalgues par pression de sélection Darwinienne** " est l'un des 4 Enseignements d'Intégration (EI) qui concluent la Séquence Thématique n°2 (ST2) Bioingénierie : Produire, Protéger, Réparer. Il relève plus particulièrement du volet Produire.

Une problématique relevant de la bioproduction à partir du vivant.

Les microalgues sont des usines cellulaires qui convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique tout en consommant du dioxyde de carbone. Diverses molécules à haute valeur ajoutée issues des microalgues, telles que des pigments, acides gras polyinsaturés (oméga 3 et 6), polysaccharides et protéines, présentent un fort intérêt industriel pour des applications variées en pharmaceutique, cosmétique, agro-alimentaire et aquaculture.

Ces microorganismes peuvent être cultivés à grande échelle, dans des photobioréacteurs fermés ou des bassins ouverts, en général sous forme de cellules en suspension, avant d'être récoltés pour l'extraction des molécules d'intérêt. Ces systèmes de production sont généralement placés à l'extérieur et donc soumis à des variations importantes de flux lumineux et de température à l'échelle de la journée et de la saison.

La plupart des microalgues cultivées ont été initialement prélevées dans la nature, et leur performance, résultant de millions d'années d'évolution dans la nature, sont largement perfectibles pour maximiser un critère biotechnologique. A l'image de la téosinte, ancêtre du maïs, qui a été améliorée par des siècles de sélection, le même chemin doit être effectué, de façon accélérée, pour ces espèces de microalgues sauvages.

Cet enseignement d'intégration vise à améliorer le dispositif de sélection de microalgues mis au point par cette start-up.

Il s'agit donc de stimuler, de façon naturelle, la productivité de certaines molécules d'intérêt en appliquant une pression de sélection pour faire émerger les individus d'intérêt. La pression à appliquer doit résulter d'une approche de modélisation. Les élèves développeront un modèle du procédé de culture continu dans lequel des stress périodiques sont appliqués afin que des individus présentant un trait d'intérêt émergent progressivement de la population. Différents stress pourront être évalués, tels que des variations de flux lumineux, de température ou de sels nutritifs. Au final, les élèves proposeront des recommandations de design du bioprocédé et de son pilotage par l'analyse des résultats issus du modèle.

Modélisation de la productivité du bioprocédé :

L'enseignement porte sur la modélisation du bioprocédé de sélection exploité par la société DareWin Evolution. La démarche à mettre en place sera la suivante :

- 1) Identifier dans la littérature scientifique les avantages écologiques apportés à la molécule ou à la fonction recherchée, et proposer les stress susceptibles d'améliorer la production du composé.
- 2) Rechercher et analyser des jeux de données représentant les conditions d'accumulation recherchées, et les compléter avec ceux de DareWin Evolution
- 3) Proposer un modèle mathématique représentant l'accumulation de composés d'intérêt en réponse à un stress.
- 4) Calibrer les paramètres de ce modèle à partir des données existantes
- 5) Analyser le modèle et proposer des stratégies de stress (stratégie de contrôle)
- 6) Démontrer en simulation que les stratégies de stress sont susceptibles de donner un avantage compétitif aux souches accumulant davantage de composé.

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

ST2

Prérequis

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

- **Présentation du projet par le partenaire industriel**
- **Analyse et formulation du problème**
 - o Recherche bibliographique
 - o Identification de l'objectif du modèle biologique et des stress associés
 - o Identification des données nécessaires
 - o Écriture des équations du modèle (bilans matière)
 - o Détermination des stress optimaux (problème de contrôle)
- **Implémentation numérique**
 - o Programmation
 - o Validation du modèle sur des configurations test
- **Étude paramétrique**
 - o Programmation
 - o Validation du modèle sur des configurations test
- **Présentation du livrable**
 - o Rédaction du rapport et présentation orale.

Déroulement, organisation du cours

« Amélioration des performances de microalgues par pression de sélection Darwinienne » est une activité pédagogique de type Problem solving. Elle permet de se confronter au caractère multiphysique d'un problème industriel, en mettant en œuvre les concepts introduits dans les cours de base de la ST2 Bioingénierie et dans les cours communs de mathématiques et d'informatique. L'élève est dans la posture d'un jeune ingénieur qui doit réaliser un rapport technique et présenter ses travaux à des experts et à un partenaire industriel dans un contexte de développement d'une start-up.

L'enseignement est programmé sur une semaine "bloquée" (5 jours consécutifs). Il commence par une demi-journée de lancement de projet (lundi matin) avec le client. Pendant la semaine, les étudiants travaillent par groupes de 4 à 6 élèves, encadrés par une équipe de chercheurs de l'INRIA et du laboratoire LGPM. Le travail sera distribué au sein de chaque groupe et chaque élève aura la responsabilité spécifique d'un des aspects du projet (modélisation, données, calibration, stress, ...).

Des points d'avancement (debriefing) seront réalisés quotidiennement : présentation de l'état d'avancement du projet par chaque équipe, discussion des résultats, apport méthodologique. La semaine se termine par une séance de restitution le vendredi après-midi en présence du client industriel.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation prendra en compte : l'assiduité individuelle, l'implication du groupe, la pertinence du modèle, son implémentation numérique, la qualité de la programmation (code), la présentation orale et les discussions, le rapport de synthèse.

Support de cours, bibliographie

Des articles scientifiques seront fournis lors du cours.

Moyens

- Équipe enseignante : O. Bernard (DR, Equipe Biocore de l'INRIA), C. Coubard (Ingénieur, doctorant, LGPM, CentraleSupélec), intervenant (Société DareWin)
- Taille de l'effectif : 24 à 30
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Synder-Python (logiciel libre).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

1. Estimer les différentes échelles de temps et d'espace mises en jeu dans un procédé ;
2. Choisir l'échelle la plus pertinente pour résoudre le problème posé ;
3. Discriminer et conserver les phénomènes prépondérants ;
4. Réduire de façon pertinente les dimensions et la complexité d'un problème ;
5. Établir un modèle multiphysique en agrégeant des connaissances provenant de champs disciplinaires différents (biologie, chimie, génie des procédés);
6. Implémenter numériquement un modèle mathématique ;
7. Avoir un regard critique sur un modèle et ses limitations ;
8. Présenter de façon structurée et argumentée une démarche de modélisation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques.

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

C7 : Savoir convaincre.

C8 : Mener un projet, une équipe.

1SC2294 – Systèmes de libération contrôlée d'agents pharmaceutiques

Responsables : **Morgan Chabanon**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

La conception d'un médicament implique la prise en compte de la cinétique de libération de son agent actif dans le sang ou les tissus cible, et le maintien de la concentration souhaitée aussi longtemps que possible. En effet, une libération trop lente de l'agent actif conduit à un sous-dosage et rend le médicament inefficace, tandis qu'une libération trop rapide peut mener à un surdosage toxique pour le patient. Pour cela, les agents actifs sont généralement formulés sous des formes spécifiques permettant de contrôler leur libération.

Malgré la variété des systèmes de relargage contrôlé de médicaments, leurs principes de fonctionnement reposent sur la physique des transferts d'espèce. Ainsi, dans la phase de conceptions, les outils de modélisation sont particulièrement utiles pour dimensionner et prédire les dynamiques de libération de médicaments avant la phase plus coûteuse de production et de test en laboratoire. Cela amène l'industrie pharmaceutique à faire appel à des ingénieurs afin de concevoir des systèmes qui augmentent l'efficacité du médicament et facilitent l'utilisation par le patient, tout en réduisant la fréquence d'administration et les effets secondaires liés au dosage.

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Présentation du projet

Analyse et formulation du problème

- Recherche bibliographique
- Identification de l'objectif du modèle (transferts, concentrations, cinétiques)
- Identification des données nécessaires
- Écriture des équations du modèle (bilans massiques, géométrie)
- Résolution analytique pour un cas simple
- Implémentation de méthode numérique dans cas complexe
- Programmation
- Validation du modèle sur des configurations test
- Présentation de cas d'étude par le client
- Développement d'une solution pour le client
- Présentation du livrable pour une audience de type "décisionnaires"
- Présentation du livrable pour une audience de type "techniciens"

Déroulement, organisation du cours

L'enseignement porte sur la modélisation spatiotemporelle de la concentration d'un agent actif pharmaceutique libéré par différents systèmes de relargage contrôlé. La démarche proposée est incrémentale : (i) Étude d'un cas simple classique (ex : agent libre en intraveineuse), formulation du problème, modélisation, résolution analytique, et dimensionnement pour un agent actif spécifique. (ii) Adaptation du modèle à un cas plus complexe dont la solution analytique n'est pas disponible (ex : multiples organes, nanoparticules). Développement d'un code de résolution numérique et exploitation pour dimensionnement. (iii) Application de la démarche à un cas d'étude présenté par le client (chercheur à l'institut Galien, Faculté de Pharmacie de l'UP Saclay, et restitution de la solution préconisée et de la stratégie de mise en place sous forme de soutenance.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation prendra en compte : l'assiduité individuelle, l'implication du groupe, la pertinence du modèle, son implémentation numérique, la qualité de la programmation, la présentation orale et la discussion (question/réponses).

Support de cours, bibliographie

Diapositives des différentes présentations, articles scientifiques et sites internet seront fournis lors du cours.

Moyens

Équipe enseignante : Morgan Chabanon (MCF, CS, laboratoire EM2C), Eloisa Barbel-Manaia (Chercheuse à l'Institut Galien, Faculté de Pharmacie, Université Paris-Saclay, CNRS)

Outils logiciels : Matlab et/ou Python

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

1. Estimer les différentes échelles de temps et d'espace mises en jeu dans un procédé ;
2. Choisir l'échelle la plus pertinente pour résoudre le problème posé ;
3. Discriminer et conserver les phénomènes prépondérants ;
4. Réduire de façon pertinente les dimensions et la complexité d'un problème ;
5. Établir un modèle multiphysique en agrégeant des connaissances provenant de champs disciplinaires différents (médecine, chimie, science des transferts) ;
6. Implémenter numériquement un modèle mathématique ;
7. Avoir un regard critique sur un modèle et ses limitations ;
8. Présenter de façon structurée et argumentée une démarche de modélisation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

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

C7 Savoir convaincre

C8 Mener un projet, une équipe

ST2 – SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS

Dominante : SCOC (Systèmes Connectés et Objets Communicants)

Language : Français

Campus : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Ce sujet traite la problématique du dimensionnement de systèmes de communication hertziens dans le cadre de systèmes civils (réseaux cellulaires 4G, 5G) ou de systèmes pour la gestion de crise (urgences vitales, forces de l'ordre, sécurité civile, forces armées, événementiel, couverture de zones désertiques, interventions en cas de catastrophes naturelles, résistance à des pannes, accidents, attaques...). La couverture et la continuité de service sont des éléments critiques. Le déploiement rapide d'un système de transmission en cas de crise quand aucune infrastructure n'est disponible peut s'appuyer sur plusieurs réseaux et/ou sur des composantes complémentaires de types relais terrestres, drones, ballons, satellites ...

Afin de concevoir ces systèmes de communication, il est nécessaire de modéliser tous les éléments de la chaîne de transmission et l'architecture du réseau. Ces modèles permettent de construire des plateformes de simulation qui conjointement à des scénarios de test permettent aux ingénieurs de comprendre les comportements en cas de défaillance ou d'incident.

Dans cette séquence, les élèves seront sensibilisés aux choix des modèles et à leurs incertitudes, à la qualité de service avec des exigences de couverture et de disponibilité proches de 100%.

Prérequis conseillés

Aucun ; avoir suivi au moins un des cours de sciences pour l'ingénieur « Réseaux et sécurité », « Rayonnement et propagation » ou « Physique des ondes » en SG1 serait un plus.

Modules contexte et enjeux : ces modules ont pour objectif de donner une vision de la thématique sous plusieurs angles, en particulier :

- Une introduction sur les systèmes de télécommunication suivie d'une conférence « télécom et société »
- Une table ronde en fin de séquence sur le thème « télécom et industrie », permettant de comprendre l'apport de la 5G pour l'industrie, par des experts de Thales, Orange, EDF, SNCF, ...

Cours spécifique (40 HEE) : Principes des télécommunications sans fil

- **Brève description :** L'objectif de ce cours est de donner aux étudiants les clés leur permettant de choisir les bons modèles dans le cadre d'une problématique d'ingénieur qui est ici de pouvoir transmettre une information en toute fidélité/sécurité en tenant compte des contraintes réglementaires (fréquence, puissance), des contraintes physiques (antennes, propagation, perturbations), des contraintes de qualité (taux d'erreur binaire, couverture) et des contraintes de trafic (loi d'Erlang). Ce cours présente également les éléments théoriques et applicatifs qui ont permis le développement des antennes intelligentes (antennes et réseaux), allant des technologies d'antennes spécifiques aux communications sans fils et mobiles, aux techniques de traitement de signal permettant de rendre ces antennes capables de s'adapter à des conditions de transmissions sévères, et qui font actuellement l'objet du développement de la 5G et des communications pervasives.

Enseignement d'intégration : Dimensionnement d'un système de communication mixant modélisation, expérimentation, simulation, mesure, identification de paramètres

- **Partenaires associés :** Thales, Nokia, Bouygues Télécom
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay
- **Brève description :** Les trois enseignements d'intégration de la ST2 SCOC consisteront à dimensionner un ensemble de liaisons hertziennes pour établir (ou rétablir) des communications sans fil. Plusieurs scénarios pourront être envisagés : établissement de communications dans un pays en voie de développement, rétablissement de communications dans une île après le passage d'un ouragan, prévision du dimensionnement d'un réseau cellulaire national à horizon 5 ans, Les étudiants dimensionneront un réseau de communication à partir des caractéristiques techniques du matériel de nos partenaires industriels (puissance, fréquence, ...), de

modèles de propagation (topographie du lieu, distance, ...) ainsi que de modèle de trafic (nombre de communication, débit, ...). Chaque EI pourra mettre l'accent sur une problématique particulière : contraintes économiques, rapidité du déploiement (utilisation de drones), dimensionnement des antennes, modélisation du canal à partir de mesures, prédiction à 5 ans, ... Durant l'EI, les étudiants seront suivis par des enseignants-chercheurs de l'école ainsi que par des ingénieurs des entreprises partenaires (Thales, Nokia, Bouygues Télécom).

1SC2310 – Principes des télécommunications sans fil

Responsables : **Jacques ANTOINE**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT SIGNAL, INFORMATION, COMMUNICATION**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est une introduction aux systèmes de télécommunication utilisant des transmissions hertziennes. Du télégraphe de Chappe (1794) aux systèmes cellulaires actuellement déployés (2G/3G/4G) ou en cours de déploiement (5G), la problématique de transmettre à distance une information d'une source (émetteur) à un destinataire (récepteur) de façon fiable et efficace reste source d'innovation.

Afin de concevoir, évaluer, optimiser ou paramétrer un système de télécommunication terrestre ou spatiale, il est nécessaire de comprendre le rôle de chaque bloc qui le compose et d'en pouvoir modéliser l'intégralité ou une partie. Ce cours aborde la modélisation des systèmes de transmission à différentes échelles, aussi bien au niveau des phénomènes physiques (antennes, rayonnement, propagation des ondes, bruits, bilan énergétique), qu'au niveau des traitements de l'information entre une émetteur et un récepteur (codage, modulation, amplification, diversité, efficacité spectrale) ainsi qu'au niveau du système (architecture du réseau, gestion des ressources spectrales et énergétiques, gestion des flux de données, qualité de service).

Ce cours présente les concepts, les modèles et les outils fondamentaux pour la compréhension de ces thématiques, en vue de les utiliser pour l'analyse et le dimensionnement de systèmes de communications répondant à des configurations pratiques.

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

ST2

Prérequis

Aucun ; avoir suivi au moins un des cours de sciences pour l'ingénieur « Réseaux et sécurité », « Rayonnement et propagation » ou « Physique des ondes » en SG1 serait un plus.

Plan détaillé du cours (contenu)

Antennes :

- Macro-modèles basés sur la théorie du rayonnement
- Principales typologies d'antennes pour les communications
- Réseaux d'antennes

Modèles de propagation :

- Propagation des ondes électromagnétiques en espace libre
- Bilan de puissance d'une liaison (équation de Friis / des télécommunications)
- Modèles de propagation déterministes et semi-empiriques
- Modèles de propagation en milieu complexe
- Fading et diversité

Transmission :

- Eléments constitutifs d'une chaîne de transmission
- Codage, modulation, amplification
- Efficacité spectrale et critères de performances (seuil de sensibilité, débit binaire)
- Fiabilité d'une liaison (taux d'erreur, taux de disponibilité)

Système :

- Communications hertziennes à grande distance
- Réseaux cellulaires
 - Architecture, modèles de couverture des cellules, gestion du spectre, modèles d'interférence

- Gestion des flux de données et modèles de trafic (lois d'Erlang), services et critères de qualité de service (voix, vidéo, téléchargements de fichiers)

Les TD mettront en application les modèles introduits pour analyser et dimensionner plusieurs aspects constitutifs des systèmes de transmission sans fil, notamment pour les communications à grande distance et dans les réseaux cellulaires, en mettant en évidence les critères utilisés dans le choix des antennes et des modèles de propagation, des modulations et codages, et du trafic et topologie des réseaux.

Déroulement, organisation du cours

9 heures de cours et 9 heures de TD

Organisation de l'évaluation

Examen final (80%) : examen écrit de 2h. Contrôle continu (20%) : 1 quiz.

Support de cours, bibliographie

- Transparents du cours
- S. R. Saunder, A. A. Zavala ; Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems
- K.L. Du et al., Wireless Communication Systems: From RF Subsystems to 4G Enabling Technologies, Cambridge University Press, 2010
- Réseaux GSM-DCS ; X. Lagrange, P. Godlewski, S. Tabbane ; Hermes

Moyens

- Equipe enseignante : Jacques Antoine, Andrea Cozza, Salah-Eddine Elayoubi, S. Hoteit, F. Jouvie, D. Lecoq, D. Picard, A. Wautier
- Taille des TD : 25
- Outils logiciels : Matlab

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

L'objectif de ce cours est de donner aux étudiants les clés leur permettant de choisir les bons modèles dans le cadre d'une problématique d'ingénieur qui est ici de pouvoir transmettre une information en toute fidélité en tenant compte des contraintes réglementaires (fréquence, puissance), des contraintes physiques (antennes, propagation, perturbations), des contraintes de qualité (taux d'erreur binaire, couverture) et des contraintes de trafic (loi d'Erlang).

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

- Modéliser les aspects physiques des transmissions sans fils
- Choisir les bons modèles de propagation selon la nature et complexité de l'environnement (espace libre, urbain, indoor, etc.)
- Prendre en compte les contraintes normatives et physiques
- Connaître les principales modulations utilisées dans les systèmes radio modernes
- Réaliser un bilan de liaison et en évaluer la qualité de service (taux d'erreur binaire, couverture)
- Evaluer l'intérêt d'utiliser des solutions d'antennes dites intelligentes afin de contrer/exploiter certaines caractéristiques de milieux complexes
- Comprendre les phénomènes à la base du fading et les solutions disponibles permettant de le maîtriser
- Comprendre l'impact du trafic sur le dimensionnement d'un système de transmission
- Savoir choisir le bon modèle de trafic en fonction du type d'information à transmettre (voix, vidéo, data)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Validant le jalon 1 des compétences C1.2 et C1.4.

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

L'évaluation de ces compétences est prise en compte dans l'évaluation des compétences de l'enseignement d'intégration

1SC2391 – Rétablissement des télécommunications après une catastrophe naturelle

Responsables : Raul De Lacerda

Département de rattachement : DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS

Langues d'enseignement : FRANCAIS

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

L'enseignement « Rétablissement de l'infrastructure des communications sans fil après une catastrophe naturelle » est l'un des 3 Enseignements d'Intégration (EI) qui concluent la Séquence Thématique n°2 (ST2) SCOC : Systèmes Communicants et Objets Connectés. Il apporte un éclairage concret sur la mise en œuvre d'un réseau de communication sans-fil après le passage d'un ouragan. La mise en place d'une solution résiliente prend en considération les facteurs géographiques et humains de l'île.

"Les opérations de secours se basent sur un réseau de communication rapide à mettre en œuvre"

Ce sujet traite du cas réel d'une catastrophe naturelle se déroulant sur l'île de Saint Martin. Située dans les Caraïbes, cette île, comme celles qui l'entourent, subit de la mi-mai à fin novembre de nombreux ouragans. De forces diverses, il arrive que ces ouragans soient d'une puissance suffisante pour détruire toutes les installations liées au réseau de communication. Ce fut le cas avec l'ouragan Irma en 2017. C'est dans ce cadre que nous allons nous placer. Toute l'infrastructure des communications sans-fil de l'île a été balayée par l'ouragan. Votre travail consiste à étudier les caractéristiques de l'île et de proposer une solution afin de mettre en place un réseau de télécommunication résilient sur l'ensemble de l'île pour une utilisation à long terme.

Le dimensionnement du réseau devra prendre en compte la distribution des populations sur l'île pour assurer un service adapté aux principales zones de concentrations démographiques. La qualité des communications est un facteur essentiel pour assurer une couverture 4G à tous les utilisateurs. Votre solution devra comporter le dimensionnement d'une liaison hertzienne entre le réseau de l'île de Saint Martin et l'île voisine (épargnée par l'ouragan) qui est connectée au continent par le biais d'une fibre optique. Votre étude devra s'appuyer sur des données réalistes. Elle fera appel à des modèles simples de propagation vus dans le cours spécifique de la séquence thématique. L'utilisation d'un logiciel de simulation pour vérifier la qualité de la couverture radio et la pertinence de la distribution des antennes relais est une option parmi d'autres pour argumenter vos choix d'architecture.

"La réalisation de votre mission prendra en compte la dimension temps"

On définira plusieurs jalons essentiels à votre projet :

- (i) Il est nécessaire de proposer les caractéristiques du réseau de communication d'urgence à mettre en place. Cette solution doit assurer la couverture des deux aéroports de l'île et des capitales Marigot et Philipsburg. Cette solution est à mettre sur pied dans une durée qui ne dépasse pas 12h après le passage de l'ouragan pour organiser les secours sur l'île. Le maître-mot est « urgence ».
- (ii) La deuxième solution consiste à proposer un réseau intermédiaire qui assure la couverture radio de toute la population de l'île. La capacité du réseau est un paramètre à prendre en compte dans le dimensionnement de la solution proposée. Toutes les solutions doivent être chiffrées et argumentées.
- (iii) Les solutions proposées doivent prendre en charge les liens « Backhaul » entre cellules (antennes relais). Cela est essentiel au fonctionnement du réseau de communication.
- (iv) Il est nécessaire de dimensionner un lien hertzien avec l'île voisine pour garder le contact avec le reste du monde. Ce lien doit supporter la capacité de toute l'île de Saint Martin.
- (v) La solution pérenne doit être résiliente et économiquement viable. Le partenaire de cet EI est Nokia. Il mettra à votre disposition les différentes solutions technologiques présentes dans son catalogue. L'approvisionnement énergétique de vos solutions est de votre ressort. Nokia dispose de solutions solaires que vous devez prendre en ligne de compte.

Le sujet ainsi proposé a pour objectif de vous mettre dans la posture de l'ingénieur technico-commercial qui doit dimensionner un réseau de communication sans-fil en fonction des situations géographiques des émetteurs et des utilisateurs, des antennes utilisées ou de la nature du modèle de propagation exploité. Selon le modèle de propagation choisi, il vous sera nécessaire de réajuster votre solution ainsi que ses répercussions sur la résilience et le coût. Selon le choix du modèle exploité vous pouvez négocier le coût final de votre solution. Votre stratégie consiste à chiffrer les différentes options en fonction du compromis couverture – résilience – coût. Vous aurez deux experts de Nokia qui vous accompagneront toute la semaine pour évaluer vos propositions et guider vos choix vers une solution concrète.

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Jour 1

- (i) Prise en main du problème et analyse des solutions technologiques proposées par Nokia.
- (ii) Identification du contexte de l'île et formulation d'une proposition de couverture pour les aéroports de l'île de Saint Martin et les capitales Marigot et Philipsburg.
- (iii) Un premier chiffrage est attendu pour la fin de la journée (16h) pour un premier livrable : 5 slides de description du problème et de la première solution de couverture pour les services de secours.

Jour 2

- (i) Identification des besoins de chaque zone de l'île pour dimensionner les capacités de chaque nœud du réseau.
- (ii) Évaluer les niveaux des signaux radiofréquences pour tester la couverture radio en fonction du modèle de propagation utilisé et les positions géographiques des nœuds du réseau proposé. Validation des hypothèses de calcul via un logiciel de simulation. Il faut prévoir un échange avec un expert de Nokia en fin de journée pour lui exposer votre stratégie.
- (iii) Couverture et capacité ; un équilibre à trouver.

Jour 3

- (i) Dimensionnement des capacités des différents nœuds du réseau
- (ii) dimensionnement du faisceau hertzien avec l'île voisine

Jour 4

- (i) Etablissement d'un bilan de la solution à exposer devant les experts de Nokia à la fin du jour 3
- (ii) La matinée du Jour 4 doit vous permettre de peaufiner votre présentation finale

Jour 5

Vos présentations orales sont prêtes. Les auditions se dérouleront la matinée devant les experts de Nokia-Saclay et distribution des prix

Déroulement, organisation du cours

Ce cours « **Rétablissement de l'infrastructure des communications sans fil après une catastrophe naturelle** » est une activité pédagogique de type « **Problem-Solving** ». Il permet de se confronter à un problème de télécommunication concret. L'élève doit travailler en équipe pour réaliser une mission que le groupe doit présenter et argumenter selon les critères techniques et économiques. L'enseignement est programmé sur une semaine "bloquée". Pendant la semaine, les étudiants travaillent par groupes de 5 à 6 élèves, encadrés par une équipe composée d'experts de Nokia et d'enseignants-chercheurs de CentraleSupélec. La communication avec l'équipe d'encadrement est horizontale et les sollicitations sont prises en charge pendant toute la semaine.

Des points d'avancement seront réalisés quotidiennement.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation prendra en compte : l'assiduité individuelle, l'implication dans le travail de groupe, la pertinence des choix technico-économiques, les présentations orales et les discussions avec les experts.

Support de cours, bibliographie

«Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems», Simon R. Saunders, Alejandro Aragón-Zavala

Moyens

Équipe enseignante :

A. Wautier (PR, CS, L2S),

S. Hoteit (MCF, CS, L2S),

R. de Lacerda (MCF, CS, L2S)

Equipe d'experts de Nokia :

S. Chabbouh

Taille de l'effectif : 30 à 35

Outils logiciels : CloudRf

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Comprendre les enjeux de la mise en œuvre d'un réseau de télécommunication pour des situations exceptionnelles
- Choisir les composants du réseau à partir des caractéristiques techniques imposées par un client
- Construire un argumentaire technique et peaufiner une offre commerciale
- Hiérarchiser les contraintes d'un problème de modélisation
- Établir un raisonnement technique sur la base de paramètres complexes et de natures différentes
- Construire une solution à partir d'un modèle simple et proposer des alternatives basées sur des modèles plus complexes
- Avoir un regard critique sur une solution et en justifier les limites
- Présenter de façon argumentée une démarche de résolution de problème

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

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

C7 Savoir convaincre

C8 Mener un projet, une équipe

1SC2392 – Dimensionnement d'un réseau de télécom pour gestion de crise

Responsables : **Andrea Cozza**

Département de rattachement : **DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Les enseignements d'intégration de la ST2 SCOC consisteront à dimensionner un ensemble de liaisons hertziennes pour établir (ou rétablir) un réseau de communications sans fil.

Plusieurs scénarios pourront être envisagés : établissement d'un réseau de communications dans un pays en voie de développement, rétablissement du réseau de communications dans une île après le passage d'un ouragan,

Les étudiants dimensionneront le réseau à partir des caractéristiques techniques du matériel de nos partenaires industriels (puissance, fréquence, ...), de modèles de propagation (topographie du lieu, distance, ...) ainsi que de modèles de trafic (nombre de communications, débit, ...).

Chaque EI mettra plus particulièrement l'accent sur une problématique : contraintes économiques, rapidité du déploiement (utilisation de drones), dimensionnement des antennes, modélisation du canal à partir de mesures,

Durant l'EI, les étudiants seront suivis par des enseignants-chercheurs ainsi que par des ingénieurs des entreprises partenaires (Thales, Nokia, Bouygues Télécom, ...)

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Jours 1-2 : Phase « premier secours »

1. Prise en main du problème et analyse des solutions technologiques proposées par Thales
2. Identification du contexte de l'île et formulation d'une proposition de couverture pour les zones prioritaires de l'aéroport et de la capitale

3. Des échanges avec les experts de Thales seront organisés, afin de poser vos questions et valider votre solution technique

Jours 2 : Phase « consolidation »

1. Identification des besoins de chaque zone de l'île pour dimensionner les capacités de chaque nœud du réseau
2. Évaluer les niveaux des signaux radiofréquences pour tester la couverture radio en fonction du modèle de propagation utilisé et les positions géographiques des nœuds du réseau proposé
3. Couverture et capacité ; un équilibre à trouver.

Jours 3-4 : dimensionnement d'antennes et visite du site Thales LAS

1. Dimensionnement d'un lien par faisceau Hertzien avec l'île de St. Martin
2. Dimensionnement d'une antenne de station de base pour la couverture d'une cellule de téléphonie mobile.

Jour 5 : soutenance

Les auditions se dérouleront devant les experts de Thales

Une visite du site de Thales LAS (Limours) sera organisée dans l'après-midi du troisième jour. Elle permettra de découvrir les activités de Thales autour des antennes et des radars.

Déroulement, organisation du cours

Ce cours est une activité pédagogique de type Problem solving. Il permet de se confronter à un problème de télécommunication concret. L'élève doit travailler en équipe pour réaliser une mission que le groupe doit présenter et argumenter selon les critères techniques et économiques.

L'enseignement est programmé sur une semaine "bloquée". Pendant la semaine, les étudiants travaillent par groupes de 5 à 6 élèves, encadrés par une équipe composée d'experts de Thales et d'enseignants-chercheurs de CentraleSupélec.

Des points d'avancement seront réalisés quotidiennement. La communication avec l'équipe d'encadrement est horizontale et les sollicitations sont prises en charge pendant toute la semaine.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation prendra en compte : l'assiduité individuelle, l'implication dans le travail de groupe, la pertinence des choix technico-économiques, les présentations orales et les discussions avec les experts industriels (questions /réponses).

Support de cours, bibliographie

Polycopiés et documents du cours spécifique.

Présentation des partenaires de l'enseignement d'intégration.

Moyens

- Equipe enseignante : J. Antoine, A. Cozza, D. Lecointe
- Equipe d'experts de Thales
- Taille de l'effectif : 30 à 35
- Outils logiciels : Matlab, Excel, CloudRf

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

1. Comprendre les enjeux de la mise en œuvre d'un réseau de télécommunication pour des situations exceptionnelles
2. Choisir les composants du réseau à partir des caractéristiques techniques imposées par un client
3. Construire un argumentaire technique et peaufiner une offre commerciale
4. Hiérarchiser les contraintes d'un problème de modélisation
5. Établir un raisonnement technique sur la base de paramètres complexes et de natures différentes
6. Construire une solution à partir d'un modèle simple et proposer des alternatives basées sur des modèles plus complexes
7. Avoir un regard critique sur une solution et en justifier les limites
8. Présenter de façon argumentée une démarche de résolution de problème

Description des compétences acquises à l'issue du cours

L'enseignement d'intégration permettra de valider les quatre compétences suivantes :

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

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

C7 : Savoir convaincre

C8 : Mener un projet, une équipe

1SC2393 – Prévoir le dimensionnement du réseau national d'un opérateur

Responsables : **Salah-Eddine El Ayoubi**

Département de rattachement : **DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce module est l'un des 3 Enseignements d'Intégration (EI) qui concluent la Séquence Thématique n°2 (ST2) SCOC : Systèmes Communicants et Objets Connectés. Il apporte un éclairage concret sur la mise en oeuvre d'un réseau de communication sans-fil 4G/5G dans une ville moyenne. Ceci inclut l'estimation la capacité radio à déployer afin d'assurer la Qualité de Service cible. Une deuxième étape consiste à estimer la quantité de spectre nécessaire dans chaque site et éventuellement de placer les nouveaux sites dans la ville. Les deux technologies considérées sont la 4G et la 5G.

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

ST2

Prérequis

Cours de ST2

Plan détaillé du cours (contenu)

Jour 1 :

(i) Identification du contexte de la ville et formulation d'une proposition de couverture par un outil de bilan de liaison radio.

(ii) Visite des locaux de Bouygues Telecom

Jour 2 :

(i) dimensionnement du réseau d'accès mobile pour la 4G.

(ii) dimensionnement des liens de backhaul par faisceaux hertziens

Jour 3 :

(i) prévision des besoins de spectre pour la 5G en fonction des prédictions de trafic

(ii) proposition d'un plan de déploiement de la 5G sur les 5 ans à venir

Jour 4 :

Poursuite des travaux et affinage de la solution

Jour 5 : Soutenances

Déroulement, organisation du cours

Ce cours est une activité pédagogique de type Problem solving. Il permet de se confronter à un problème de télécommunication concret. L'élève doit travailler en équipe pour réaliser une mission que le groupe doit présenter et argumenter selon les critères techniques et économiques.

L'enseignement est programmé sur une semaine "bloquée". Pendant la semaine, les étudiants travaillent par groupes de 5 à 6 élèves, encadrés par une équipe composée d'experts de Bouygues Telecom et d'enseignants-chercheurs de CentraleSupélec.

Des points d'avancement seront réalisés quotidiennement. La communication avec l'équipe d'encadrement est horizontale et les sollicitations sont prises en charge pendant toute la semaine

Organisation de l'évaluation

L'évaluation prendra en compte : l'assiduité individuelle, l'implication dans le travail de groupe, la pertinence des choix technico-économiques, les présentations orales et les discussions avec les experts (questions /réponses). La compétence C1 est évaluée sur la base de la richesse de la proposition technique (proposer plusieurs solutions, discuter de la complexité/pertinence de chacune).

La compétence C4 est évaluée sur la base de l'efficacité de la solution technique proposée en termes de maîtrise de coûts et d'offre de qualité de service.

La compétence C7 est évaluée sur la base de la qualité de la présentation orale.

LA compétence C8 est évaluée sur la base de l'attitude durant la semaine, et de l'interaction au sein de l'équipe et avec les encadrants.

Moyens

Encadrement par des enseignants chercheurs de CentraleSupélec et des ingénieurs de Bouygues Telecom

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre les principes généraux de conception d'un réseau cellulaire dans un contexte pratique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Complexité : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C4 : Création valeur : efficacité, performance et fiabilité de la solution technique, impact environnemental et sociétal.

C7 Convaincre : présenter une proposition d'une manière à permettre à un interlocuteur d'en reconnaître la pertinence

C8 équipe projet : Mener un projet, une équipe / travailler en mode projet

ST2 – TRANSITION ENERGETIQUE

Dominante : ENE (Energie)

Langues : Français / 1 groupe de TD en Anglais pour le cours spécifique

Campus : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

L'objectif de ce sujet est double : d'une part présenter les grands enjeux de la transition énergétique (contexte mondial et français, verrous techniques et scientifiques, enjeux économiques, humains, climatiques), d'autre part découvrir et mettre en œuvre les concepts et méthodes de modélisation en engineering. Les enseignements d'intégration mettront en œuvre la modélisation des transferts énergétiques dans deux secteurs clés de la transition énergétique : les transports (recharge sans contact) et le bâtiment (modélisation énergétique d'un quartier).

Prérequis conseillés

Pas de prérequis, mais il est conseillé d'avoir suivi Énergie électrique ou Sciences des Transferts

Modules contexte et enjeux : ils comporteront un ensemble de conférences introductives dans lesquelles un panorama des grands enjeux de la transition énergétique sera dressé, et plusieurs interventions thématiques d'acteurs variés du secteur de l'énergie où on examinera plus spécifiquement les enjeux économiques, géopolitiques et sociétaux de la thématique. Un point sera fait sur les verrous technologiques et scientifiques majeurs liés à la transition énergétique.

Cours spécifique (40 HEE) : Étude et modélisation des systèmes de conversion électromagnétique et transfert thermique instationnaire

- **Brève description :** Dans une première partie, ce cours apportera aux étudiants un ensemble de connaissances nécessaires pour aborder l'enseignement d'intégration portant sur la modélisation d'un coupleur pour les systèmes de transfert d'énergie sans contact par induction. Il abordera en priorité le principe de conversion électromagnétique et les différentes approches de modélisation pour résoudre un problème dans le domaine de l'énergie. Il s'articule autour des circuits électrique et magnétique, du couplage électromagnétique et des différentes approches de modélisation.
- De la même manière, dans une deuxième partie, ce cours fournira aux étudiants l'ensemble des connaissances nécessaires à l'exécution de l'enseignement d'intégration consacré à la modélisation de la consommation énergétique d'un ensemble de bâtiments. On y présentera les éléments théoriques liés à la modélisation mathématique et à la simulation numérique de transferts énergétiques instationnaires. Le cours se conclura par la présentation d'un logiciel de simulation thermique dynamique de bâtiments ; pendant la dernière séance, les étudiants utiliseront ce logiciel pour résoudre des problèmes de simulation de comportement énergétique instationnaire dans des configurations simples.

Enseignement d'intégration n°1 : Etude, modélisation et validation expérimentale d'un système de transfert d'énergie sans contact.

- **Partenaires associés :** VeDeCoM, Safran Electrical & Power
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay
- **Brève description :** La technique de la recharge sans contact connaît un essor croissant ces dernières années. Le principe consiste à réaliser un transfert d'énergie entre deux systèmes, sans aucune connexion électrique entre eux. Cette technique trouve un intérêt dans différents domaines allant des téléphones mobiles jusqu'au véhicule électrique. Au cours de cet enseignement d'intégration, les élèves travailleront sur la modélisation d'un système de transfert d'énergie sans contact par induction.

Après la compréhension du principe de transfert d'énergie, la première étape de l'étude sera consacrée à la mise en place d'une démarche de modélisation d'un coupleur électromagnétique dans le but de déterminer les paramètres électriques. Pour atteindre cet objectif, les élèves utiliseront un outil de modélisation électromagnétique

«COMSOL» et les résultats obtenus par modélisation seront validés expérimentalement. Pour réduire le rayonnement électromagnétique, les élèves devront également prédire le champ magnétique rayonné par le coupleur et proposer des solutions pour le rendre conforme aux normes.

La seconde étape portera sur la détermination des condensateurs de compensation et sur la mise en place de l'électronique associée pour l'adaptation du système à la source d'alimentation et à la charge. L'ensemble de la chaîne, de la source à la charge, sera simulé sous matlab/simulink ou LTSpice dans les domaines fréquentiel et temporel. Dans cette étape, les élèves devront quantifier les grandeurs électriques (courants, tensions, rendement, ...). Enfin, une validation de l'ensemble de la démarche de modélisation sera réalisée sur maquette expérimentale.

Enseignement d'intégration n°2 : Modélisation de la consommation énergétique d'un ensemble de bâtiments

- **Partenaire associé** : EDF
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : les élèves aborderont une problématique d'ingénieur portant sur la modélisation des transferts énergétiques d'un quartier existant et sur la définition d'une stratégie de rénovation pour transformer ce quartier en un quartier à énergie positive. La première étape du travail consistera à rassembler les données nécessaires à l'évaluation énergétique des différents bâtiments du quartier. Il faudra ensuite utiliser le logiciel présenté lors du cours spécifique n°2 pour faire un diagnostic thermique des bâtiments, moyenné sur l'alternance jour/nuit et sur toute l'année. Une analyse des points critiques impactant fortement la consommation énergétique de l'ensemble de bâtiments permettra alors de faire des choix de rénovation énergétique de l'ensemble, et ces choix seront évalués au moyen du logiciel. A la fin de cette activité d'intégration, les étudiants devront être en mesure de proposer un ensemble d'actions de rénovation énergétique, et ils auront quantifié le gain de ces mesures en termes de réduction de la facture énergétique de l'ensemble de bâtiments.

1SC2410 – Étude et modélisation des systèmes de conversion électromagnétique et transfert thermique instationnaire

Responsables : **Mohamed Bensetti**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT SYSTÈMES D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours apportera aux élèves un ensemble de connaissances nécessaires pour aborder l'enseignement d'intégration. Il s'articule autour du développement de modèles permettant d'étudier les systèmes de conversion électromagnétique et les transferts thermiques instationnaires dans le domaine des bâtiments. Il abordera, d'une part, les notions de base sur les circuits électriques et magnétiques ainsi que les principes des couplages magnétiques afin d'assurer la compréhension du fonctionnement des systèmes électromagnétiques et d'autre part, les concepts fondamentaux des transferts thermiques instationnaires (écriture des équations d'évolution, résolution de quelques problèmes académiques typiques, mise en évidence de longueurs et temps caractéristiques). Plusieurs approches de modélisation (analytiques, semi-analytiques et numériques) sont présentées pour résoudre des problèmes électromagnétique ou/et thermique.

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

ST2

Prérequis

Il est préférable d'avoir suivi les cours de science pour l'ingénieur : énergie électrique et sciences des transferts

Plan détaillé du cours (contenu)

Partie électromagnétique :

- Principe de base des circuits électrique et magnétique (calcul des puissances, calcul du champ magnétique, notion du circuit magnétique, inductances propre et mutuelle, énergie magnétique, ...)
- Différentes approches de modélisation (analytique et numérique) pour résoudre un problème électromagnétique
- Transfert d'énergie sans contact par induction
 - Différentes approches de modélisation d'un coupleur pour la détermination des éléments du schéma électrique équivalent
 - Rayonnement électromagnétique et la minimisation du champ magnétique
 - Compensation de l'énergie réactive
 - Convertisseurs de puissance (onduleur/redresseur)
 - Calcul des pertes et du rendement énergétique
- TD 1 : Analyse analytique d'un système de conversion d'énergie électromagnétique
- TD 2 et 3 : Modélisation d'un système magnétique sous COMSOL
- TD 4 : Étude du rayonnement électromagnétique

Partie thermique :

- Équation 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.
- Application à une géométrie semi-infinie (réponse aux temps courts-suite); cas des milieux d'extension finie ; temps caractéristiques de conduction et de transfert conducto-convectif, nombre de Biot ; quelques méthodes analytiques, semi-analytiques et numériques de résolution de problèmes de conduction thermique instationnaire.
- TD 5 : refroidissement d'une bille transparente + inertie thermique d'un bâtiment (début)

- TD 6 : inertie thermique d'un bâtiment (fin) avec résolution semi-analytique et numérique de l'équation de la chaleur
- TD 7 : Présentation de la modélothèque BuildSysPro, de sa structure, de sa modularité ; illustration de la notion d'assemblage de modèles élémentaires pour construire un modèle de bâtiment complet ; présentation des bibliothèques de bâtiments déjà présents dans la modélothèque ; initiation aux bases du développement et de l'intégration de nouveaux modèles de bâtiments.
- TD 8 : manipulations en commun de la modélothèque, notamment autour des différentes notions qui seront utiles lors de l'enseignement d'intégration : choix d'un modèle de bâtiment, modification des propriétés du bâtiment, intégration de nouveaux modèles, lancement de simulations et post-traitement.

Déroulement, organisation du cours

- 4 séances de cours de 1,5h
- 8 séances TD de 1,5h (groupe de 25 élèves) avec un groupe enseigné en Anglais

Organisation de l'évaluation

Deux contrôles continus en séance de TD.

1 examen écrit de 2h : 60min pour la partie électromagnétique et 60 min pour la partie thermique. La note finale est la moyenne des notes obtenues à chacune des parties.

Pondération pour le calcul de la note finale de l'unité d'enseignement : 10% pour chacun des 2 contrôles continu et 80% pour l'examen final

Support de cours, bibliographie

- Supports de cours sous forme ppt
- Principes et composants de l'électrotechnique - support de cours - G. PIERRON
- Site internet du logiciel Comsol : <https://www.comsol.fr/models>
- J. Taine, F. Enguehard, E. Iacona, "Transfert thermiques - Introduction aux transferts d'énergie", 5ème édition, Dunod 2014.
- F. Incropera, D. Dewitt, T. Bergman, A. Lavine, " Fundamentals of heat and mass transfer", 6ème édition, Wiley, 2007
- Site internet d'installation du logiciel BuildSysPro et tutoriels d'utilisation du logiciel : <https://github/edf-enerbat/BuildSysPro>

Moyens

Équipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux):

- Partie électromagnétique : Mohamed Bensetti, Loïc Queval, Mike Kirkpatrick, Théodore Cheriére
- Partie thermique : Sean Mcguire, Nicolas Vaysse et Mathieu Niezgoda.
- Taille des TD : 25 élèves
- Outils logiciels : Comsol/Matlab
- Possibilité de suivre le TD en langue Anglaise

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Au terme de ce cours, les élèves seront capables de :

- Étudier, analyser et modéliser des problèmes électromagnétique et/ou thermique.
- Appliquer les concepts fondamentaux des transferts thermiques stationnaires pour étudier les performances énergétiques d'un bâtiment.
- Modéliser un système de recharge sans contact par induction et déterminer les paramètres électrique et magnétique.
- Mettre en œuvre des modèles adaptés pour modéliser des problèmes électromagnétique ou/et thermique.
- Utiliser des outils de modélisation multiphysique (électromagnétique et thermique).
- Valider et analyser des résultats obtenus par modélisation.

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.

L'évaluation de ces compétences est prise en compte dans l'évaluation des compétences de l'enseignement d'intégration

1SC2491 – Etude, modélisation et validation expérimentale d'un système de transfert d'énergie sans contact.

Responsables : **Mohamed Bensetti**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement est réalisé en collaboration avec l'entreprise Renault et l'institut Vedecom. Il portera sur la modélisation pour le dimensionnement d'un système de recharge sans contact par induction. L'accent sera mis sur le coupleur magnétique. En complémentarité avec les aspects fonctionnels liés au système de recharge, la problématique de l'exposition au champ magnétique généré par le coupleur sera explorée. Cette problématique sociétale sera traitée en proposant des solutions permettant de réduire le champ magnétique rayonné pour le rendre conforme aux normes en vigueur. L'approche de modélisation envisagée doit pouvoir prendre en compte simultanément les différents aspects du problème posé (formes géométriques, nature des matériaux, blindage, désalignement, environnement,...). La méthodologie proposée s'appuiera sur la combinaison d'un outil de modélisation électromagnétique (COMSOL) avec un des outils de type circuit (LTSpice et matlab - simulink).

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

ST2

Prérequis

Il est préférable d'avoir suivi le cours de sciences pour ingénieur : énergie électrique

Plan détaillé du cours (contenu)

- Modélisation du coupleur magnétique :
 - Modélisation sous Comsol du coupleur magnétique en prenant en considération ses propriétés physiques et géométriques
 - Mise en place d'une démarche de modélisation pour la détermination des paramètres du modèle électrique équivalent du coupleur
 - Validation expérimentale
- Construction du modèle circuit du système de recharge sans contact
 - Détermination du mode de compensation et calcul des valeurs des condensateurs
 - Analyse des résultats sous LTSpice ou matlab/Simulink
 - Étude et insertion du convertisseur de puissance (Onduleur)
 - Analyse et validation des résultats obtenus
 - Détermination du rendement énergétique.
- Étude du rayonnement électromagnétique
 - Détermination du rayonnement électromagnétique sous COMSOL
 - Étude de l'impact du champ sur la santé
- Étude expérimentale
 - Utilisation d'une maquette pour valider les résultats obtenus par modélisation.
 - Mesure du champ magnétique rayonné

Déroulement, organisation du cours

Cet enseignement se déroulera sous forme de projet avec des groupes constitués lors de la première séance. Les séances 1 et 9 se dérouleront en Amphi et les autres séances s'effectueront dans la salle de TP du département énergie.

- Séance 1 : Présentation de la problématique et du cahier des charges.
- Séance 2 : Recherche bibliographique sur les systèmes de transfert d'énergie sans contact par induction et les différentes approches de modélisation.
- Séances 3-4 : Modélisation (analytique et/ou numérique) du coupleur
- Séances 5-6 : Étude du mode de compensation de la puissance réactive et de la nature du convertisseur à utiliser.
- Séances 7 : Etude du rayonnement électromagnétique
- Séance 8 : Validation expérimentale sous maquette
- Séance 9 : Restitution sous forme de présentation avec livrable (rapport) en présence des enseignants et partenaires industriels

Organisation de l'évaluation

Cet enseignement est évalué sur la base d'un rapport et une présentation orale prévue lors de la dernière séance.

Support de cours, bibliographie

Polycopié

Moyens

Equipe enseignante : Bensetti Mohamed, Mike Kirkpatrick, Adrien Volsdoire et Tanguy Phulpin + intervenant industriel

Outils logiciels : Comsol, Matlab & LT Spice

Matériels de laboratoire : Maquettes + appareils de mesure (RLC meters, Analyseur d'impédance, oscilloscope, ...)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Au terme de cet enseignement, les élèves seront capables :

- Modéliser un dispositif magnétique pour la détermination des paramètres électriques
- Utiliser des outils de modélisation électromagnétique multiphysique et type circuit.
- Étudier le rayonnement électromagnétique d'un coupleur magnétique
- Modéliser un système de recharge sans contact de la source à la charge
- Valider et analyser des résultats obtenus par modélisation avec des mesures expérimentales.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1- Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes scientifiques, technologiques, humaines et économiques.

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

C7- Savoir convaincre

C8- Mener un projet, une équipe

1SC2492 – Modélisation de la consommation énergétique d'un ensemble de bâtiments

Responsables : **Sean MCGUIRE**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Mettre en œuvre des outils de modélisation sur un cas concret de consommation énergétique d'un bâtiment et d'un ensemble de bâtiments. Déterminer les sources primaires de la consommation énergétique et identifier des moyens de réduire cette consommation.

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

ST2

Prérequis

Avoir suivi le cours spécifique de la ST2 « Transition énergétique ».

Plan détaillé du cours (contenu)

Le travail s'effectuera par groupes de 3-5 étudiants (14 groupes en tout). Les étudiants recevront une image Google Earth d'un quartier pavillonnaire (18 pavillons). 6 des 7 groupes devront traiter chacun 3 pavillons, tandis que le dernier groupe aura en charge le développement et le test d'un modèle de capteur photovoltaïque (PV). L'objectif de l'étude est de transformer ce quartier en quartier à énergie positive en combinant rénovation thermique et énergétique et intégration de PV. Pour cela, les étudiants construiront un modèle pour chaque bâtiment de la zone ; ils devront pour cela trouver et tracer les hypothèses qui conviennent et renseigner les modèles en fonction de ces hypothèses. Puis ils se concerteront pour élaborer ensemble la stratégie qui permettra de transformer cette zone d'habitation en quartier à énergie positive (identification du gap à combler, repérage des bâtiments les plus favorables et les moins favorables, ...). Ils devront alors intégrer dans les modèles les techniques de rénovation et les panneaux PV et mener les simulations pour arriver au plus près du quartier à énergie positive.

Déroulement, organisation du cours

Apprentissage par projet.

Organisation de l'évaluation

Présentations orales avec supports PPT. Les compétences C1, C4, C7 et C8 seront évaluées sur la base de la soutenance finale.

Support de cours, bibliographie

Slides de présentation des différentes fonctionnalités de la modélothèque BuildSysPro, manipulations directes sur le logiciel opensource BuildSysPro (<https://github.com/edf-enerbat/BuildSysPro>) lors du cours spécifique de la ST2 et pendant la semaine de l'enseignement d'intégration.

Moyens

Equipe enseignante : 2 ingénieurs-chercheurs de EDF R&D, 1 enseignant-chercheur de CentraleSupélec.
Outils logiciels et nombre de licences nécessaires : logiciel BuildSysPro (gratuit)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Recherche pragmatique de données
- Développement d'un modèle pratique et cohérent basé sur les outils disponibles
- Post-traitement et analyse de résultats

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce module développe les compétences C1, C4, C7 et C8 précisées dans le cursus. Les élèves apprendront comment :

- Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble. Identifier, formuler et analyser un problème dans ses dimensions scientifiques 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 et de la simulation.

ST2 – MECANIQUE ET CONCEPTION DE VEHICULES ET STRUCTURES

Dominante : CVT (Construction, Ville et Transports)

Langues : Anglais, sauf certaines conférences extérieures qui peuvent être en français

Campus : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Dans le cadre du développement d'un nouveau projet, qu'il concerne une voiture, un avion, ou une infrastructure, la modélisation joue un rôle clé. En effet, à toutes phases d'un projet, il est nécessaire d'évaluer la pertinence du concept, et ceci ne peut être fait sur l'objet final pour des raisons évidentes de coût. Plusieurs niveaux de modélisation sont alors utilisés. En phase de prédimensionnement, des outils très simples de modélisation (par exemple un tableur) permettent à moindre coût de préciser les ordres de grandeurs et les leviers principaux d'amélioration, notamment en se basant sur des corrélations empiriques. Dans une phase plus avancée d'évaluation de premiers choix technologiques, des maquettes expérimentales ou numériques sont utilisées. Dans les deux cas, il faut faire appel à la modélisation soit pour mesurer les données pertinentes en expérimental, soit pour définir le modèle physique à simuler numériquement. A ce stade, l'ingénieur a à sa disposition une large palette de solutions, allant de la maquette réduite au système réel, ou de la simulation numérique simple et rapide, mais peu précise, à la simulation numérique haute-fidélité, précise mais coûteuse en temps de calcul.

Dans le cadre de cette séquence thématique, ces différents aspects de la modélisation seront présentés. L'accent sera mis sur la composante « transport », bien que les aspects « constructions et ville » seront abordés. Le contexte sociétal et économique, ainsi que la diversité des outils de modélisation utilisés par l'ingénieur feront l'objet de conférences introductives. Les cours spécifiques permettront de mettre en œuvre les démarches expérimentales et de simulation numérique, avec un œil attentif sur la validation. Finalement, à partir d'un choix avisé de modélisation, il sera démontré dans le cadre de l'enseignement d'intégration comment modéliser les performances d'un système complexe en première approximation, notamment dans une démarche d'hybridation d'un véhicule.

Prérequis : S.I., notions de programmation

Modules contexte et enjeux : ces modules permettront, au contact d'acteurs concernés par les aspects de prédimensionnement de systèmes complexes et de modélisation multiphysique, d'avoir un aperçu de la thématique sous plusieurs angles, incluant les contraintes économiques et industrielles.

Cours spécifique (40 HEE) : Modélisation, simulations et expérimentations

Ce cours est décomposé en 4 sous-parties : simulation numérique en mécanique des fluides ou en mécanique des solides, et expérimentations en mécanique des fluides ou en mécanique des solides. Les élèves devront faire le choix de deux cours parmi les 4 en début de séquence.

Ce cours a pour objectifs :

- D'une part de faire acquérir une démarche de modélisation via l'expérimentation aux élèves. En leur donnant un modèle supposé adapté à la description du phénomène étudié au départ, ils doivent construire une démarche expérimentale en s'assurant de répondre à l'objectif en maîtrisant l'incertitude et mettre en œuvre cette démarche expérimentale itérative entre le modèle et les données acquises.
- D'autre part de faire acquérir une démarche de modélisation via la simulation numérique aux élèves. On souhaite faire une prédiction numérique d'un problème donné à partir d'un modèle. En leur donnant un modèle supposé adapté à la description du phénomène étudié au départ, ils doivent construire une démarche de simulation en s'assurant de répondre à l'objectif en maîtrisant l'incertitude et mettre en œuvre cette démarche numérique.

Enseignement d'intégration : Performances et hybridation d'un véhicule par modélisation fonctionnelle

- Partenaire industriel : Renault

Pour cet enseignement d'intégration, l'objectif est de positionner les élèves en tant qu'équipe de design chez le partenaire. Le partenaire imposera un cahier des charges d'un véhicule automobile hybride de chez Renault. Les élèves devront réaliser une étude de marché, définir le produit et effectuer un pré-design. Le pré-design va nécessiter la création d'un modèle global de véhicule, incluant non seulement les aspects aérodynamiques mais aussi l'aspect motorisation. De plus, ils devront travailler en équipe pour respecter les limites d'émission de CO₂.

1SC2510 – Modélisation, simulations et expérimentations

Responsables : **Morgan Chabanon**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MÉCANIQUE ÉNERGÉTIQUE PROCÉDÉS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours a pour objectif de faire acquérir aux élèves une démarche de modélisation via la simulation numérique et/ou l'expérimentation, dans les domaines de la mécanique des fluides ou de la mécanique des solides. En donnant un modèle supposé adapté à la description du phénomène étudié au départ, les élèves doivent construire une démarche de simulation ou d'expérimentation en s'assurant de répondre à l'objectif tout en maîtrisant l'incertitude. Ils devront finalement implémenter cette démarche, en utilisant un processus itératif entre le modèle et les données acquises (expérimentalement ou numériquement).

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Pour ce cours, les élèves devront choisir en début de séquence thématique deux éléments parmi les 4 proposées :

- Simulations numériques en mécanique des fluides : les élèves devront utiliser des codes de calcul MATLAB ou de type commercial (Ansys Fluent), pour simuler des écoulements de base en ingénierie, par exemple en canal ou autour d'un cylindre.
- Simulations numériques en mécanique des solides : les élèves utiliseront le code de calcul COMSOL Multiphysics afin de comparer des modèles plus ou moins simplifiés, ainsi que différents types de géométrie, pour en déduire quelques règles de conception.
- Expérimentations en mécanique des fluides : les élèves effectueront des mesures de forces et/ou de vitesses dans des écoulements fluides (air ou liquide) utilisant des techniques de mesures basées sur différents principes physiques (vélocimétrie par image de particules, fil chaud, dynamomètre, sonde Pitot). Les acquisitions et traitement de données seront principalement effectués avec NI LabView et Matlab.
- Expérimentations en mécanique des solides : les élèves devront utiliser une machine d'essai mécanique pour identifier certains paramètres de la loi de comportement (modèle d'élasticité linéaire) d'un matériau au choix (acier, alu, tissu osseux, bois, chocolat ...).

Organisation de l'évaluation

L'évaluation est basée sur le travail réalisé pendant chacune des deux activités suivies. Le rendu se fera sous la forme d'un rapport ou d'une présentation de groupe en fonction de l'activité. La note finale du cours spécifique est la moyenne de ces deux évaluations. S'agissant de TP et de travail de groupe, la présence est obligatoire, toute absence injustifiée conduit à une pénalité sur la note finale.

Moyens

Equipe enseignante :

-Simulations : Ann-Lenaig Hamon, Camille Gandiolle (Mécanique du solide), Morgan Chabanon (Mécanique des fluides).

-Expérimentations : Jan Neggers (Mécanique du solide), Antoine Renaud (Mécanique des fluides).

Salles expérimentales des laboratoires MSSMat et EM2C.

Outils numériques COMSOL Multiphysics (Mécanique du solide), Matlab et Ansys Fluent (Mécanique des fluides)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Être capable d'utiliser des outils de simulation ou des diagnostics expérimentaux pour valider ou construire un modèle.

1SC2590 – Performance et hybridation d'un véhicule par modélisation fonctionnelle

Responsables : **Morgan Chabanon**

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

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Au cours de cet EI, le prédimensionnement d'un groupe motopropulseur automobile sera effectué dans le but de l'adapter au mieux à une catégorie de véhicule en prenant en compte les critères de performance, de consommation, d'émissions polluantes et de prix.

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

ST2

Prérequis

Pas de prérequis

Plan détaillé du cours (contenu)

Après une introduction présentant les différents éléments composant un groupe motopropulseur, les étudiants devront modéliser et optimiser un véhicule en fonction de différentes contraintes.

Un benchmark sera réalisé pour se positionner en fonction des performances de la concurrence.

L'étude portera d'abord sur les performances du véhicule puis sur les cycles d'homologation du point de vue de la consommation.

Les étudiants disposent d'un budget pour acheter différentes technologies pour atteindre les objectifs requis par leur segment (performances, économie, faibles émissions...).

Déroulement, organisation du cours

Les étudiants fonctionneront en groupes, chacun étant responsable d'un segment de la gamme d'un constructeur automobile généraliste. Les intervenants proposent du support et challengent les étudiants par rapport à leurs choix technologiques.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation comporte deux volets :

- volet continu sur le comportement général du groupe au cours de l'enseignement et les réponses lors des points de situation réguliers
- soutenance finale courte présentant le résultat final et justifiant les choix retenus

Moyens

L'ensemble du dimensionnement sera effectué à l'aide d'un tableur Excel (ou équivalent). Des données et des fonctions utiles seront fournies par les intervenants. L'utilisation d'un tableur permet d'obtenir des résultats représentatifs rapidement sans se heurter au problème de prise en main de logiciels plus spécialisés.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Connaître les éléments composant un groupe motopropulseur hybride automobile.
- Savoir quels impacts différents choix technologiques ont sur les émissions polluantes et les performances.
- Pré-dimensionner sous contraintes un groupe motopropulseur.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 - Analyser, concevoir, et construire des systèmes complexes avec des composantes scientifiques, humaines et économiques

C4 - Avoir un sens de création de valeur pour son entreprise et client

C7 - Savoir comment convaincre

C8 - Mener un projet, une équipe

ST2 – OBSERVATION DE LA TERRE POUR NOTRE ENVIRONNEMENT ET NOTRE SECURITE

Dominante: PNT (Physique et Nanotechnologie)

Language: Français

Campus: Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

L'observation de la Terre au moyen d'instruments de mesure embarqués sur des drones, des avions ou des satellites est une discipline assez récente mais qui connaît un développement exceptionnel en raison de son rôle pour les grands enjeux environnementaux et de sécurité. Les récents satellites lancés par les agences spatiales européenne, américaine, canadienne et chinoise ... ont tous pour objectif :

- la sécurité des terres (observation des frontières, mouvements de troupes, activités nucléaires ...) et des mers (piraterie, contrebande ...),
- une meilleure compréhension des phénomènes qui affectent l'environnement (déforestation, fonte des glaces, désertification, surveillance des zones humides...),
- la protection des populations contre les catastrophes naturelles ou d'origine humaine (tremblements de terre, débordements, incendies, pollution...),
- l'étude de l'impact de nos activités avec par exemple le suivi de la croissance des métropoles.

La part croissante des acteurs privés (Airbus DS, Thales Alenia Space, MDA ...) dans ce domaine reflète également les enjeux commerciaux liés à cette thématique. Que ce soit pour les compagnies d'assurance, les acteurs de la sécurité civile ou l'urbanisme, le traitement de ces données et leur analyse ouvrent la voie à de nombreuses applications et à de nouvelles activités.

Le nombre de capteurs est en augmentation et les données abondent. Le défi consiste d'abord à interpréter correctement les images acquises par ces différents capteurs, puis à pouvoir développer des outils pouvant être appliqués automatiquement. La modélisation des interactions entre les ondes (radar, optique, hyperspectrale, ...) et l'environnement est une étape clé pour l'analyse de ces images.

Quel que soit le type de capteur, le point clé est d'identifier les informations utiles dans l'image. Pour ce faire, la toute première étape consiste à modéliser l'objet d'intérêt. En utilisant la connaissance physique de la scène, nous identifierons le modèle pertinent ou développerons un nouveau modèle. Ensuite, des outils de détection / classification seront utilisés. Ils peuvent être basés sur des méthodes "traditionnelles" ou d'apprentissage machine.

Le cours spécifique abordera d'abord certains éléments de la physique des ondes afin de comprendre les interactions entre les ondes et les objets. Ensuite, les modèles habituellement utilisés et les techniques d'analyse correspondant à ces modèles seront traités. Tout au long du cours, une grande importance sera accordée à la manipulation des images par les étudiants.

Prérequis conseillés

Aucun

Modules Contexte et enjeux : L'observation de la Terre est un défi majeur pour la Commission européenne, qui a financé le projet Copernicus (série de satellites avec divers capteurs). L'ambition de la Commission est de permettre le développement de nouvelles activités économiques. Ce sujet sera abordé au début de ces modules.

L'Agence spatiale européenne a pour mission de mettre en œuvre les accords de Paris. Des représentants des agences françaises et européennes présenteront plus en détail les actions en cours.

Les entreprises sont également fortement impliquées dans ce domaine, des représentants discuteront des questions techniques et commerciales.

Enfin, un aperçu des nouveaux développements scientifiques sera donné.

Cours spécifique (40 HEE) : Modèles physiques pour l'analyse des images radar et optique

- **Brève description** : Ce cours fournira une première compréhension des phénomènes physiques dans les interactions onde-objet, donnera les techniques de modélisation de base et expliquera comment les utiliser pour traiter les données. Les principaux sujets abordés sont la propagation et la télédétection, les capteurs radar, les autres types de capteurs (optiques, hyperspectraux...), la classification, la détection des changements

Enseignement d'intégration #1: biomasse et déforestation

- **En partenariat avec** : ESA & CNES
- **Lieu**: Paris-Saclay campus
- **Brève description** Les forêts constituent un écosystème important d'un point de vue environnemental et climatique. Leur protection mais aussi le contrôle de leur contribution en termes de régulation du CO₂ sont fondamentaux. La protection implique tout à la fois de détecter et suivre les sources de déforestation (coupes rases pour vendre le bois, transformation en surfaces agricoles etc.) que d'estimer leur santé (infestation des pins par des larves de papillons au Canada par exemple). La capacité d'absorption en CO₂ est fonction de la biomasse. En avril 2025, l'ESA a lancé une mission BIOMASS dont l'objectif est de permettre l'inventaire de la biomasse mondiale.
- Les étudiants pourront au choix travailler sur un de ces aspects, pour soit estimer la biomasse de forêts, soit détecter des zones déforestées ou bien suivre l'évolution d'une zone infestée par des insectes.

Enseignement d'intégration #2 : Accompagnement de décideurs locaux pour s'adapter au changement climatique

- **En partenariat avec** : Ville de Palaiseau
- **Lieu**: Paris-Saclay campus
- **Brève description** : L'observation satellitaire de la Terre peut être un outil d'aide à la décision pour les communes dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. La température de surface est une quantité qui peut être dérivée de mesures effectuées dans l'infrarouge depuis l'espace. Ses variations peuvent être corrélées à la présence de végétation. Dans cet EI, nous vous proposons de mettre en évidence cet effet et de proposer des solutions adaptées à la commune de Palaiseau pour réduire les îlots de chaleur. La semaine de projet commencera par un exposé de l'adjointe au maire à l'environnement.

Enseignement d'intégration #3 : Suivi des glaciers

- **En partenariat avec** : ONERA
- **Lieu**: Paris-Saclay campus
- **Brève description** : La cartographie des glaciers et l'étude de leur changement à l'échelle globale sont très utiles pour prédire les changements du niveau de la mer, les ressources en eau de certaines régions, les aménagements de montagne et pour étudier les changements climatiques et les risques naturels associés. Dans ce projet, nous proposons d'observer les dynamiques de glaciers, à travers l'observation des changements d'état de surface, et le calcul de leur vitesse de déplacement, par des techniques de calculs de flux et d'interférométrie.

Enseignement d'intégration #4 : Classification automatique de couverture de sol

- **En partenariat avec** : Safran-IA (anciennement Preligens)
- **Lieu**: Paris-Saclay campus
- **Brève description** : Ce projet est l'occasion d'utiliser de l'apprentissage automatique tout en se familiarisant avec l'imagerie satellite. L'équipe d'encadrement de Safran-IA introduiront d'abord les concepts de machine learning et de télédétection pertinents, ainsi que les outils nécessaires pour la prise en main du projet. Vous appliquerez ensuite l'algorithme de votre choix pour analyser le type de couverture du sol sur des images issues de la mission Sentinel 2. Sur chaque image, il s'agira de se prononcer sur la nature de chaque pixel : est-ce une zone artificielle, cultivée, herbacée, aquatique forestière ?

1SC2610 – Modèles physiques pour l'analyse des images radar et optique

Responsables : **Laetitia Thirion-Lefevre, Regis Guinvarc'H**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT PHYSIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

L'observation de la Terre à partir de capteurs aéroportés ou spatioportés est un domaine récent, qui connaît un très fort développement, notamment car il joue un grand rôle dans les problématiques environnementales et sécuritaires actuelles. Quelle est la vitesse de la fonte des glaces au pôle Nord ? Combien de réfugiées sont accueillies dans des camps ? Quelle est la surface des plantations d'huile de palmes ? Pouvons-nous surveiller la montée des océans ?

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- 1/ Propagation et télédétection
- 2/ Les capteurs radars
- 3/ Autres capteurs (optiques et hyperspectral)
- 4/ Classification et inversion
- 5/ Détection de changements

Déroulement, organisation du cours

5 cours de 90 minutes, 7 TD/TP de 90 min et 2h d'examen final

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu sur les TD/TP et un examen final de 2h avec document 20% pour le contrôle continu et 80% pour l'examen final.

Les sous-compétences C1.1 et C1.2 sont évaluées à travers deux questions parmi celles du contrôle final.

Si la note moyenne à ces deux questions est supérieure à 50%, l'élève valide la compétence C1.

Support de cours, bibliographie

Notes de cours et manuel de référence disponibles sur EDUNAO

Moyens

- Enseignants pour les cours : Laetitia Thirion-Lefevre (CS) et Régis Guinvarc'h (CS)
- Taille des TD/TP : 35 étudiants.

1SC2691 – Biomasse et déforestation

Responsables : **Regis Guinvarc'H, Laetitia Thirion-Lefevre**

Département de rattachement : **DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Les forêts constituent un écosystème important d'un point de vue environnemental et climatique. Leur protection mais aussi le contrôle de leur contribution en termes de régulation du CO₂ sont fondamentaux. La protection implique tout à la fois de détecter et suivre les sources de déforestation (coupes rases pour vendre le bois, transformation en surfaces agricoles etc.) que d'estimer leur santé (infestation des pins par des larves de papillons au Canada par exemple). La capacité d'absorption en CO₂ est fonction de la biomasse. En 2022, l'ESA va lancer une mission BIOMASS dont l'objectif est de permettre l'inventaire de la biomasse mondiale.

Les étudiants pourront au choix travailler sur un de ces aspects, pour soit estimer la biomasse de forêts, soit détecter des zones déforestées ou bien suivre l'évolution d'une zone infestée par des insectes.

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Comprendre les liens physiques entre le signal mesuré par un radar et une forêt (la biomasse notamment).

Proposer un modèle permettant de relier les deux.

Etudier la robustesse de ce modèle en fonction du type de forêt de la topographie et de la polarisation.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation sera faite sur la base d'une présentation orale.

Les compétences C4, C7 et C8 sont évaluées lors de la soutenance.

Attention la compétence C1 est évaluée lors de l'examen écrit lié au cours spécifique

Moyens

plateforme de calcul de l'ESA

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre les liens physiques entre le signal mesuré par un radar et une forêt (la biomasse notamment).

Proposer un modèle permettant de relier les deux.

Etudier la robustesse de ce modèle en fonction du type de forêt de la topographie et de la polarisation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C4-1 Identifier et le reformuler le besoin

C4-2 Définir et présenter une ou des solutions

C7-1 Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

C7-2 Comprendre de façon évolutive les besoins et attentes de ses interlocuteurs. Susciter des interactions, être pédagogue et créer un climat de confiance

C7-4 Maîtriser le langage parlé, écrit et corporel et maîtriser les techniques de base de communication

C8-Mener un projet, une équipe

1SC2692 – Accompagnement de décideurs locaux pour s'adapter au changement climatique

Responsables : **Regis Guinvarc'H, Laetitia Thirion-Lefevre**

Département de rattachement : **DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

L'observation satellitaire de la Terre peut être un outil d'aide à la décision pour les communes dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. La température de surface est une quantité qui peut être dérivée de mesures effectuées dans l'infrarouge depuis l'espace. Ses variations peuvent être corrélées à la présence de végétation. Dans cet EI, nous vous proposons de mettre en évidence cet effet et de proposer des solutions adaptées à la commune de Palaiseau pour réduire les îlots de chaleur. La semaine de projet commencera par un exposé de l'adjointe au maire à l'environnement.

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

ST2

Prérequis

Aucun

Organisation de l'évaluation

L'évaluation sera faite sur la base d'une présentation orale.

Les compétences C4, C7 et C8 sont évaluées lors de la soutenance.

Attention la compétence C1 est évaluée lors de l'examen écrit lié au cours spécifique

Moyens

Google Earth Engine

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

La prise en compte des îlots de chaleur peut donner lieu à divers travaux, comme l'observation de solutions précédemment mises en place ailleurs, la caractérisation de certains quartiers, ...

A l'issue de la première journée le sujet devra avoir été choisi, formulé clairement et validé

Quel que soit le sujet choisi, le groupe devra mettre en œuvre des mesures depuis au moins un capteur satellite et analyser les résultats (variabilité spatiale, temporelle, lien avec la nature du terrain, cohérence avec des résultats publiés, ...)

L'applicabilité de la solution choisie sur la ville de Palaiseau pourra passer par une modélisation. Par exemple, la modélisation de la variation de la température de surface en fonction de la densité de la végétation et de la surface végétalisée, pourrait permettre d'envisager une réduction de tant si ces espaces pouvaient être végétalisés ...

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C4-1 Identifier et le reformuler le besoin

C4-2 Définir et présenter une ou des solutions

C7-1 Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

C7-2 Comprendre de façon évolutive les besoins et attentes de ses interlocuteurs. Susciter des interactions, être pédagogue et créer un climat de confiance

C7-4 Maîtriser le langage parlé, écrit et corporel et maîtriser les techniques de base de communication

C8-Mener un projet, une équipe

1SC2693 – Suivi des glaciers

Responsables : **Laetitia Thirion-Lefevre, Regis Guinvarc'H**

Département de rattachement : **DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

La cartographie des glaciers et l'étude de leur changement à l'échelle globale sont très utiles pour prédire les changements du niveau de la mer, les ressources en eau de certaines régions, les aménagements de montagne et pour étudier les changements climatiques et les risques naturels associés. Dans ce projet, nous proposons d'observer les dynamiques de glaciers, à travers l'observation des changements d'état de surface, et le calcul de leur vitesse de déplacement, par des techniques de calculs de flux et d'interférométrie.

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Recherches bibliographiques guidées sur des sites critiques de glaciers présentant des dynamiques récentes particulières (formaton de fractures, surges glaciaires)
- S'appropriier les techniques de base dédiées à l'analyse des glaciers : estimation de la couverture neigeuse, estimation des déplacements par flot optique/par interférométrie, analyse des évolutions temporelles.
- Application à des jeux de données préparés et analyse critique des résultats

Organisation de l'évaluation

L'évaluation sera faite sur la base d'une présentation orale.

Les compétences C4, C7 et C8 sont évaluées lors de la soutenance.

Attention la compétence C1 est évaluée lors de l'examen écrit lié au cours spécifique.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Appliquer la technique d'interférométrie différentielle vue en cours sur la ville de Semarang.

Evaluer la profondeur d'enfoncement sur l'intervalle des données disponibles estimer la vitesse d'enfoncement.

Proposer un modèle pour prédire le niveau et la vitesse d'enfoncement pour les 10 prochaines années.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C4-1 Identifier et le reformuler le besoin

C4-2 Définir et présenter une ou des solutions

C7-1 Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

C7-2 Comprendre de façon évolutive les besoins et attentes de ses interlocuteurs. Susciter des interactions, être pédagogue et créer un climat de confiance

C7-4 Maîtriser le langage parlé, écrit et corporel et maîtriser les techniques de base de communication

C8-Mener un projet, une équipe

1SC2694 – Classification automatique de couverture de sol

Responsables : **Regis Guinvarc'H, Laetitia Thirion-Lefevre**

Département de rattachement : **DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce projet est l'occasion d'utiliser de l'apprentissage automatique tout en se familiarisant avec l'imagerie satellite. L'équipe de Preligens introduira d'abord les concepts de machine learning et de télédétection pertinents, ainsi que les outils nécessaires pour la prise en main du projet. Vous appliquerez ensuite l'algorithme de votre choix pour analyser le type de couverture du sol sur des images issues de la mission Sentinel 2. Sur chaque image, il s'agira de se prononcer sur la nature de chaque pixel : est-ce une zone artificielle, cultivée, herbacée, aquatique forestière ?

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Recherche en autonomie (biblio et visualisations) sur les différentes sources et plateformes de téléchargement de données et sur les indices spectraux
Identifier les caractéristiques physiques des signaux de différentes couvertures de sols.
Proposer et tester des algorithmes de classification.
Modéliser les performances

Déroulement, organisation du cours

Par projet, les élèves sont divisés en petits groupes pour la semaine. Des créneaux sont planifiés pour les interactions avec les intervenants extérieurs.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation sera faite sur la base d'une présentation orale.
Les compétences C4, C7 et C8 sont évaluées lors de la soutenance.
Attention la compétence C1 est évaluée lors de l'examen écrit lié au cours spécifique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C4-1 Identifier et le reformuler le besoin
C4-2 Définir et présenter une ou des solutions
C7-1 Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)
C7-2 Comprendre de façon évolutive les besoins et attentes de ses interlocuteurs. Susciter des interactions, être pédagogue et créer un climat de confiance
C7-4 Maîtriser le langage parlé, écrit et corporel et maîtriser les techniques de base de communication
C8-Mener un projet, une équipe

ST2 – PROPAGATION VIRALE

Dominante MDS (Mathematics and Data Science)

Language: Anglais

Campus: Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Cette séquence thématique prend comme prétexte la propagation virale pour développer les compétences en modélisation des élèves et leur faire découvrir plusieurs champs d'application où celle-ci doit être freinée (épidémie, attaque sur un système informatique) ou exploitée (comportements d'achat et de vente sur un marché décentralisé).

Modules contexte et enjeux:

Les élèves découvriront différents contextes dans lesquels la viralité est importante, en particulier l'épidémiologie, l'informatique et la finance. Des conférenciers présenteront les éléments clefs de ces sujets et les élèves, les mettront en pratique dans des ateliers.

Specific courses (Workload: 40 hours): Propagation virale

- **Brève description:** La modélisation de la propagation dans divers contextes (populations, réseaux informatiques, réseaux sociaux) a connu de grandes avancées dans sa formalisation au cours des dernières décennies. L'objectif est de familiariser les élèves avec les techniques désormais classiques qui leur permettront de reproduire, prévoir et anticiper les effets d'une propagation dans des situations concrètes.

Enseignement d'intégration n°1 – 1SC2791

Épidémie: modéliser, prédire, communiquer

Campus: Paris-Saclay

Brève description: Vous venez d'être embauchés à l'institut Pasteur pour renforcer les équipes de modélisation. Par équipes de quatre, vous avez d'abord deux jours pour vous constituer une expertise sur quatre maladies infectieuses, développer des modèles pour en représenter la propagation dans différents contextes et mettre en place les méthodes permettant d'effectuer efficacement leur analyse et leur estimation paramétrique. Un matin, une crise épidémique se déclenche quelque part dans le monde, sur l'une de ces quatre maladies. Votre équipe est appelée à y travailler...

Enseignement d'intégration n°2 – 1SC2792

Réponse à une attaque virale sur un système d'information

Partenaire associé: annoncé le premier jour de l'enseignement d'intégration

Campus: Paris-Saclay

- **Brève description:** Pendant cinq jours et 24h/24, vous devrez déployer vos connaissances, votre créativité et vos capacités d'organisation pour répondre au mieux à une situation de crise liée à la propagation d'un logiciel malveillant sur un système d'information.

En 2021, il s'agissait d'une attaque virale sur l'OTAN ;

En 2022, il s'agissait d'une attaque virale sur un centre de contrôles de satellites.

En 2022, il s'agissait d'une attaque virale sur un hôpital.

En 2023, il s'agissait d'une attaque virale sur des puces équipant des robots domestiques et industriels.

- Le sujet 2025 sera révélé lors du premier jour de l'EI

Enseignement d'intégration n°3 – 1SC2793

Modélisation and amélioration de l'efficacité d'une plateforme d'échange décentralisée

Partenaire associé : ArSwap

Lieu : Campus Paris-Saclay

Brève description (par le partenaire) : ArSwap est une bourse de contrats à terme décentralisée construite sur la technologie blockchain, conçue pour une expérience de négociation transparente, sûre et efficace. Notre

plateforme facilite les échanges de jetons, la fourniture de liquidités, et des opportunités de gains grâce à son cadre décentralisé robuste.

Les étudiants joueront le rôle d'employés nouvellement recrutés dans notre start-up et mobiliseront leur expérience de la théorie des réseaux pour collaborer à l'optimisation de nos modèles et de nos stratégies de commercialisation.

Votre mission consistera à améliorer l'efficacité de nos marchés en analysant les données de la blockchain. Pour ce faire, vous devrez affiner les modèles existants et de développer de nouvelles stratégies afin d'améliorer la fourniture de liquidités et la performance globale du marché. Vous explorerez les effets des "événements en cascade" au sein de notre réseau
D'investisseurs et l'écosystème plus large de la blockchain.

1SC2710 – Propagation virale

Responsables : **Véronique Le Chevalier, Christian Bongiorno, Gilles Faÿ**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MATHÉMATIQUES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Quelles personnes devrions-nous immuniser, pour prévenir une épidémie ? Quels utilisateurs devrions-nous cibler afin de réaliser une campagne de promotion efficace pour notre produit ? Comment les opinions ou les rumeurs se forment-elles et se propagent-elles dans les réseaux sociaux ?

La modélisation de la propagation dans divers contextes (populations, matériaux, réseaux informatiques, réseaux sociaux ou plateforme d'échanges) a connu de grandes avancées dans sa formalisation au cours des dernières décennies. L'objectif est de familiariser les élèves avec les techniques désormais classiques qui leur permettront de modéliser, prévoir et optimiser ses effets dans des situations concrètes.

Deux types de modèles peuvent être mis en œuvre : continus (à base d'équations différentiels) et discrets (en général sur la base de graphes). Les élèves seront initiés à ces modèles et invités à travailler la démarche de modélisation.

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

ST2

Prérequis

- CIP
- EDP
- SIP
- Modélisation
- Algorithmes et complexité

Plan détaillé du cours (contenu)

- Notions d'épidémiologie descriptive et analytique (indicateurs d'incidence, prévalence, types d'enquêtes épidémiologiques et mesures de risque associées, odds-ratio notamment)
- Les modèles à compartiments et leur analyse
- La modélisation de la propagation sur les graphes et leurs propriétés
- Quelques notions sur l'inférence des graphes

Déroulement, organisation du cours

- Cours et TD/TP

Organisation de l'évaluation

- TP Evaluation obligatoire (EO) : $\alpha_0 = 0.5$.
- Examen : $\alpha_f = 0.5$

Moyens

Cours théoriques, exercices, implémentations numériques

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Appréhender diverses méthodes d'analyse de données relatives aux graphes et à la propagation d'informations.

- Formuler et de résoudre des problèmes impliquant des phénomènes de propagation en milieu homogène ou sur des graphes.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

A l'issue du cours, il est attendu que les étudiants aient acquis des compétences concernant :

- Les modèles compartimentaux en épidémiologie (ex, SIR, SIS)
- La théorie des graphes et l'analyse des réseaux.
- La propagation d'information et d'influence sur des structures de graphes.
- L'implémentation d'algorithmes pour l'analyse de graphes et la propagation d'informations en Python.

1SC2791 – Challenge épidémiologie

Responsables : **Gilles Faÿ, Véronique Le Chevalier**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

L'importance de la modélisation en épidémiologie n'est désormais plus à démontrer : chacun a pu en sentir les enjeux et les conséquences sur la vie quotidienne, que ce soit en termes d'utilisations des modèles pour la prédiction, le choix d'interventions (ex : confinements, durées de quarantaines, stratégies vaccinales, etc), la communication.

Cet enseignement d'intégration de modélisation en épidémiologie plonge pendant une semaine les élèves dans le rôle d'un comité d'experts en modélisation dans une organisation du type OMS ou Institut Pasteur, face à une situation épidémique à analyser et à juguler.

Il a pour objectif de faire mettre en pratique aux étudiants la démarche de modélisation en sciences du vivant et les méthodes mathématiques qui y sont associées notamment en termes d'analyse et d'évaluation des modèles.

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

ST2

Prérequis

Aucun, hors des cours de la ST2 propagation virale

Plan détaillé du cours (contenu)

Ce cours plonge pendant une semaine les élèves dans l'univers de l'épidémiologie en leur demandant de jouer le rôle d'un comité d'experts en modélisation dans une organisation du type OMS ou Institut Pasteur. Lors de la première partie de la semaine, par groupes, ils doivent se constituer une expertise sur 4 maladies infectieuses, grâce principalement à des recherches documentaires ainsi que par une conférence/rencontre avec un épidémiologiste. Ensuite, ils implémentent des modèles de transmission de ces maladies et mettent en place les méthodes présentées durant les cours de la séquence thématique ou les premiers jours de la semaine (analyse de sensibilité globale, identifiabilité, estimation paramétrique, sélection de modèles). En 2ème partie de semaine débute la partie "challenge" dans laquelle les équipes sont en compétition pour traiter des données leur parvenant heure par heure comme dans une véritable situation de crise épidémiologique (vécue en accéléré !). Les équipes doivent se servir des modèles préalablement développés - et les adapter/améliorer - pour faire des prédictions de l'évolution de la situation, simuler des scénarios d'intervention et faire des recommandations. Ils doivent aussi prendre en compte les aspects liés à la communication de crise (rédaction d'un communiqué de presse et un rapport à l'intention des décideurs politiques avec l'aide d'une journaliste spécialisée en communication en situation de crise). La dernière demi-journée est consacrée aux restitutions et évaluations croisées et discussions sur différents les choix de modélisations effectués par les différentes équipes. L'épidémiologie est un cadre qui se prête bien à cet exercice car c'est un domaine à fort enjeu, facilement accessible même pour des personnes ayant peu de connaissances en biologie, et dans lequel la modélisation mathématique joue un rôle prépondérant du fait de l'impossibilité de l'expérimental à l'échelle des populations.

Déroulement, organisation du cours

Travail en équipes de 4, chacun se constituant expert d'une maladie donnée puis mise en commun lors du challenge. Exercice d'échauffement sur données d'une épidémie en classe. Cours "flash" sur de petits rappels des outils de modélisation. Interventions de différents experts (communication en situation de crise, épidémiologiste...).

Organisation de l'évaluation

- communiqué de presse - dossier aux décideurs de santé publique - rapport à destination des scientifiques - Présentation orale - score au challenge (prédiction et efficacité des interventions recommandées)

Support de cours, bibliographie

Article introductif au thème de l'EI : "Covid-19 : ces modélisateurs qui anticipent la pandémie - Par David Larousserie. "Le Monde", Publié le 05 janvier 2021 à 04h04".

Moyens

Enseignant : Véronique Letort - Le Chevalier + intervenants ponctuels

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Connaitre les notions de base d'épidémiologie

Connaitre les modèles dynamiques de propagation d'épidémie à base d'équation différentielle ordinaires (SIR, SIS, etc.) ou par modèles multi-agents. Réfléchir sur le modèle le plus adapté à une situation donnée, et surtout, mettre en œuvre de la démarche itérative de construction d'un modèle à partir d'informations, souvent parcellaires, sur un système réel et son évolution.

Mettre en œuvre de la chaîne méthodologique d'analyse des modèles, d'estimation paramétrique et de sélection.

Utiliser des modèles pour de la prédiction et de l'aide à la décision (recommandation d'interventions).

Connaitre les notions de bases de communication pour différents publics (grand public, décideurs de santé publique, communauté scientifique)

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 + C4 + C7 + C8

1SC2792 – Réponse à une attaque virale sur un système d'information

Responsables : **Gilles Faÿ, Remi Geraud**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement d'intégration vous confronte à une situation de crise cyber, telle qu'en rencontrent parfois les grandes entreprises, sites industriels, services publics, etc. Face à un incident en cours, vous devrez assister votre client dans la réponse à apporter.

Vous devrez comprendre la nature de l'incident et son impact sur l'entreprise ; communiquer efficacement le phénomène auprès de différents interlocuteurs, puis proposer des mesures réalistes et apporter des éléments de décision et de langage pour les décideurs.

On attend de vous en particulier une prise de recul gardant à l'esprit les incertitudes et les enjeux, appuyée par des analyses scientifiques rigoureuses et convaincantes.

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

ST2

Prérequis

Systèmes d'information et programmation

Algorithmique et complexité

Modélisation

CIP

Plan détaillé du cours (contenu)

Pendant cinq jours et 24h/24, vous devrez déployer vos connaissances, votre créativité et vos capacités d'organisation pour répondre au mieux à une situation de crise cyber

- En 2019, il s'agissait d'une attaque sur une grande banque internationale ;

- En 2020, il s'agissait d'une attaque sur un centre de retraitement de l'eau ;

- En 2021, il s'agissait d'une attaque sur des délégations de l'OTAN ;

- En 2022, il s'agissait d'une attaque sur une constellation de satellites.

- En 2023, il s'agissait d'une attaque sur un grand centre hospitalier.

etc.

Le sujet 2026 sera révélé lors du premier jour de l'EI.

Organisation de l'évaluation

L'enseignement d'intégration est évalué à travers l'observation de votre travail et comportement au cours de la semaine, vos rendus intermédiaires, votre rapport et votre soutenance.

Moyens

Equipé pédagogique :

Rémi Géraud-Stewart

Hugo Waltsburger

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de cet enseignement vous serez capables de

- Prendre du recul sur un enjeu industriel et le replacer dans son contexte technologique, économique et social

- Modéliser un phénomène de propagation sur la base d'informations partielles
- Choisir un ou plusieurs modèles pour répondre à un objectif donné
- Ajuster votre discours à différents interlocuteurs du monde de l'entreprise
- Développer des éléments de langage pour la communication de crise
- Présenter vos résultats avec rigueur, précision, concision et honnêteté

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les enseignements d'intégration seront un lieu **d'évaluation** des compétences C1, C4, C7 et C8.

1SC2793 – Modélisation et amélioration de l'efficacité d'une plateforme d'échange décentralisée

Responsables : **Gilles Faÿ, Christian Bongiorno**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Modélisation and amélioration de l'efficacité d'une plateforme d'échange décentralisée

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

ST2

Prérequis

Systèmes d'information et programmation

Convergence, Intégration, Probabilités

Equations aux dérivées partielles (la partie du cours qui aura commencé)

Algorithmique et complexité

Modélisation

Plan détaillé du cours (contenu)

ArSwap est une bourse de contrats à terme décentralisée construite sur la technologie blockchain, conçue pour une expérience de négociation transparente, sûre et efficace. Notre plateforme facilite les échanges de jetons, la fourniture de liquidités, et des opportunités de gains grâce à son cadre décentralisé robuste.

Les étudiants joueront le rôle d'employés nouvellement recrutés dans notre start-up et mobiliseront leur expérience de la théorie des réseaux pour collaborer à l'optimisation de nos modèles et de nos stratégies de commercialisation.

Votre mission consistera à améliorer l'efficacité de nos marchés en analysant les données de la blockchain. Pour ce faire, vous devrez affiner les modèles existants et de développer de nouvelles stratégies afin d'améliorer la fourniture de liquidités et la performance globale du marché. Vous explorerez les effets des "événements en cascade" au sein de notre réseau d'investisseurs et l'écosystème plus large de la blockchain.

Déroulement, organisation du cours

Enseignement d'intégration

Organisation de l'évaluation

Des rendus intermédiaires sont demandés aux élèves.

Une soutenance finale et un rendu clôturera cet EI.

Moyens

Equipe enseignante

Client et partenaire industriel (ArSwap)

Logiciels (Python et bibliothèques associées)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de cet enseignement, vous serez capable de

- Modéliser un phénomène de propagation
- Choisir le ou les modèles pertinents pour à un objectif donné
- Structurer des hypothèses et y répondre de manière quantitative
- Échanger avec le client sur les enjeux, les besoins, les pistes de réflexion et d'analyse
- Prendre des décisions dans un environnement partiellement connu, gérer l'imprévu, savoir prendre des risques
- Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes des parties prenantes.
- Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire.
- Utiliser les modes de représentation visuelle appropriés à vos données et à leur analyse
- Présenter vos résultats avec rigueur, précision et concision

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

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

C7 : Savoir convaincre

C8 : Mener un projet, une équipe

Pour mémoire, ces éléments font référence aux compétences du cahier des charges bit.ly/NC-CDC

ST2 – MODELISATION D'INTERACTIONS STRATEGIQUES AU TRAVERS DES JEUX

Dominante: INFO&NUM (Informatique et Numérique)

Language: Français

Campus: Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Le domaine de l'intelligence artificielle est un domaine en plein essor, porteur d'innovation (dans tous les sens du terme) et source de forte croissance réelle et potentielle. Depuis les débuts de l'IA, les jeux sont utilisés comme des "vitrines" des avancées scientifiques et technologiques de ce domaine comme, par exemple, le jeu de dames d'A. Samuel en 1952, Deep Blue pour les échecs en 1997, Watson pour le Jeopardy en 2011 ou plus récemment, en 2016, AlphaGo pour le jeu de Go. Les jeux informatisés sont en effet de bons environnements, car simplifiés, pour tester des méthodes d'IA avant de les appliquer à d'autres domaines. Typiquement, aujourd'hui, de nombreuses plates-formes permettant le développement d'agents artificiels et leurs tests sur des jeux stratégiques sont mis à disposition par des acteurs dont le jeu n'est pourtant pas le cœur de métier.

Dans cette séquence thématique, nous proposons donc d'étudier les techniques de modélisation (modèles discrets à bas d'états et graphes d'états, de variables, de contraintes...) et de résolution algorithmique des jeux, considérés en général comme représentatifs des problèmes traités par les techniques d'Intelligence Artificielle et qui en implémentent le paradigme modéliser/inférer/apprendre, et de les appliquer à des problèmes réels de modélisation d'interactions stratégiques entre agents.

Un jeu est un univers dans lequel chaque agent (joueur) possède un ensemble d'actions possibles déterminées par les règles du jeu et qui agit en fonction de son objectif de gain mais aussi en réaction aux actions des autres agents (joueurs). Il s'agit donc de modéliser des agents rationnels en interaction avec d'autres agents et/ou avec leur environnement, chacun poursuivant un but qui lui est propre. La théorie des jeux est un ensemble d'outils mathématiques et informatiques pour modéliser, analyser et simuler ce type d'interactions stratégiques. Des applications seront traitées (jeux de partage de ressources, enchères, programmation d'une IA joueuse simple, etc.). La théorie des jeux s'intéresse au choix optimal que doit prendre un agent, en anticipant les décisions possibles des autres agents, elles-mêmes dictées par les objectifs de ces autres agents. Elle a d'abord été motivée par des questions de nature économique mais elle a désormais de nombreuses applications pratiques bien au-delà du domaine de l'économie. En tout premier lieu, elle a bien évidemment toute sa place dans le domaine des jeux de réflexion, de société, de plateau, de cartes, à un ou plusieurs joueurs. Outre les jeux stratégiques, la théorie des jeux a aussi été largement motivée par des questions de nature économique. Elle a désormais de nombreuses applications pratiques : modélisation des relations de concurrence entre les entreprises et de management stratégique, notamment en situation d'oligopole, compréhension du vote en sciences politiques, évolution et survie en biologie ou encore étude de la coordination de la charge électrique d'un parc de véhicules.

Les relations entre les jeux et l'Intelligence Artificielle sont donc de double nature : d'une part, les fondements de la théorie des jeux fournissent des stratégies pour la résolution de problèmes d'Intelligence Artificielle et d'autre part, la modélisation et résolution de jeux raisonnablement complexes nécessite la mise en œuvre de techniques d'Intelligence Artificielle.

A la croisée des techniques de modélisation et de résolution en IA et de celle utilisées en théorie des jeux, cette séquence thématique a pour objectif d'aborder les concepts principaux de ces deux domaines et de les mettre en œuvre sur des cas concrets de modélisations d'interactions stratégiques entre agents fournis par des partenaires industriels.

Prérequis conseillés

Le cours d'algorithmique et complexité, commun à tous lors de cette séquence.

Modules contexte et enjeux : ces modules, avec des conférences impliquant différents acteurs (académiques et industriels) de ce domaine, permettront de découvrir le périmètre de cette thématique sous les angles scientifique, technologique et économique ; en particulier :

- Théorie des jeux et théorie du choix social ;
- Théorie des jeux en économie : de l'équilibre de Nash aux prix Nobel ;
- Application de la théorie des jeux en informatique : intelligence artificielle, jeu de Go, problème des mariages stables ;
- Théorie des jeux et coopération.

Cours spécifique (40 HEE) : Approche computationnelle des jeux

- **Breve description** : La théorie des jeux est l'étude formelle de l'interaction entre les systèmes ou agents rationnels définis par des objectifs qu'ils cherchent à atteindre et par les options stratégiques qui se présentent à eux afin de les atteindre, stratégies qui peuvent éventuellement être interdépendantes (c'est-à-dire des situations dans lesquelles le sort de chaque participant dépend non seulement des décisions qu'il prend, mais également des décisions prises par les autres participants). Dans ce cours, nous aborderons plus spécifiquement l'approche computationnelle des jeux qui se base sur des modélisations informatiques des situations de jeux (modèles à base d'états et graphes, modèles à base de contraintes...) et qui s'attache à automatiser la recherche de stratégies et à analyser leurs performances (optimalité). Ce cours abordera la théorie et la pratique de la recherche de solutions optimales et satisfaisantes pour les jeux combinatoires à plusieurs joueurs, tels que les jeux populaires tels que Sodoku, Sokoban, Othello, Dames... Il inclura les points suivants : la représentation pertinente des informations, la prise de décisions rationnelles, la modélisation de séquences d'actions, la prise en compte des gains et de la structure de l'information et la capitalisation de l'expérience, l'agrégation de préférences conflictuelles, les algorithmes de parcours des espaces de jeu combinatoires. Une liste non exhaustive des notions abordées est : jeu sous forme normale, équilibres de Nash, jeux compétitifs, jeux séquentiels, jeux répétés, jeux bayésiens, jeux de réflexion, minmax, alphabeta.

Enseignement d'intégration n°1 : Jeux adversariaux pour la conception logicielle

- **Partenaire associé** : CEA
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Breve description** : Les systèmes informatiques ouverts sur leur environnement (réseaux, web, capteurs, utilisateurs) évoluent de manière indépendante et concurrente. En termes de théorie des jeux, spécifier un programme revient à caractériser un jeu dont les parties sont constituées de séquences infinies d'interactions entre deux joueurs, le système et l'environnement ; et vérifier ou synthétiser un programme revient à calculer une stratégie gagnante selon tout ou partie du jeu défini par la spécification. Selon les systèmes modélisés et les objectifs visés, différentes familles de jeux (accessibilité, parité, Büchi), définis en termes de théories des automates, sont mis en jeu.

Enseignement d'intégration n°2 : Jeux stratégiques pour l'économie

- **Partenaire associé** : Société de conseil de direction générale Boston Consulting Group
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Breve description** : Conseiller un acteur industriel ou public sur la stratégie à mener nécessite l'identification des parties prenantes, de leurs intérêts et de leur réaction. La théorie des jeux demeure un précieux guide lorsque la complexité du monde réel requiert des simplifications (i.e., un modèle) de la situation, des opportunités et des menaces. L'enseignement d'intégration proposera aux étudiants de traiter un cas d'étude semblable à certains traités par le BCG dans le cadre de ses missions de conseil, et de défendre une stratégie à suivre pour un certain acteur-client devant un parterre de consultants jouant le rôle de cet acteur-client.

Enseignement d'intégration n°3 : Jeux de congestion pour les transports

- **Partenaire associé** : IRT SystemX, EPAPS, Floware
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Breve description** : Les systèmes de transports induisent des interactions stratégiques entre les utilisateurs. Les stratégies individuelles (choix du mode de transport, de l'heure de départ, de l'itinéraire, ...) sont susceptibles de créer des congestions qui vont à l'encontre de l'intérêt collectif. Le prix de la non-coordination est mesuré par la

perte de bien-être dû à la sous-optimalité de l'agrégation des comportements individuels. Il peut être amélioré par des politiques de gestion du réseau (tarification, ouverture ou fermeture de route).

Enseignement d'intégration n°4 : Jeux évolutionnaires

- **Partenaire associé** : Genoscope, Evry
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : Les jeux évolutionnaires sont la déclinaison de la théorie des jeux pour l'étude de l'évolution des populations. Les individus se rencontrent et se reproduisent selon certaines règles en lien avec leurs caractéristiques (phénotype, gène, ...). Conformément à la théorie de la sélection naturelle de Darwin, le gain s'exprime en termes de capacité à se reproduire (*fitness*). Les algorithmes évolutionnaires sont des algorithmes bio-inspirés qui font évoluer une population de solutions candidates, avec des mécanismes de sélection et mutation définis à partir d'une fonction d'évaluation.

1SC2810 – Approche computationnelle des jeux

Responsables : **Pascale Le Gall**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT INFORMATIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

La théorie des jeux est l'étude formelle de l'interaction entre les systèmes ou agents rationnels définis par des objectifs qu'ils cherchent à atteindre et par les options stratégiques qui se présentent à eux afin de les atteindre, stratégies qui peuvent éventuellement être interdépendantes (c'est-à-dire des situations dans lesquelles le sort de chaque participant dépend non seulement des décisions qu'il prend, mais également des décisions prises par les autres participants). Dans ce cours, nous aborderons plus spécifiquement l'approche computationnelle des jeux qui se base sur des modélisations informatiques des situations de jeux (modèles à base d'états et graphes, modèles à base de contraintes.) et qui s'attache à automatiser la recherche de stratégies et à analyser leurs performances (optimalité). Ce cours abordera la théorie et la pratique de la recherche de solutions optimales et satisfaisantes pour les jeux combinatoires à plusieurs joueurs, tels que les jeux populaires tels que Soduku, Sokoban, Othello, Dames... Il inclura les points suivants : la représentation pertinente des informations, la prise de décisions intelligentes (c'est-à-dire satisfaisantes, quasi-optimales ou optimales), la modélisation de séquences d'actions, la prise en compte des gains et de la structure de l'information et la capitalisation de l'expérience, l'agrégation de préférences conflictuelles, les algorithmes de parcours des espaces de jeu combinatoires.

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

ST2

Prérequis

Le cours d'algorithmique et complexité, commun à tous lors de cette séquence.

Plan détaillé du cours (contenu)

Théorie des jeux

Terminologie (jeu, paiement., stratégies, ...), Modélisation et différentes représentations d'un jeu (forme stratégique - forme extensive), Domaine d'applications : économie, tarification, enchères, routage, ...

Jeu sous forme normale : Stratégies dominées, prudentes, bien-être social, optimum de Pareto. Exemples représentatifs : Dilemme du prisonnier, Bataille des sexes, Jeux coopératifs. Stratégies pures et mixtes, Equilibres de Nash. Jeux compétitifs, Jeux répétés. Jeux bayésiens.

Jeux sous forme extensive : définition, modélisation (arbre de jeu), à information parfaite ou imparfaite, avec hasard, sélection de stratégie, induction à rebours, équilibres parfaits en sous-jeux, représentation équivalente sous forme stratégique

Jeux séquentiels à 2 joueurs : étude théorique, résolution pratique et recherche d'une stratégie gagnante. Cette partie sera illustrée par des exemples typiques de jeux combinatoires comme le jeu de Nim. Algorithmes pour les stratégies par méthode adversariale (minimax, alphabeta) ou approchée (Monte Carlo, Algorithme A*...)

Jeux à information incomplète : jeux et équilibres bayésiens.

Jeux de réflexion (Soduku, Nonogramme, ...) : introduction, modélisation à l'aide de contraintes - Algorithmes de résolution des problèmes de satisfaction de contraintes (propagation, arc consistance)

Déroulement, organisation du cours

Organisation classique avec des séances de cours, TD et TP

Organisation de l'évaluation

Évaluation obligatoire : 1 TP à rendre (TP de programmation en Python)

Examen écrit de 2h, avec documents.

L'examen écrit et l'évaluation obligatoire comptent respectivement pour 2/3 et 1/3 de la note finale

Support de cours, bibliographie

Diapositives du cours - Polycopié - Sujets et corrigés des TDs

Moyens

Ordinateurs personnels

1SC2891 – Jeux adversariaux pour la conception logicielle

Responsables : **Marc Aiguier**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Durant cette semaine d'enseignement d'intégration sera abordée la problématique du test de systèmes logiciels et cyber-physiques (systèmes embarqués, analogique-digital ...). Il sera proposé une exploration des liens pouvant être faits entre le test basé sur les modèles et la théorie des jeux, plus précisément la théorie des jeux adversariaux. Le but est de pouvoir exploiter des concepts et résultats de la théorie des jeux dans le cadre du test.

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

ST2

Prérequis

Avoir suivi les cours d'algorithmique et complexité et de modélisation.

Plan détaillé du cours (contenu)

- Le test de conformité consiste à vérifier la conformité d'une implantation par rapport à sa spécification. Dans le cadre de cette technique de test, à la fois l'implantation et la spécification peuvent être définies au moyen de système de transition avec entrée sortie (IOSTS). On peut alors systématiquement réexprimer ces IOSTS en tant que jeux à deux joueurs à information parfaite. En effet, dans le cadre du test, on peut considérer que les 2 joueurs sont le testeur et le système à tester, les coups joués par ces 2 joueurs étant : pour le testeur les inputs, et pour le système les outputs.

L'objectif de cet EI est de pouvoir implanter un outillage de test basé sur la théorie des jeux adversariaux, et d'appliquer cet outillage sur un système sous test (qui peut être un petit programme réel ou bien qui simule un système physique).

Les 25 élèves suivant cet EI seront répartis en 3 groupes de 8 à 9 élèves. Un groupe sera en charge de décrire et d'implanter le système sous test représentant un cas concret, tandis qu'un second groupe décrira la spécification du système. Pour finir, le 3ème groupe sera en charge d'implanter les algorithmes permettant de générer les tests à partir de techniques issues des jeux adversariaux pour assurer la conformité de l'implantation par rapport à sa spécification. A la fin de la semaine, l'ensemble sera intégré pour permettre de vérifier la conformité du cas concret par rapport à sa spécification, et ce au moyen de l'outillage développé par le 3ème groupe.

Organisation de l'évaluation

- L'après-midi du vendredi (dernier jour de l'EI) une évaluation sera faite par une présentation de chacun des groupes devant l'ensemble de la promotion ayant suivi cette séquence thématique.

Moyens

Equipe enseignante : Marc Aiguier, Erwan Mahé et Arnault Lapître (CEA-List)

- Taille des TD : 25 élèves au maximum
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : langage python et le logiciel Diversity développé par le CEA que les élèves installeront sur leur machine personnelle.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Savoir modéliser un problème en vue d'une réalisation informatique, et savoir vérifier son comportement par des techniques de test de conformité au moyen de résultats issus de la théorie des jeux adversariaux.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

4 compétences seront évaluées à l'issue de cet EI :

- C1 - Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques
- C4 - Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et son client
- C7 - Savoir convaincre
- C8 - Mener un projet en équipe

1SC2892 – Jeux stratégiques pour l'économie

Responsables : **Mehdi SENOUCI**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement d'intégration consiste à traiter un cas stratégique par groupes de 6 étudiants, en collaboration avec le cabinet de conseil BCG qui proposera un cas d'étude semblable aux cas traités dans le cabinet lui-même. Les étudiants seront amenés à mener une investigation et formuler des recommandations stratégiques à une certaine organisation dite "cliente". La soutenance finale se tiendra devant des membres du BCG. Le sujet sera présenté le premier jour de l'enseignement d'intégration.

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

ST2

Prérequis

Aucun.

Déroulement, organisation du cours

Travail en groupes.

Organisation de l'évaluation

Présentation finale par chaque groupe. Note individualisée.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Dépendra du cas proposé par le BCG.

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
C4.1 Penser client. Identifier/analyser les besoins, les enjeux et les contraintes d'autres parties prenantes, notamment sociétales et socio-économiques.

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

C8.1 Travailler en équipe/en collaboration

1SC2893 – Jeux de congestion pour les transports

Responsables : **Pascale Le Gall**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement d'intégration a pour objectif les enjeux de la modélisation et simulation des systèmes de transport en lien avec les choix individuels exprimés par les usagers en ce qui concerne le mode de transport (transports en commun, circulation douce, véhicules personnels). Les usagers sont en situation de partager les ressources (route, transports en commun) de sorte que son choix et son gain en termes de temps de transports ou de prix sont conditionnés par le nombre des autres usagers et leurs choix. Dans certaines configurations, les usagers sont amenés à faire des choix individuels, qui aboutissent à des situations de congestion, qui nuisent à l'intérêt général. Cette observation caractérise les jeux dits de congestion, pour lesquels les intérêts individuels et collectifs sont difficiles à concilier.

Dans ce contexte, les responsables politiques ont pour objectif de planifier les systèmes de transport public et l'aménagement du territoire avec la préoccupation d'optimiser l'équilibre entre le coût des infrastructures publiques et les équilibres résultants des choix individuels des usagers.

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

ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Enseignement en mode projet, assorti de plusieurs interventions (présentation du sujet, prise en main de l'outil de simulation, description du périmètre du plateau du Moulon, théorie des jeux de congestion, etc)

Organisation de l'évaluation

L'évaluation sera faite sur la base d'une présentation orale et d'un rapport écrit (chacun comptant pour moitié)

Support de cours, bibliographie

Les documents seront donnés en séance.

Moyens

L'enseignement d'intégration sera développé au travers d'une étude de cas particulier, par exemple, celle du quartier du Moulon englobant le campus CentraleSupélec Gif.

Partenaires

- IRT SystemX

-EPA Paris-Saclay (EPAPS <https://epa-paris-saclay.fr/>)

- Floware (<https://www.floware.fr/>)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Modélisation d'un problème à l'aide d'un outil de simulation multi-agents (SUMO) et analyse à l'aide de la théorie de jeux

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les compétences acquises à l'issue du cours sont :

- C1 "Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques"
- C4 "Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients"
- C7 "Savoir convaincre"
- C8 "Mener un projet, une équipe"

La compétence C1 sera évaluée via la capacité à modéliser un problème l'aide de la théorie des jeux, la compétence C4 sera évaluée sur la qualité des solutions proposées, la compétence C7 sera évaluée à l'aide d'une présentation orale, et la compétence C8 sera évalué par la réalisation de projet en groupes de 4 ou 5.

1SC2894 – Jeux évolutionnaires

Responsables : **Paolo Ballarini**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

La théorie des jeux évolutive est l'application de la théorie des jeux à l'étude de l'évolution des populations en biologie et plus en générale à l'étude des phénomènes biologiques avec des applications dans de nombreux domaines différents y compris la sociologie, l'anthropologie et l'économie. La théorie des jeux évolutive est basée sur l'évolution darwinienne et comprend trois étapes principales : la compétition (le jeu), la sélection naturelle (dynamique du réplicateur) et l'hérédité.

Dans ce contexte on s'intéresse aux algorithmes *génétiques* (qui font partie des *algorithmes évolutionnaires*) traitent des problèmes d'optimisation et recherche de paramètres en s'appuyant sur des opérateurs bio-inspirés tels que la mutation, le croisement et la sélection.

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

ST2

Prérequis

Avoir suivi le cours de la ST2 "Théorie des jeux"

Plan détaillé du cours (contenu)

Le sujet de l'EI a pour objectif d'appliquer des algorithmes évolutionnaires à une problématique bioinformatique. Le projet consiste donc à concevoir les opérateurs évolutionnaires, à les paramétrer (plusieurs paramètres sont à régler finement pour obtenir de bons résultats et il n'existe pas de méthodologie pour ce réglage qui doit être effectué en fonction des données et de l'objectif à atteindre) puis à les combiner au sein d'un jeu d'exécution afin d'obtenir une solution s'approchant le plus possible de l'objectif fixé, sachant que l'objectif n'est pas forcément atteignable. En conséquence, plusieurs paramètres pour plusieurs opérateurs doivent également être testés toujours dans le but d'améliorer la solution proposée. Par exemple, la question : "Que se passe-t-il si on réinjecte l'historique de l'évolution dans les opérateurs ?" nécessite d'effectuer de nombreuses exécutions afin de comparer les tendances.

Déroulement, organisation du cours

Les étudiants doivent être capables de s'organiser dans des groupes de travail afin de segmenter le travail à effectuer. Deux approches sont possibles : la collaboration ou la concurrence. Une troisième voie consisterait à combiner les approches, soit en même temps soit dans des temps différents durant le projet. Quelle est la capacité du groupe à s'organiser, à faire émerger des leaders, à en accepter l'émergence ? Quelle est la capacité des leaders à amener le groupe à l'objectif visé ?

Organisation de l'évaluation

L'évaluation consiste dans une soutenance finale où chaque groupe de travail va présenter le projet

Moyens

Développement et analyse d'un cadre d'optimisation basé sur des algorithmes génétiques à l'aide du langage de programmation Python.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Les compétences acquises à l'issue du cours sont :

- C1 "Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques"
- C4 "Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients"
- C7 "Savoir convaincre"
- C8 "Mener un projet, une équipe"

La compétence C1 sera évaluée via le rapport d'activité à rendre par chaque groupe d'élèves, la compétence C4 sera évaluée sur la qualité des solutions proposées notamment pendant la présentation orale du projet, la compétence C7 sera évaluée à l'aide d'une présentation orale, et la compétence C8 sera évaluée par la réalisation de projet en groupes de 4 ou 5.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Les étudiants auront acquis les notions de base pour la conception, l'implantation et la résolution de problèmes d'optimisation à travers la méthodologie d'algorithmes génétiques (évolutifs).

COURS SEQUENCE THEMATIQUE 4

ST4 – SURVEILLANCE DES SYSTEMES ET PRONOSTIC POUR LA GESTION DES RISQUES

Dominante : GSI (Grands Systèmes en Interaction)

Language : Anglais

Campus : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Les systèmes industriels complexes sont aujourd'hui tous intégrés dans des processus de gestion des risques. Ces processus visent à prévenir les défaillances graves, à en limiter les effets, et à optimiser les mesures de protection ou les procédures de remise en services. Ils englobent des domaines d'expertise à la fois nombreux et variés, tels que les statistiques appliquées, le management, la modélisation, la simulation, l'aide à la décision, etc. L'objectif général de cette séquence thématique est de montrer comment des domaines spécifiques liés au traitement de l'information (statistiques appliquées et traitement du signal) peuvent être utilisés pour contribuer à la gestion des risques.

Prenons l'exemple des systèmes de transports ferroviaires, terrestres ou aériens. Les infrastructures, les véhicules et les appareils accueillant les usagers sont équipés d'un grand nombre de capteurs qui collectent en permanence des données relatives à leur état de santé. Le traitement de ces données de surveillance collectées en ligne permet de détecter le vieillissement ou le dysfonctionnement de certains composants et d'effectuer des pronostics de pannes ou d'accidents. Si les problèmes sont détectés suffisamment tôt, on est en mesure d'anticiper, et d'adapter les plans de maintenance ou les modes opérationnels. On parlera alors de maintenance prédictive. Si les problèmes sont détectés trop tard, on sera davantage amené à gérer une situation de crise et à en réduire les effets. On parlera alors de résilience.

Afin d'optimiser en amont les stratégies de maintenance prédictive ou de résilience, on utilisera des données dites « historiques » collectées par les mêmes types de capteurs dans le passé ou issues d'études complémentaires (sur des systèmes similaires, en laboratoire, ...). Ces données serviront à construire des modèles et à estimer des indicateurs de performance tels que des coûts de maintenance ou des temps de remise en service après accident.

Ces démarches de détection/pronostic « en ligne », et d'optimisation amont sont applicables à d'autres secteurs tels que l'industrie lourde ou manufacturière, la production et la distribution d'énergie, l'extraction de ressources pétrolières, etc... Elles sont d'autant plus importantes dans des secteurs d'activité nécessitant un haut niveau de sûreté comme le nucléaire ou l'aéronautique.

Deux questions fondamentales sont abordées dans cette ST :

- Quels sont les gains, tant économiques qu'en termes de sûreté, qu'il est possible d'obtenir en optimisant la maintenance prédictive et la résilience des systèmes industriels et des infrastructures ?
- Quelles étapes faut-il suivre pour mettre en place une maintenance prédictive et une résilience pertinente ?

Prérequis conseillés

Cours communs de statistique et probabilité.

Séquence introductive : cette séquence a pour objectif de donner une vision de la thématique sous plusieurs angles :

- Conférences introductives sur la problématique de la résilience, analyse de risque et maintenance prédictive, enjeux économiques associés
- Mise en évidence de l'intérêt pour les méthodes avancées pour la maintenance, l'analyse de risque, le diagnostic
- Intervention liée à l'environnement social, économique et géopolitique, dans le contexte de l'industrie 4.0

Cours spécifique (60 HEE) : Surveillance des systèmes, pronostic et analyse de risque

Brève description : L'objectif général du cours est de montrer comment des approches statistiques et guidées par les données (modélisation probabiliste, estimation paramétrique, tests d'hypothèses, classification, machine learning, processus stochastiques) peuvent contribuer à la surveillance des systèmes, au pronostic de leur défaillance et à l'aide à la décision pour la maintenance ou la gestion des risques au sens large.

Il s'agit d'abord d'estimer la probabilité qu'un système technique ne remplisse pas sa fonction principale. Nous présentons un ensemble de méthodes qui permettent :

- De prédire l'instant de défaillance pour un élément isolé, ou un ensemble d'éléments interconnectés (dit un système),
- De prédire en ligne l'évolution d'un phénomène de dégradation en fonction des données de surveillance.

Il s'agit ensuite de savoir comment le traitement des informations disponibles sur la santé du système peut aider le décideur à minimiser le délai avant la remise en service et les effets d'une défaillance. Nous présentons un ensemble de méthodes qui permettent :

- De diagnostiquer une panne,
- D'évaluer la performance d'une stratégie de maintenance,
- De prendre une décision sous incertitudes sur la base de données historiques et de données de surveillance en ligne.

Enseignement d'intégration n°1 : Algorithmes de suivi et de décision de l'état de santé de moteurs d'avions. Application au diagnostic du circuit d'huile d'un turboréacteur.

- **Partenaire associé :** Safran
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay
- **Brève description :** La disponibilité et la sécurité des avions ont été au cœur du transport aérien dès leur création. Les défaillances, en particulier en vol, peuvent conduire à dérouter l'avion vers un aéroport différent de celui de destination ou à un retard à l'arrivée. Elles peuvent également dégrader de façon importante le moteur. Les surcouts engendrés peuvent être conséquents pour la compagnie ou le constructeur. En collaboration avec Safran, cet enseignement d'intégration s'intéresse au suivi de l'état de santé des moteurs d'avion en limitant l'étude, en raison de la complexité du problème général, au cas du circuit d'huile d'un turboréacteur. Le circuit d'huile joue un rôle essentiel dans la lubrification des paliers moteur d'un avion. Plusieurs modes de défaillances peuvent conduire à une dégradation de l'efficacité de la lubrification induisant l'endommagement du palier puis du moteur et par la suite un arrêt du moteur en vol. Cela a des conséquences importantes en termes économiques : disponibilité du moteur ou réparation si le moteur est réparable.
Les défaillances peuvent survenir par exemple en raison de fuites ou cokéfaction (dépôts sur les canalisations ou les gicleurs). Une des voies explorées pour détecter une défaillance de ce système est de surveiller un certain nombre de paramètres du circuit comme la pression ou la température.
Dans ce cas d'étude, l'objectif est d'être capable de détecter une dérive. L'utilisation directe de la pression est insuffisante en raison des dispersions des cas de vol.
Il s'agira donc de rechercher les paramètres influents sur la pression d'huile au moyen par exemple d'une modélisation statistique puis de mettre en place les algorithmes de suivi et de décision.

Enseignement d'intégration n°2 : Gestion du risque d'inondation pour un système de production électrique.

- **Partenaire associé :** EDF R&D
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay
- **Brève description :** L'exploitant de moyens de production d'électricité EDF a pour mission d'utiliser au mieux son système, dans la durée, afin de produire l'électricité prévue par son plan de charge de manière la plus profitable possible et en toute sûreté.

Un des défis majeurs de la gestion des risques dans ce secteur d'activité est la prévision et l'anticipation des effets des catastrophes naturelles, et plus généralement, des événements rares ayant un impact sur le bon fonctionnement des infrastructures. Une gestion des risques optimale passe par la prédiction des aléas, c'est-à-dire des événements initiateurs susceptibles de créer des dysfonctionnement, l'analyse de leurs conséquences et la mise en œuvre de barrières permettant d'en atténuer les effets.

L'objectif de ce projet est de reproduire l'optimisation d'une démarche de gestion des risques sur un cas d'usage. Il s'agit de dimensionner la hauteur d'une digue qui constitue une barrière de protection contre le risque d'inondation pour une centrale nucléaire située en bordure d'un fleuve.

L'analyse de risque est menée sur la base de données historiques de crues et d'un modèle physique d'écoulement permettant de calculer une hauteur du débordement. La prise de décision concernant la hauteur de digue est optimisée à partir d'un modèle de coût prenant en compte les coûts d'investissement, les coûts d'entretien, et les coûts en cas d'inondation.

Enseignement d'intégration n°3 : Aide à la détection de défaut et au diagnostic par l'analyse de données.

- **Partenaire associé :** EDP
- **Lieu :** Campus de Paris-Saclay
Brève description : L'aide à la détection des défaillances et au diagnostic est un élément clé dans le cadre de la sûreté et de la satisfaction client en après-vente pour le groupe Stellantis. Dans ce contexte ce projet vise à évaluer différentes approches *data driven* pour assister les démarches de surveillance et de diagnostic en garage.

L'objectif de ce projet, s'appuyant sur un ensemble de données (séries temporelles) simulées et partiellement étiquetées, est de mettre en œuvre des solutions numériques permettant de détecter l'anormalité de situations, de classer les défauts connus et de notifier et regrouper les défauts inconnus tout en minimisant le recours à une expertise technique.

Enseignement d'intégration n°4 : Estimation de la fiabilité basée sur les données et planification optimale des opérations pour les équipements de soins de santé.

- **Partenaire associé:** GE health care
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay
Brève description :
Les équipements de santé en général ont des exigences de fiabilité élevées : leur défaillance peut mettre directement en danger la vie des patients. Dans le même temps, les équipements de soins de santé ont également des exigences de disponibilité élevées : les hôpitaux en général ne pouvaient pas se permettre des temps d'arrêt trop longs car ils doivent continuer à servir les patients.

Comprendre la fiabilité des équipements de soins de santé est donc un sujet important dans les industries des soins médicaux. Dans ce projet, nous travaillons avec GE Healthcare (GE HC), l'un des principaux fournisseurs mondiaux d'équipements de soins de santé. GE HC doit satisfaire aux exigences élevées de fiabilité et de disponibilité de ses produits. Pour cela, ils doivent maintenir une chaîne d'approvisionnement après-vente (service) à grande échelle prenant en charge plus d'un million de systèmes installés dans le monde. Plus de 400 000 références de pièces détachées, dont environ 10 000 pièces réparables sont potentiellement nécessaires pour maintenir la base installée (IB). Comment gérer efficacement autant de produits, tout en satisfaisant les exigences élevées de fiabilité et de disponibilité, est donc un problème très difficile. Parallèlement, lors des phases de conception, de développement et surtout d'exploitation du produit, un grand nombre de données sont disponibles. Bien que ces données puissent être bruitées et contenir un grand degré d'informations manquantes et d'incertitude, ce sont des sources précieuses qui pourraient fournir des informations sur la fiabilité des produits, qui pourraient être utilisées pour améliorer l'efficacité du fonctionnement de la chaîne d'approvisionnement après-vente.

L'objectif de ce projet est donc de fournir des outils et des processus pour exploiter les informations de fiabilité des données et enrichir le processus de prise de décision dans les opérations de la chaîne d'approvisionnement après-vente. Dans ce projet, vous allez :

- Travailler avec le jeu de données réel fourni par GE HC ;
- Développer des modèles de fiabilité basés sur les données pour les équipements de soins de santé, tant au niveau des composants que du système ;
- Expérimenter comment gérer les « imperfections » d'un ensemble de données pratiques ;
- Découvrez comment améliorer un processus actuel à l'aide de l'analyse de données sur les données de fiabilité.

1SC4110 – Surveillance des systèmes, pronostic et analyse de risque

Responsables : **Anne BARROS**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT GÉNIE INDUSTRIEL ET OPÉRATIONS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

La surveillance des systèmes industriels, le pronostic et la prise de décision englobent plusieurs domaines d'expertise, de l'analyse de données au management, en passant par la modélisation et l'aide à la décision. Le contenu de ce cours est conçu pour être intégré dans une séquence thématique dédiée au traitement de l'information pour la surveillance des systèmes industriels et pour relever les défis proposés par les partenaires industriels lors de la semaine d'intégration.

L'objectif général du cours est de montrer comment des approches statistiques et guidées par les données (modélisation probabiliste, estimation paramétrique, tests d'hypothèses, classification, machine learning, processus stochastiques) peuvent contribuer à la surveillance des systèmes, au pronostic de leur défaillance et à l'aide à la décision pour la disponibilité des systèmes ou la gestion des risques au sens large.

Il s'agit d'abord d'estimer la probabilité qu'un système technique ne remplisse pas sa fonction principale. Nous présentons un ensemble de méthodes qui permettent :

- De prédire l'instant de défaillance pour un élément isolé, ou un ensemble d'éléments interconnectés (dit un système),
- De prédire en ligne l'évolution d'un phénomène de dégradation en fonction des données de surveillance.

Il s'agit ensuite de savoir comment le traitement des informations disponibles sur la santé du système peut aider le décideur à minimiser le délai avant la remise en service et les effets d'une défaillance. Nous présentons un ensemble de méthodes qui permettent :

- D'évaluer la disponibilité d'un système,
- De diagnostiquer une panne,
- De prendre une décision sous incertitudes.

Sur la base de données historiques et des données de surveillance en ligne.

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

ST4

Prérequis

Connaissance de base en probabilités, statistiques, et modélisation

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours est organisé autour de 6 chapitres, la proportion de temps consacré à chaque chapitre étant adaptée chaque année en fonction des challenges industriels pour les enseignements d'intégration.

- Modèles de durée de vie (Chapitre 1) : Ce chapitre est une application directe du cours "Data Analytics". Des méthodes d'analyses de données classiques sont appliquées à des bases de données contenant des temps de défaillance. De plus, des problèmes spécifiques de censure liés à l'analyse des défaillances des systèmes industriels sont présentés. Enfin, quelques métriques très utilisées en décision sous incertitude pour la disponibilité, la fiabilité et la gestion des risques des systèmes industriels sont présentées.
- Analyse des systèmes (Chapitre 2) : L'objectif est de définir des mesures de performance susmentionnées au niveau du système pour la décision sous incertitude.
- Pronostics et gestion de la santé (Chapitre 3) : Ce chapitre est à relier au cours "Traitement du signal". Les signaux liés aux vibrations, à la température, à la pression, etc., sont considérés comme des

"indicateurs de santé". Ils sont utilisés pour ajuster et mettre à jour les modèles de dégradation et faire du pronostic de défaillance en ligne.

- Évaluation de la disponibilité (chapitre 4) : l'objectif est de modéliser la dégradation d'un composant/système et l'impact d'une stratégie de surveillance/inspection/maintenance sur sa disponibilité ou sur son temps de remise en service.
- Diagnostic des défauts (Chapitre 5) : Ce chapitre est à relier aux cours "Traitement du signal" et "Analyse des données". Les résultats et outils issus des statistiques sont associés à des concepts de traitement du signal pour développer différentes méthodes liées au diagnostic de l'état de santé d'un système/composant.
- Aide à la décision pour le risque (Chapitre 6) : Ce chapitre est spécifique à ce cours et sera utile à tous les challenges industriels pour traiter les problèmes de décision sous incertitude.

Pour chaque chapitre, nous ne proposons qu'une sélection de méthodes et de concepts théoriques existants. Tous les chapitres ne couvrent pas tous les aspects du suivi, du pronostic et de la prise de décision. Mais ils constituent une bonne base de départ et pour développer des solutions liées aux enjeux industriels. Des références aux défis seront faites tout au long des conférences.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux et travaux dirigés en proportion égales.

Possibilité d'évolution vers une classe inversée.

Organisation de l'évaluation

Contrôle final sous la forme d'un examen écrit sur table de 2h.

Possibilité d'introduire un contrôle continu à hauteur de 20% de la note finale.

Support de cours, bibliographie

Polycopié de cours, Recueil de transparents, Video, Textbook Website Companion

Bibliographie :

- Marvin Rausand, Anne Barros, Arnljolt Hoyland, "System Reliability Theory", Models, Statistical Methods and Applications Third Edition, Wiley, 2020.
- Zio E. "An introduction to the basics of reliability and risk analysis". World Scientific, 2007.
- Kroger W. and Zio E. "Vulnerable Systems". Springer, 2013.
- Blanke, M., Kinnaert, M., Lunze, J., and Staroswiecki, M. (2015). Diagnosis and Fault-Tolerant Control. Springer Berlin Heidelberg.
- Byington, C., Roemer, M., and Galie, T. (2002). Prognostic enhancements to diagnostic systems for improved condition-based maintenance. In IEEE Aerospace Conference Proceedings.
- Zio E., "Computational Methods for Reliability and Risk Analysis", World Scientific Publishing, 2009.
- Baraldi P., Cadini F. and E. Zio, "Basics of Reliability and Risk Analysis: Worked Out Problems and Solutions", World Scientific Publishing, 2011.
- Shapiro, Alexander, Darinka Dentcheva, and Andrzej Ruszczyński. Lectures on stochastic programming: modeling and theory. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009.
- Powell, Warren B. "A unified framework for optimization under uncertainty." In Optimization Challenges in Complex, Networked and Risky Systems, pp. 45-83. INFORMS, 2016.

Moyens

- Equipe enseignante : Anne Barros, Yiping Fang
- Outils informatiques : Python/Matlab

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A l'issue de ce cours, l'étudiant doit être capable de:

- Avoir une connaissance générale des concepts fondamentaux impliquant le diagnostic, le pronostic et l'aide à la décision sous incertitude (typiquement pour l'optimisation de la disponibilité ou la minimisation d'un risque)
- Comprendre les principes des techniques d'analyse de données utiles pour étayer les analyses de fiabilité et de risque.
- Comprendre les méthodes simples du PHM (Pronostic and Health Management).
- Comprendre les méthodes simples de modélisation probabilistes permettant d'évaluer la disponibilité et le niveau de résilience d'un système.
- Comprendre les principes des approches statistiques et basées sur les données permettant de diagnostiquer l'état d'un système.
- Utiliser des outils informatiques et des logiciels (Matlab, par exemple) pour faciliter la mise en pratique des méthodes théoriques.

- Appliquer les méthodes théoriques permettant de prendre en charge la surveillance, la prévention des défaillances et des risques associés pour les systèmes d'ingénierie réels.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Comprendre les concepts de base pour la surveillance des systèmes, le pronostic de leur défaillance et la prise de décision sous incertitude. Cela s'inscrit dans C1.1.
- Connaître les grandes familles d'approches statistiques et guidées par les données qui permettent d'optimiser les décisions relatives au diagnostic, à l'anticipation des défaillances d'un système industriel, et à la gestion des risques. Cela s'inscrit dans C1.5 (jalon 2).
- Savoir appliquer des cadres méthodologiques théoriques à la résolution d'un problème réel. Cela s'inscrit dans C1.2 (jalons 1 et 2).
- Savoir mettre en œuvre ces approches sur des cas simples avec des outils informatiques (Matlab, Python par exemple). Cela s'inscrit dans C1.3 (jalons 1B, 2B).

1SC4191 – Diagnostic de l'état de santé du circuit d'huile d'un turboréacteur

Responsables : **Sorin Olaru**

Département de rattachement : **DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

La disponibilité et la sécurité des avions ont été au cœur du transport aérien dès leur création. Les défaillances, en particulier en vol, peuvent conduire à dérouter l'avion vers un aéroport différent de celui de destination ou à un retard à l'arrivée. Elles peuvent également dégrader de façon importante le moteur. Les surcoûts engendrés peuvent être conséquents pour la compagnie ou le constructeur. En collaboration avec Safran, cet enseignement d'intégration s'intéresse au suivi de l'état de santé des moteurs d'avion en limitant l'étude, en raison de la complexité du problème général, au cas du circuit d'huile d'un turboréacteur. Le circuit d'huile joue un rôle essentiel dans la lubrification des paliers moteur d'un avion. Plusieurs modes de défaillances peuvent conduire à une dégradation de l'efficacité de la lubrification induisant l'endommagement du palier puis du moteur et par la suite un arrêt du moteur en vol. Cela a des conséquences importantes en termes économiques : disponibilité du moteur ou réparation si le moteur est réparable.

Les défaillances peuvent survenir par exemple en raison de fuites ou cokéfaction (dépôts sur les canalisations ou les gicleurs). Une des voies explorées pour détecter une défaillance de ce système est de surveiller un certain nombre de paramètres du circuit comme la pression ou la température.

Dans ce cas d'étude, l'objectif est d'être capable de détecter une dérive. L'utilisation directe de la pression est insuffisante en raison des dispersions des cas de vol.

Il s'agira donc de rechercher les paramètres influents sur la pression d'huile au moyen par exemple d'une modélisation statistique puis de mettre en place les algorithmes de suivi et de décision.

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

ST4

Prérequis

Statistique et probabilité

Plan détaillé du cours (contenu)

- Contexte économique : importance de la disponibilité et de la résilience dans le secteur ferroviaire.
- Signification de ces concepts dans ce contexte. Implications pour la conception et pour la maintenance.
- Les principes et les outils de classification, prise de décision et PHM (« Pronostics & Health Management ») et leur déclinaison dans le contexte.
- Les apports de la transformation numérique.
- Lien avec la sûreté de fonctionnement.
- Référentiels normatifs.
- Indicateurs de performance.
- Applications concrètes.
- Perspectives et défis.
- Freins à l'adoption et accompagnement au changement.
- Implications pour le métier et les acteurs de la maintenance, de la conception et de l'exploitation.

1ère partie : introduction aux concepts et aux enjeux (un intervenant Safran).

2è partie : mise en œuvre sur un exemple pratique.

3è partie (groupe—une semaine) : travail en groupe d'étudiants sur des données fournies par Safran.

Déroulement, organisation du cours

Enseignement par projet

Modalités de participation du partenaire impliqué

- Participation d'intervenants Safran à la séance introductive.
- Présence d'un intervenant Safran en mode 'coaching' lors du travail de groupe.

Lors de ce travail, des données industrielles (éventuellement anonymisées) seront fournies aux étudiants.

Certaines seront étiquetées (« labellisées »), d'autres non. Certaines comporteront des indications historiques provenant des mainteneurs : types de défauts ou de dégradations identifiés, actions de maintenance réalisées), d'autres non.

Il sera demandé aux étudiants de combiner connaissance de systèmes physiques et algorithmes de traitement de données pour extraire des informations utiles à partir des données brutes et formuler des préconisations à l'usage des mainteneurs.

Deux modalités sont envisagées :

- Soit répartir les tâches en petits groupes d'étudiants ;
- Soit donner les mêmes tâches à deux ou trois groupes qui travailleront en parallèle, en mode « challenge ».

Organisation de l'évaluation

Présentation orale et évaluation du projet tout au long de la semaine.

En ce qui concerne les compétences C4,6,7,8, l'évaluation sera faite conjointement avec les partenaires industriels lors de réunions régulières, au moyen de défis numériques et lors de la présentation finale.

Moyens

1 salle pour 30 élèves, avec projecteur, organisée en îlots par groupe

Logiciels utilisés : Python sur PC individuels des étudiants...

2 enseignants + 1 intervenant Safran

Participation de Safran sur l'ensemble de la semaine (avec si besoin plusieurs intervenants qui pourront se relayer dans la semaine).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- d'appréhender la problématique de la résilience des systèmes et de la maintenance prédictive ainsi que les gains potentiels à mener une telle démarche
- d'analyser un système complexe et développer les éléments de réflexion permettant d'aboutir à un modèle représentation (physique, statistique ...) des phénomènes dont la mise en évidence fait l'objet de l'étude
- de mener la démarche de modélisation avec un choix approprié des hypothèses de modélisation et à appréhender les limites des modèles
- d'appréhender et d'utiliser des algorithmes de « machine learning » pour l'extraction d'informations utiles à la maintenance prédictive à partir de données brutes
- de conclure et décider sur la pertinence de la démarche et sur les performances des algorithmes évalués

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C.1.1 : Il s'agit de comprendre et analyser un système complexe et étudier le problème dans sa globalité pour la prise de décision où les dimensions économiques et humaines sont importantes.

Les aspects coût et impact humain sont importants d'une part pour les décideurs qu'il s'agira de convaincre des gains économiques d'une telle solution tout en conservant un niveau de sécurité important voire en l'améliorant selon le projet, d'autre part de convaincre les utilisateurs de la viabilité et de la fiabilité des solutions envisagées.

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

Dans tous les projets il sera nécessaire de récupérer un volume de données de taille importante auprès d'un industriel et provenant de différentes sources. Il se posera alors le problème de l'agrégation des données, des hypothèses permettant d'éliminer les données aberrantes et d'un(des) modèle(s) pour le choix de l'échelle appropriée et du niveau de précision requis.

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

Dans ce contexte il s'agira de créer de la valeur pour le client en augmentant le temps de disponibilité en évaluant le risque de défaillance, en optimisant les phases de maintenance (périodicité, matériels critiques, etc.).

C6 : Être à l'aise et innovant dans le monde numérique

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

Il s'agira ici de traiter données massives fournies par l'industriel. Ces données exploitées au moyen d'algorithmes

à développer fourniront des informations sur les risques de défaillance. L'exploitation des données pour le diagnostic nécessiteront au préalable un traitement en vue d'éliminer les données aberrantes.

C7 : Rassembler les informations pertinentes et fiables pour soutenir un argumentaire (par exemple pour récupérer les données pertinentes).

C8 Mener un projet, une équipe

1SC4192 – Gestion du risque d'inondation pour un système de production électrique

Responsables : **Sorin Olaru**

Département de rattachement : **DOMINANTE - GRANDS SYSTÈMES EN INTERACTION**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

L'exploitant de moyens de production d'électricité EDF a pour mission d'utiliser au mieux son système, dans la durée, afin de produire l'électricité prévue par son plan de charge de manière la plus profitable possible et en toute sûreté.

Un des défis majeurs de la gestion des risques dans ce secteur d'activité est la prévision et l'anticipation des effets des catastrophes naturelles, et plus généralement, des événements rares ayant un impact sur le bon fonctionnement des infrastructures. Une gestion des risques optimale passe par la prédiction des aléas, c'est-à-dire des événements initiateurs susceptibles de créer des dysfonctionnement, l'analyse de leurs conséquences et la mise en œuvre de barrières permettant d'en atténuer les effets.

L'objectif de ce projet est de reproduire l'optimisation d'une démarche de gestion des risques sur un cas d'usage. Il s'agit de dimensionner la hauteur d'une digue qui constitue une barrière de protection contre le risque d'inondation pour une centrale nucléaire située en bordure d'un fleuve.

L'analyse de risque est menée sur la base données historiques de crues et d'un modèle physique d'écoulement permettant de calculer une hauteur du débordement. La prise de décision concernant la hauteur de digue est optimisée à partir d'un modèle de coût prenant en compte les coûts d'investissement, les coûts d'entretien, et les coûts en cas d'inondation.

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

ST4

Prérequis

1SC4110 – Surveillance des systèmes, Pronostic et Analyse de risque

Plan détaillé du cours (contenu)

Le projet contient deux éléments principaux sur lesquels l'étude doit s'appuyer :

- Une description physique de la berge, de la digue et du phénomène de débordement
- Des données incomplètes de crue sur une période de 30 ans

L'étude est découpée en trois work-package (WP) :

- Un premier WP concerne l'utilisation des données historiques pour prédire le niveau possible du fleuve sur une période de 30 ans. Du point de vue de l'ingénieur en charge de l'étude, il faut gérer le fait que les données sont incomplètes et être capable d'évaluer la qualité des prédictions notamment pour l'occurrence d'événements extrêmes et rares (très hauts niveaux de crues).
- Un second WP concerne l'utilisation d'un modèle physique pour dimensionner la digue en propageant les incertitudes sur les paramètres du modèle et sur les niveaux possibles de crue. Du point de vue de l'ingénieur en charge de l'étude, il faut mettre en place une procédure de simulation de Monte Carlo et en évaluer la qualité.
- Un troisième WP concerne l'utilisation d'un modèle de coût. Du point de vue de l'ingénieur en charge de l'étude, il faut fournir des indicateurs de décision fiables (hauteur optimale de la digue) avec des incertitudes associées.

Déroulement, organisation du cours

Enseignement par projet

- 1ère partie : introduction aux concepts et aux enjeux (un intervenant EDF).
- 2ème partie : mise en œuvre de méthodes statistiques sur des données de crue et des modèles physiques, simulation de Monte Carlo

Organisation de l'évaluation

Présentation orale et évaluation du projet tout au long de la semaine.

En ce qui concerne les compétences C4,6,7,8, l'évaluation sera faite conjointement avec les partenaires industriels lors de réunions régulières, au moyen de défis numériques et lors de la présentation finale.

Moyens

1 salle pour 30 élèves, avec projecteur, organisée en îlots par groupe

Logiciels utilisés : Python, ...

2 enseignants + 1 intervenant EDF

Participation de EDF sur l'ensemble de la semaine.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- d'appréhender la problématique de la gestion des risques et de la prise de décision sous incertitude
- d'analyser un système complexe et développer les éléments de réflexion permettant d'aboutir à un modèle de représentation (physique, statistique ...) des phénomènes dont la mise en évidence fait l'objet de l'étude
- de mener la démarche de modélisation avec un choix approprié d'hypothèses de modélisation et à appréhender les limites des modèles
- de conclure et décider sur la pertinence de la démarche et sur les performances des solutions de modélisation proposées

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C.1.1 : Il s'agit de comprendre et analyser un système complexe et étudier le problème dans sa globalité pour la prise de décision où les dimensions économiques et humaines sont importantes.

Les aspects coût et impact humain sont importants d'une part pour les décideurs qu'il s'agira de convaincre des gains économiques d'une telle solution tout en conservant un niveau de sécurité important voire en l'améliorant selon le projet, d'autre part de convaincre les utilisateurs de la viabilité et de la fiabilité des solutions envisagées.

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

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

Dans ce contexte il s'agira de créer de la valeur pour le client en optimisant les marges de sécurité liées au dimensionnement.

C6 : Être à l'aise et innovant dans le monde numérique

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

C7 : Rassembler les informations pertinentes et fiables pour soutenir un argumentaire (par exemple pour récupérer les données pertinentes).

C8 : Mener un projet, une équipe

1SC4194 – Aide à la détection de défaut et au diagnostic par l'analyse de données

Responsables : **Anne BARROS**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT GÉNIE INDUSTRIEL ET OPÉRATIONS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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) : **24,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

L'aide à la détection des défaillances et au diagnostic est un élément clé dans le cadre de la sûreté et de la satisfaction client en après-vente pour le groupe Stellantis. Dans ce contexte ce projet vise à évaluer différentes approches *data driven* pour assister les démarches de surveillance et de diagnostic en garage.

L'objectif de ce projet, s'appuyant sur un ensemble de données (séries temporelles) simulées et partiellement étiquetées, est de mettre en œuvre des solutions numériques permettant de détecter l'anormalité de situations, de classer les défauts connus et de notifier et regrouper les défauts inconnus tout en minimisant le recours à une expertise technique.

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

ST4

Prérequis

1SC4110 – Surveillance des systèmes, Pronostic et Analyse de risque

Plan détaillé du cours (contenu)

Le projet s'appuie sur un jeu de données (séries temporelles) simulées d'un système de contrôle commande (signal de consigne et signal de mesure de la grandeur régulée). Les données sont partiellement étiquetées : situation normale et différents types de défaut (ex : défaut actionneur, défaut capteur, ...). L'objectif est d'élaborer un système de détection permettant de reconnaître les situations normales des situations anormales. Une fois la détection réalisée, un second système de classification doit permettre de regrouper les défauts similaires (diagnostic). L'un des éléments clés est que tous les défauts ne sont pas étiquetés est qu'une démarche « dynamique » est nécessaire pour regrouper des défauts similaires non étiquetés. Dans ce contexte, le recours à un oracle permettant d'étiqueter une situation est possible mais doit être minimisé.

Déroulement, organisation du cours

Enseignement par projet

- 1ère partie : introduction aux concepts et aux enjeux (un intervenant Stellantis).
- 2ème partie : mise en œuvre de méthodes statistiques sur des données simulées

Organisation de l'évaluation

Présentation orale et contrôle continu

Moyens

1 salle pour 30 élèves, avec projecteur, organisée en îlots par groupe

Logiciels utilisés : Matlab/Simulink (accès réseau pour licence – filaire ou wifi dimensionné) sur PC individuels des étudiants ; Python, ...

2 enseignants + 1 intervenant EDF

Participation de EDF sur l'ensemble de la semaine.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- d'appréhender la problématique de la gestion des risques et de la prise de décision sous incertitude

- d'analyser un système complexe et développer les éléments de réflexion permettant d'aboutir à un modèle de représentation (physique, statistique ...) des phénomènes dont la mise en évidence fait l'objet de l'étude
- de mener la démarche de modélisation avec un choix approprié d'hypothèses de modélisation et à appréhender les limites des modèles
- de conclure et décider sur la pertinence de la démarche et sur les performances des solutions de modélisation proposées

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C.1.1 : Il s'agit de comprendre et analyser un système complexe et étudier le problème dans sa globalité pour la prise de décision où les dimensions économiques et humaines sont importantes.

Les aspects coût et impact humain sont importants d'une part pour les décideurs qu'il s'agira de convaincre des gains économiques d'une telle solution tout en conservant un niveau de sécurité important voire en l'améliorant selon le projet, d'autre part de convaincre les utilisateurs de la viabilité et de la fiabilité des solutions envisagées.

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

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

Dans ce contexte il s'agira de créer de la valeur pour le client en optimisant les marges de sécurité liées au dimensionnement.

C6 : Être à l'aise et innovant dans le monde numérique

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

C7 : Rassembler les informations pertinentes et fiables pour soutenir un argumentaire (par exemple pour récupérer les données pertinentes).

C8 : Mener un projet, une équipe

1SC4195 – Estimation de la fiabilité basée sur les données et planification optimale des opérations pour les équipements de soins de santé

Responsables : **Anne BARROS, Zhiguo ZENG**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT GÉNIE INDUSTRIEL ET OPÉRATIONS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Les équipements de santé en général ont des exigences de fiabilité élevées : leur défaillance peut mettre directement en danger la vie des patients. Dans le même temps, les équipements de soins de santé ont également des exigences de disponibilité élevées : les hôpitaux en général ne pouvaient pas se permettre des temps d'arrêt trop longs car ils doivent continuer à servir les patients. Comprendre la fiabilité des équipements de soins de santé est donc un sujet important dans les industries des soins médicaux.

Pour ce projet, nous travaillons avec GE Healthcare (GE HC), l'un des principaux fournisseurs mondiaux d'équipements de soins de santé. GE HC doit satisfaire aux exigences élevées de fiabilité et de disponibilité de ses produits. Pour cela, ils doivent maintenir une chaîne d'approvisionnement après-vente (service) à grande échelle prenant en charge plus d'un million de systèmes installés dans le monde. Plus de 400 000 références de pièces détachées, dont environ 10 000 pièces réparables sont potentiellement nécessaires pour maintenir la base installée (IB). Comment gérer efficacement autant de produits, tout en satisfaisant les exigences élevées de fiabilité et de disponibilité, est donc un problème très difficile. Parallèlement, lors des phases de conception, de développement et surtout d'exploitation du produit, un grand nombre de données sont disponibles. Bien que ces données puissent être bruyantes et contenir un grand nombre d'informations manquantes et d'incertitudes, ce sont des sources précieuses qui pourraient fournir des informations sur la fiabilité des produits, qui pourraient être utilisées pour améliorer l'efficacité du fonctionnement de la chaîne d'approvisionnement après-vente.

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

ST4

Prérequis

Statistique et probabilité

Plan détaillé du cours (contenu)

Le projet appliquera des outils et des processus pour exploiter les informations de fiabilité des données et pour enrichir le processus de prise de décision dans les opérations de la chaîne d'approvisionnement après-vente.

Dans ce projet, les étudiants seront capables de :

- Travailler avec le jeu de données réel fourni par GE HC ;
- Développer des modèles de fiabilité basés sur les données pour les équipements de soins, tant au niveau des composants que du système ;
- Expérimenter comment gérer les « imperfections » d'un ensemble de données pratiques ;
- Découvrir comment améliorer un processus actuel à l'aide de l'analyse de données sur les données de fiabilité.

Déroulement, organisation du cours

Enseignement par projet

Modalités de participation du partenaire impliqué

- o Participation d'intervenants GE à la séance introductive.
- o Présence d'un intervenant GE en mode 'coaching' lors du travail de groupe.

Lors de ce travail, des données industrielles (éventuellement anonymisées) seront fournies aux étudiants. Certaines seront étiquetées (« labellisées »), d'autres non. Certaines comporteront des indications historiques provenant des mainteneurs : types de défauts ou de dégradations identifiés, actions de maintenance réalisées), d'autres non.

Il sera demandé aux étudiants de combiner connaissance de systèmes physiques et algorithmes de traitement de données pour extraire des informations utiles à partir des données brutes et formuler des préconisations à l'usage des mainteneurs.

Deux modalités sont envisagées :

- Soit répartir les tâches en petits groupes d'étudiants ;
- Soit donner les mêmes tâches à deux ou trois groupes qui travailleront en parallèle, en mode « challenge ».

Organisation de l'évaluation

Présentation orale et évaluation du projet tout au long de la semaine.

En ce qui concerne les compétences C4,6,7,8, l'évaluation sera faite conjointement avec les partenaires industriels lors de réunions régulières, au moyen de défis numériques et lors de la présentation finale.

Support de cours, bibliographie

Biblio des cours de la ST4 GSI

Moyens

1 salle pour 40 élèves, avec projecteur, organisée en îlots par groupe

Logiciels utilisés : Python

2 enseignants + 1 intervenant GE

Participation de GE sur l'ensemble de la semaine (avec si besoin plusieurs intervenants qui pourront se relayer dans la semaine).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- d'appréhender la problématique de la résilience des systèmes et de la maintenance prédictive ainsi que les gains potentiels à mener une telle démarche
- d'analyser un système complexe et développer les éléments de réflexion permettant d'aboutir à un modèle représentation (physique, statistique ...) des phénomènes dont la mise en évidence fait l'objet de l'étude
- de mener la démarche de modélisation avec un choix approprié des hypothèses de modélisation et à appréhender les limites des modèles
- d'appréhender et d'utiliser des algorithmes de « machine learning » pour l'extraction d'informations utiles à la maintenance prédictive à partir de données brutes
- de conclure et décider sur la pertinence de la démarche et sur les performances des algorithmes évalués

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 : Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C.1.1 : Il s'agit de comprendre et analyser un système complexe et étudier le problème dans sa globalité pour la prise de décision où les dimensions économiques et humaines sont importantes.

Les aspects coût et impact humain sont importants d'une part pour les décideurs qu'il s'agira de convaincre des gains économiques d'une telle

solution tout en conservant un niveau de sécurité important voire en l'améliorant selon le projet, d'autre part de convaincre les utilisateurs de la viabilité et de la fiabilité des solutions envisagées.

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

Dans tous les projets il sera nécessaire de récupérer un volume de données de taille importante auprès d'un industriel et provenant de différentes sources. Il se posera alors le problème de l'agrégation des données, des hypothèses permettant d'éliminer les données aberrantes et d'un(des) modèle(s) pour le choix de l'échelle appropriée et du niveau de précision requis.

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

Dans ce contexte il s'agira de créer de la valeur pour le client en augmentant le temps de disponibilité en évaluant le risque de défaillance, en optimisant les phases de maintenance (périodicité, matériels critiques, etc.).

C6 : Être à l'aise et innovant dans le monde numérique

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

Il s'agira ici de traiter données massives fournies par l'industriel. Ces données exploitées au moyen d'algorithmes à développer fourniront des informations sur les risques de défaillance. L'exploitation des données pour

le diagnostic nécessiteront au préalable un traitement en vue d'éliminer les données aberrantes.

C7 : Rassembler les informations pertinentes et fiables pour soutenir un argumentaire (par exemple pour récupérer les données pertinentes).

C8 : Mener un projet, une équipe

ST4 – BIG DATA & SANTE: DE L'ACQUISITION DE DONNEES A LA PRISE DE DECISION

Dominante : VSE (Vivant-Santé Environnement)

Language : Français

Campus : Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

La santé et plus généralement le domaine du vivant vit une véritable révolution technologique qui permet des acquisitions de données de plus en plus volumineuses (signaux, images, résultats de mesure, etc.). À titre d'exemple, citons les données génomiques qui permettent désormais d'explorer l'activité multi-échelle d'une cellule de plus en plus finement. Citons également l'imagerie médicale qui constitue un des piliers de la médecine, que ce soit en médecine et chirurgie conventionnelles ou dans le domaine des neurosciences. La « révolution des données » impacte tous les domaines du vivant et nous proposons, dans le cadre de cette séquence thématique, d'en explorer les conséquences en épidémiologie, cancérologie et dans le cadre des maladies neurodégénératives. Cette séquence thématique se positionne résolument sur le volet traitement de données biomédicales et offre un terrain de rencontre et d'échange entre médecins/biologistes de plusieurs horizons et ingénieurs. Cette séquence thématique offre un terrain d'application où la statistique et le machine learning trouvent tous leur sens.

Prérequis conseillés

Pas de prérequis

Modules contexte et enjeux : Cette introduction à la séquence thématique permettra de discuter la place prise par les données dans le domaine de la santé et de mettre en lumière le positionnement de l'ingénieur dans ce contexte. Le recueil de données, que ce soit pour l'étude de grandes cohortes ou pour des essais cliniques, requiert des moyens matériels innovants : des visites sur site chez l'un de nos partenaires vous seront proposées afin que vous permettiez d'appréhender cet aspect important préalable à toute étude statistique. Les différents enseignements d'intégration seront également présentés par les partenaires.

Cours spécifique (60 HEE) : Biologie et Statistique

Brève description : La cellule est un système complexe multi-échelle que les biologistes étudient depuis plusieurs siècles. L'essor de nouvelles technologies permet désormais de l'explorer et de mesurer son activité de plus en plus finement. L'objectif de la première partie du cours est de présenter les différentes facettes de la cellule pour mieux en appréhender le fonctionnement global. Les technologies de mesure seront également abordées.

La deuxième partie du cours présente les méthodes statistiques largement utilisées dans le domaine biomédical. À l'issue de cette partie, les élèves disposeront d'une boîte à outils utile pour répondre aux différentes questions soulevées par l'analyse de données biomédicales.

Ce cours sera très largement illustré sur des applications médicales afin de permettre aux élèves d'acquérir les connaissances et le vocabulaire nécessaire à la compréhension des applications proposées en EI (bases en biologie, en génomique, etc.), de comprendre l'origine de l'énorme volume de données liées aux applications médicales. C'est la raison pour laquelle, environ la moitié du volume global de ce cours sera réservé à nos partenaires médecins/biologistes.

Enseignement d'intégration n°1 : Maladie Infectieuse : Le projet milieu Intérieur

- **Partenaire associé :** Institut Pasteur

- **Lieu** : Campus Paris-Saclay

- **Description** : Le projet « Milieu Intérieur », coordonné par l'Institut Pasteur, a été développé pour mieux comprendre la diversité des réactions immunes au sein de la population dans le but plus large de contribuer au développement de la médecine de précision. Dans le cadre de ce projet, une cohorte de 1000 individus a été constituée et plusieurs grands jeux de données ont été générés, notamment des données socio-démographiques et cliniques, des données de composition cellulaires sanguines, ainsi que des données d'expression géniques dans différentes conditions de stimulation immunes pour chacun des individus. Durant cet EI, nous vous proposons d'analyser et de croiser ces données entre elles afin d'identifier les facteurs qui différencient les individus dans leurs réponses aux stimulations immunes et éventuellement d'expliquer et de prédire ces réactions. L'objectif sera d'appliquer des méthodes d'analyse statistique descriptives et prédictives afin d'extraire de ces données des informations biologiques pertinentes.

- **Déroulement**. Les élèves impliqués dans cet enseignement d'intégration seront répartis en sous-groupes. Les sous-groupes analyseront les données à l'aide des différentes techniques abordées en cours. Les données et le problème étant fournis par l'Institut Pasteur, les étudiants seront amenés à rencontrer à plusieurs reprises ce partenaire. Enfin, ils auront à restituer leurs résultats devant l'ensemble des acteurs du projet (tous les élèves impliqués dans le projet, partenaire, encadrants).

Enseignement d'intégration n°2 : Utilisation de méthodes innovantes pour prédire la santé et la maladie dans les études d'exposome

- **Partenaire associé** : un ou plusieurs des instituts appliqués dans le projet européen ATHLETE (<https://athleteproject.eu>)

- **Lieu** : Campus Paris-Saclay

- **Brève description**. L'exposome, décrit comme "la totalité des expositions environnementales humaines depuis la conception", reconnaît que les individus sont exposés simultanément à une multitude de facteurs environnementaux différents et adopte une approche holistique pour la découverte des facteurs étiologiques des maladies. Le principal avantage de l'exposome par rapport aux approches traditionnelles "une exposition-une maladie" est qu'il fournit un cadre conceptuel sans précédent pour l'étude des multiples risques environnementaux (urbains, chimiques, liés au mode de vie, sociaux) et de leurs effets combinés. L'objectif de cet EI est de promouvoir des approches statistiques, de science des données ou d'autres approches quantitatives innovantes pour étudier les effets d'indicateurs d'exposition (exposome) sur la santé. L'ensemble de données comprendra de multiple phénotype de santé (quantitatif ou qualitatif), de multiples expositions, -omiques et des variables additionnelles non liées à l'exposition (par exemple, des facteurs de confusion potentiels).

- **Déroulement**. Les élèves impliqués dans ce projet seront répartis en sous-groupes. Les données et le problème étant fournis par nos partenaires du projet européen ATHLETE (voir <https://athleteproject.eu/consortium>), l'un de ces partenaires participera à l'encadrement du projet. Les étudiants seront amenés à le rencontrer à plusieurs reprises. Enfin, ils auront à restituer leurs résultats devant l'ensemble des acteurs du projet (tous les élèves impliqués dans le projet, partenaire, encadrants).

Enseignement d'intégration n°3 : Epidémiologie & Biostatistique sur un Entrepôt de Données de Santé hospitalier

- **Partenaire associé** : AP-HP (Assistance Publique - Hôpitaux de Paris)

- **Lieu** : Campus Paris-Saclay

- **Brève description**. L'Entrepôt de Données de Santé (EDS) de l'Assistance Publique – Hôpitaux de Paris (AP-HP) intègre les données administratives et médicales de plus de 8 millions de patients hospitalisés ou venus en consultation dans l'un de ses 39 établissements. Cet entrepôt permet d'améliorer le pilotage de l'activité hospitalière et de faire avancer la recherche scientifique dans le domaine de la santé en favorisant la réalisation d'études sur les données de vie réelle, la mise en place d'essais cliniques et le développement d'algorithmes d'aide à la décision. Nous vous proposons dans le cadre de cet Enseignement d'Intégration de découvrir l'EDS de l'AP-HP et ses spécificités via le prisme de l'analyse épidémiologique et biostatistique. Vous aurez notamment l'occasion de traiter des données structurées (données médico-économiques – diagnostics & actes, démographiques, parcours patient

et analyses biologiques) et non-structurées (comptes-rendus médicaux), intégrées dans une BDD synthétique largement inspirée de la structure de l'EDS. Vous devrez répondre à deux sujets de recherche (étude de surveillance épidémiologie et analyse de facteurs prédictifs du cancer du poumon), tout en décryptant et corrigeant les biais inhérents aux données de routine clinique.

-Déroulement. Les élèves impliqués dans ce projet seront répartis en sous-groupes. Les sous-groupes analyseront les données à l'aide des différentes techniques abordées en cours. Les données et le problème étant fournis par l'AP-HP, les étudiants seront amenés à rencontrer à plusieurs reprises ce partenaire. Enfin, ils auront à restituer leurs résultats devant l'ensemble des acteurs du projet (tous les élèves impliqués dans le projet, partenaire, encadrants).

Enseignement d'intégration n°4 : Diagnostic des cancers du foie en imagerie.

Partenaire associé : Service de radiologie de l'Hôpital Henri Mondor (AP-HP)

-Lieu : Campus Paris-Saclay

-Brève description. Les cancers du foie sont la troisième cause de décès par cancer dans le monde et constitue un problème de santé publique croissant. Les deux types les plus courants de cancer primitif du foie sont le carcinome hépatocellulaire (CHC) et le cholangiocarcinome intrahépatique (CCA). Un troisième type, l'hépatocholangiocarcinome (CHC-CCA), est une variante rare qui peut se présenter comme un mélange ou une coexistence des deux premiers types de cancer. Si le CHC peut être diagnostiqué de manière fiable en imagerie en cas de maladie du foie connue (cirrhose), le diagnostic de CCA ou de CHC-CCA est souvent plus difficile, avec des aspects équivoques en imagerie. Pourtant, ces types de cancer présentent des stratégies de traitement et des pronostics totalement différents, il est donc nécessaire de correctement les identifier. L'objectif de ce projet est de différencier ces trois types de cancers entre eux à partir de paramètres quantitatifs reflétant l'hétérogénéité des tumeurs en Imagerie par résonance magnétique (IRM) à injection de produit de contraste.

-Déroulement. Les élèves impliqués dans ce projet seront répartis en sous-groupes. Les sous-groupes analyseront les données à l'aide des différentes techniques abordées en cours. Les données et le problème étant fournis par des radiologues de l'hôpital Henri Mondor (AP-HP), les étudiants seront amenés à rencontrer à plusieurs reprises des radiologues. Enfin, ils auront à restituer leurs résultats devant l'ensemble des acteurs du projet (tous les élèves impliqués dans le projet, partenaire, encadrants).

1SC4210 – Biologie et statistique

Responsables : **Laurent Le Brusquet, Arthur Tenenhaus**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

La cellule est un système complexe multi-échelle que les biologistes étudient depuis plusieurs siècles. L'essor de nouvelles technologies permet désormais de l'explorer et de mesurer son activité de plus en plus finement.

L'objectif de la première partie du cours est de présenter les différentes facettes de la cellule pour mieux en appréhender le fonctionnement global. Les technologies de mesure seront également abordées.

La deuxième partie du cours présente les méthodes statistiques largement utilisées dans le domaine biomédical.

À l'issue de cette partie, les élèves disposeront d'une boîte à outils utile pour répondre aux différentes questions soulevées par l'analyse de données biomédicales.

Ce cours sera très largement illustré sur des applications médicales afin de permettre aux élèves d'acquérir les connaissances et le vocabulaire nécessaire à la compréhension des applications proposées en EI (bases en biologie, en génomique, etc.), de comprendre l'origine de l'énorme volume de données liées aux applications médicales. C'est la raison pour laquelle, environ un tiers du volume global de ce cours sera réservée à nos partenaires médecins/biologistes.

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

ST4

Prérequis

Statistique et Apprentissage

Plan détaillé du cours (contenu)

PARTIE I : INTRODUCTION A LA BIOLOGIE CELLULAIRE et MOLECULAIRE (12h)

La cellule est un système complexe multi-échelle que les biologistes étudient depuis plusieurs siècles. L'essor de nouvelles technologies permet désormais de l'explorer et de mesurer son activité de plus en plus finement.

L'objectif de ce module est donc de présenter les différentes facettes de la cellule pour mieux en appréhender le fonctionnement global. Les technologies de mesure seront également abordées.

I.1. BIOLOGIE CELLULAIRE & GENETIQUE MOLECULAIRE

- *Organisation générale de la cellule eucaryote
- *Les acides nucléiques (ADN et ARN)
- *Les protéines
- *Le cycle cellulaire de la cellule eucaryote
- *La réplication de l'ADN chez les eucaryotes :
- *La régulation de l'expression des gènes chez les eucaryotes
- *Outils génie génétique

I.2. GENOMIQUE

I.2.1. Génomique structurale

- *Définition de la génomique – essor de la bioinformatique
- *Etat des lieux du séquençage des génomes
- *Structure et Organisation des génomes
- *Méthodes de séquençage des génomes

I.2.2. Génomique Fonctionnelle : l'expression génique

- * Le transcriptome :
- * Régulation transcriptionnelle & épigénétique :

I.2.3. Intégration des données

- * Omics : intérêts en biologie et difficultés en bioinformatique
- * Intégration post-analyse : intégration supervisée ou non-supervisée

- * Intégration pré-analyse : vers l'inférence de réseaux
 - * Applications en recherche fondamentale et en médecine personnalisée
- I.2.4. Conclusion & perspectives : évolution de la notion de gène & modifications des modèles classiques de la régulation de la transcription. Informations apportées par la single-cell genomic.
- A chaque partie du cours seront associés des travaux pratiques sous R

PARTIE II : BIOSTATISTIQUE (12h)

À l'issue de la partie II, les élèves disposeront d'une boîte à outils utile pour répondre aux différentes questions soulevées par l'analyse de données biologiques.

- * Approche univariée et tests multiples (Bonferroni, False Discovery Rate...);
- * Modèle linéaire, ANOVA et modèles à effets mixtes.
- * GLM (régression, régression logistique, ...)
- * Analyse en Composantes Principales et Clustering Hiérarchique

PARTIE III : TRAVAUX DIRIGES/TP (9h)

Une grande partie des notions abordées dans la partie biostatistique sera mise en œuvre devant machine au travers du logiciel R.

Déroulement, organisation du cours

5*3h de cours pour la partie Biologie

6*3h de cours pour la partie Statistique. Cette partie sera ponctuée de mise en œuvre des méthodes présentées sur données réelles.

Organisation de l'évaluation

Examen écrit durée 2h

Support de cours, bibliographie

Tout le matériel de cours sera disponible sur Edunao (slides, données, scripts)

Moyens

Equipe enseignante : Arthur Tenenhaus et Marie-Anne Debily (MCF Evry)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Deux principaux objectifs :

1. Introduction à la biologie moléculaire et cellulaire
2. Biostatistique : apporter des compléments en statistique (utiles pour l'analyse de données biomédicales) par rapport au cours "Statistique et Apprentissage".

1SC4292 – Les données de la cohorte E3N/E4N pour l'identification de grande tendance

Responsables : **Laurent Le Brusquet, Arthur Tenenhaus**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

- Dans le cadre de cet enseignement d'intégration, nous proposons de mettre en œuvre des méthodes statistiques/machine learning pour répondre à des problématiques d'épidémiologie. En particulier, on s'intéressera aux données de la cohorte E3N/E4N (Etude Epidémiologique auprès de femmes de la MGEN), qui concernent donc des centaines de milliers de femmes (<https://www.e4n.fr>). Il s'agit donc ici d'un problème d'analyse statistique d'un jeu de données « Big Data » où l'on cherche à dégager des grandes tendances au niveau de la population à partir de données massives bruitées et incomplètes.
- Partenaire associé : INSERM
- Lieu : Campus Paris-Saclay

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

ST4

Prérequis

Cours de Statistique et Apprentissage

Déroulement, organisation du cours

Les élèves impliqués dans ce projet seront répartis en sous-groupes qui analyseront les données aux travers de différentes techniques. Les données et le problème étant fournis par des membres de l'INSERM, les étudiants seront amenés à les rencontrer à plusieurs reprises. Enfin, ils auront à restituer leurs résultats devant l'ensemble des acteurs du projet (tous les élèves impliqués dans le projet, partenaires, encadrants).

Organisation de l'évaluation

Soutenance orale et/ou rapport à l'issue de l'enseignement d'intégration.

Support de cours, bibliographie

The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Second Edition. February 2009. Springer.

<https://web.stanford.edu/~hastie/Papers/ESLII.pdf>

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de ce cours, les élèves seront capables de définir, comprendre, choisir une méthode statistique/machine learning et de la mettre en œuvre en adéquation avec le problème posé.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

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

C3.1 Être proactif, prendre des initiatives, s'impliquer

C3.5 Proposer des solutions/outils nouveaux soit en rupture soit en progrès continu
C3.6 Evaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées
C3.7 Choisir les solutions et agir de façon pragmatique, en vue d'obtenir des résultats tangibles
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

1SC4293 – Analyse de données pour la biologie : exploiter les données omiques pour découvrir les voies fonctionnelles

Responsables : **Laurent Le Brusquet, Arthur Tenenhaus**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

- Le projet « Milieu Intérieur », coordonné par l'Institut Pasteur, a été développé pour mieux comprendre la diversité des réactions immunes au sein de la population dans le but plus large de contribuer au développement de la médecine de précision. Dans le cadre de ce projet, une cohorte de 1000 individus a été constituée et plusieurs grands jeux de données ont été générés, notamment des données socio-démographiques et cliniques, des données de composition cellulaires sanguines, ainsi que des données d'expression géniques dans différentes conditions de stimulation immunes pour chacun des individus. Durant cet EI, nous vous proposons d'analyser et de croiser ces données entre elles afin d'identifier les facteurs qui différencient les individus dans leurs réponses aux stimulations immunes et éventuellement d'expliquer et de prédire ces réactions. L'objectif sera d'appliquer des méthodes d'analyse statistique descriptives et prédictives afin d'extraire de ces données des informations biologiques pertinentes.
- Partenaire associé : Pasteur
- Lieu : Campus Paris-Saclay

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

ST4

Prérequis

Cours de Statistique et Apprentissage

Cours de Biologie et statistique

Déroulement, organisation du cours

Les données et le problème étant fournis par Pasteur, les étudiants seront amenés à rencontrer à plusieurs reprises ce partenaire. Enfin, ils auront à restituer leurs résultats devant l'ensemble des acteurs du projet (tous les élèves impliqués dans le projet, partenaires, encadrants).

Organisation de l'évaluation

Soutenance orale à l'issue de l'enseignement d'intégration.

1SC4295 – Utilisation de méthodes innovantes pour prédire la santé et la maladie dans les études d'exposome

Responsables : Arthur Tenenhaus, Laurent Le Brusquet

Département de rattachement : DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT

Langues d'enseignement : FRANCAIS

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Breve description. L'exposome, décrit comme "la totalité des expositions environnementales humaines depuis la conception", reconnaît que les individus sont exposés simultanément à une multitude de facteurs environnementaux différents et adopte une approche holistique pour la découverte des facteurs étiologiques des maladies. Le principal avantage de l'exposome par rapport aux approches traditionnelles "une exposition-une maladie" est qu'il fournit un cadre conceptuel sans précédent pour l'étude des multiples risques environnementaux (urbains, chimiques, liés au mode de vie, sociaux) et de leurs effets combinés. L'objectif de cet EI est de promouvoir des approches statistiques, de science des données ou d'autres approches quantitatives innovantes pour étudier les effets d'indicateurs d'exposition (exposome) sur la santé. L'ensemble de données comprendra de multiple phénotype de santé (quantitatif ou qualitatif), de multiples expositions, -omiques et des variables additionnelles non liées à l'exposition (par exemple, des facteurs de confusion potentiels).

Déroulement. Les élèves impliqués dans ce projet seront répartis en sous-groupes. Les données et le problème étant fournis par nos partenaires du projet européen ATHLETE (voir <https://athleteproject.eu/consortium>), l'un de ces partenaires participera à l'encadrement du projet. Les étudiants seront amenés à le rencontrer à plusieurs reprises. Enfin, ils auront à restituer leurs résultats devant l'ensemble des acteurs du projet (tous les élèves impliqués dans le projet, partenaire, encadrants).

Lieu : Campus Paris-Saclay

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

ST4

Prérequis

Statistique & Apprentissage
Biologie et Statistique

Déroulement, organisation du cours

Les élèves impliqués dans ce projet seront répartis en sous-groupes. Les données et le problème étant fournis par nos partenaires du projet européen ATHLETE (voir <https://athleteproject.eu/consortium>), l'un de ces partenaires participera à l'encadrement du projet. Les étudiants seront amenés à le rencontrer à plusieurs reprises. Enfin, ils auront à restituer leurs résultats devant l'ensemble des acteurs du projet (tous les élèves impliqués dans le projet, partenaires, encadrants).

Organisation de l'évaluation

Rapport et soutenance

Moyens

Les données et le problème étant fournis par le Projet ATHLETE, les étudiants seront amenés à rencontrer à plusieurs reprises certains partenaires du projet. Enfin, ils auront à restituer leurs résultats devant l'ensemble des acteurs du projet (tous les élèves impliqués dans le projet, partenaires, encadrants).

1SC4296 – Epidémiologie & Biostatistique sur un Entrepôt de Données de Santé hospitalier

Responsables : **Laurent Le Brusquet, Arthur Tenenhaus**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Partenaire : Assistance Publique - Hôpitaux de Paris.

L'Entrepôt de Données de Santé (EDS) de l'Assistance Publique – Hôpitaux de Paris (AP-HP) intègre les données administratives et médicales de plus de 8 millions de patients hospitalisés ou venus en consultation dans l'un de ses 39 établissements. Cet entrepôt permet d'améliorer le pilotage de l'activité hospitalière et de faire avancer la recherche scientifique dans le domaine de la santé en favorisant la réalisation d'études sur les données de vie réelle, la mise en place d'essais cliniques et le développement d'algorithmes d'aide à la décision. Nous vous proposons dans le cadre de cet Enseignement d'Intégration de découvrir l'EDS de l'AP-HP et ses spécificités via le prisme de l'analyse épidémiologique et biostatistique. Vous aurez notamment l'occasion de traiter des données structurées (données médico-économiques – diagnostics & actes, démographiques, parcours patient et analyses biologiques) et non-structurées (comptes-rendus médicaux), intégrées dans une BDD synthétique largement inspirée de la structure de l'EDS. Vous devrez répondre à deux sujets de recherche (étude de surveillance épidémiologie et analyse de facteurs prédictifs du cancer du poumon), tout en décryptant et corrigeant les biais inhérents aux données de routine clinique.

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

ST 4

Prérequis

Statistique & Apprentissage

Biologie et Statistique

1SC4297 – Diagnostic des cancers du foie en imagerie

Responsables : **Laurent Le Brusquet, Arthur Tenenhaus**

Département de rattachement : **DOMINANTE - VIVANT, SANTÉ, ENVIRONNEMENT**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Les cancers du foie sont la troisième cause de décès par cancer dans le monde et constitue un problème de santé publique croissant. Les deux types les plus courants de cancer primitif du foie sont le carcinome hépatocellulaire (CHC) et le cholangiocarcinome intrahépatique (CCA). Un troisième type, l'hépatocholangiocarcinome (CHC-CCA), est une variante rare qui peut se présenter comme un mélange ou une coexistence des deux premiers types de cancer. Si le CHC peut être diagnostiqué de manière fiable en imagerie en cas de maladie du foie connue (cirrhose), le diagnostic de CCA ou de CHC-CCA est souvent plus difficile, avec des aspects équivoques en imagerie. Pourtant, ces types de cancer présentent des stratégies de traitement et des pronostics totalement différents, il est donc nécessaire de correctement les identifier. L'objectif de ce projet est de différencier ces trois types de cancers entre eux à partir de paramètres quantitatifs reflétant l'hétérogénéité des tumeurs en Imagerie par résonance magnétique (IRM) à injection de produit de contraste.

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

ST 4

Déroulement, organisation du cours

Travail en groupe avec l'appui d'encadrants experts.

Organisation de l'évaluation

A la fin de l'EI, les élèves devront remettre un compte-rendu de leur travail, les codes permettant de reproduire les résultats. Ils devront également faire une présentation synthétique de leur travail.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Être capable d'analyser des données d'imagerie multimodale et clinique et d'utiliser des méthodes de machine learning avancées.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Compétences acquises à l'issue du cours

Compétence 4 : Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients

Compétence 6 : Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

Compétence 7 : Savoir convaincre

Compétence 8 : Mener un projet, une équipe

ST4 – TRAITEMENT DE L'INFORMATION POUR DES APPLICATIONS DE L'INTERNET DES OBJETS

Dominante : SCOC (Systèmes Connectés et Objets Communicants)

Language : Anglais

Campus: Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

L'IoT (Internet of Things ou Internet des Objets en français) représente la prochaine évolution de l'Internet. Il se trouve à la convergence des télécommunications, de l'informatique, de l'électronique, du traitement du signal et des données et de l'intelligence artificielle. Si avec les objets connectés nous n'en sommes qu'aux balbutiements de l'IoT, les perspectives qui se profilent augurent d'une évolution majeure. L'IoT, futur de l'internet, appelé parfois également Internet 4.0, intelligence ambiante, ou internet ubiquitaire représente un des domaines d'investissement principaux pour la politique européenne dans les sciences et technologies, tout comme pour les pays et industriels dans le reste du monde.

L'internet des objets va transformer de nombreux domaines dans la vie quotidienne et dans l'industrie.

Dans ce sujet seront abordées les problématiques de la transmission, du stockage et du traitement des informations allié à l'intelligence artificielle dans l'IoT. Les élèves rencontreront des acteurs majeurs du secteur qui leur détailleront leur vision et leurs feuilles de route.

Au cours d'un atelier d'innovation, les élèves pourront proposer un service basé sur l'IoT, évaluer son impact sur la société et l'environnement, et le concevoir de points de vue technique et économique.

L'enseignement d'intégration permettra d'aborder les différents aspects de l'IoT du déploiement d'un réseau de capteurs, au traitement des données pour une application finale sur un cas concret et actuel en partenariat avec une entreprise prenant part au développement de l'IoT.

Prérequis conseillés

Cours communs CIP-EDP, EIP.

Module contexte et enjeux : ce module implique des acteurs majeurs du domaine qui partageront leur vision et leurs feuilles de route sur les technologies et les applications de l'IoT. Un atelier d'innovation sera organisé où les étudiants se regrouperont en petites équipes pour proposer un service basé sur l'IoT à forte valeur ajoutée économique et/ou environnementale et travailleront sur sa conception technique et sur son modèle économique. Le pitch de ce projet permettra de valider le module.

Cours spécifique (60 HEE) : De la théorie de l'information aux réseaux pour l'IoT

- **Brève description :** La première partie du cours portant sur la théorie de l'information de Shannon apportera les acquis d'apprentissage et les compétences : pour comprendre la notion d'information et ses mesures ; pour comprendre les concepts et limites fondamentales nécessaires pour la représentation et compression de différents modèles de signaux ; pour comprendre les effets de la compression d'une source analogique et de la reconstitution sans et avec pertes d'un signal numérique ; pour comprendre le compromis débit distorsion ; pour concevoir des chaînes de compression et transmission.
Une deuxième partie présente les différents systèmes de communication sans fil pour l'IoT, à courte ou à longue portée (Zigbee, SigFox, LoRA, LTE-M, NB-IoT, etc.). Il s'intéresse aux concepts essentiels des systèmes de télécommunication et à leur design au niveau radio pour une collecte efficace de données. Ce cours apporte les acquis d'apprentissage et les compétences nécessaires :
 - pour comprendre les mécanismes et protocoles de communication permettant à des capteurs de faible coût et ayant des contraintes fortes en consommation énergétique de transmettre leurs informations.

- pour dimensionner un réseau sans fil pour des applications IoT ayant des exigences particulières en couverture et en capacité.

Enseignement d'intégration : Déploiement de réseau de capteurs et traitement de données pour l'IoT

- **Partenaires associés** : Bouygues Telecom, EDF, Fifteen, Zettascale.
- **Lieu** : Campus Paris-Saclay
- **Brève description** : L'enseignement d'intégration a pour but le déploiement d'un réseau de capteurs et/ou le traitement des données ainsi collectées pour une application ciblée. Les élèves choisiront une application industrielle parmi quatre proposées avec les partenaires (monitoring d'un champ d'éoliennes, détection d'anomalies dans des données d'IoT, contrôle distribué de robots, monitoring d'usage de vélos connectés). Différents algorithmes de machine learning seront utilisés pour traiter les données et y associer les meilleures décisions.

1SC4310 – Principes de la théorie de l'information et techniques de communication pour l'IoT

Responsables : **Richard Combes, Salah-Eddine El Ayoubi**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT SIGNAL, INFORMATION, COMMUNICATION**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours présentera dans un premier temps les fondements théoriques et les limites fondamentales en théorie de l'information pour ensuite étudier des cas concrets de standards et protocoles de réseaux pour l'internet des objets.

La théorie de l'information, fruit des travaux de scientifiques tels que Hartley, Shannon, Wiener et Kolmogorov, est un outil majeur pour résoudre des problématiques fondamentales du monde numérique tels que : la mise en place de grands réseaux de communication à haut débit, le stockage et le traitement de données massives ou encore la cryptographie. La première partie du cours présente les concepts et les résultats fondamentaux de cette théorie, ainsi que les algorithmes qui permettent de les mettre en pratique pour résoudre des problèmes. Ce cours permettra aussi d'introduire les cours plus avancés de communications et de statistiques.

Les différents systèmes de communication sans fil pour l'IoT, à courte ou à longue portée (Zigbee, SigFox, LoRA, LTE-M, NB-IoT, etc.) seront ensuite présentés. Nous nous intéresserons à leur design au niveau radio pour une collecte efficace de données mais aussi aux architectures de stockage et de traitement de données, centralisées ou distribuées, adaptées aux exigences applicatives (temps d'exécution, sécurité, etc.).

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

ST4

Prérequis

CIP EDP

Plan détaillé du cours (contenu)

I. Théorie de l'information

1) Introduction : motivations (réseaux de communication, traitement et stockage de données massives), outils probabilistes.

2) Mesures d'Information : entropie, entropie relative et information mutuelle pour les alphabets discrets. Propriétés des mesures d'information : règle de chaîne, inégalités informationnelles (Fano, Log-sum, Data Processing etc.).

3) Compression de Données : codages de source, codes à préfixe, codes uniquement déchiffrables et inégalité de Kraft. Codage de Huffman, de Fano-Shannon et de Lempel-Ziv. Limites fondamentales. Optimalité et complexité du codage de Huffman. Séquences typiques.

4) Transmission de Données, Canaux Discrets : codage de canal, codage et décodage. Exemples de canaux discrets. Théorème de Shannon, capacité de canal. Retour sur la typicité, typicité jointe. Complexité et codage.

5) Transmission de Données, Canaux Continus : mesures d'information pour les alphabets continues, théorèmes de codage de source et de capacité. Canaux Gaussiens et modèles pour les communications, modulations. Limites fondamentales, théorème de Shannon-Hartley. Extensions : canaux parallèles, bruit coloré. Codage pour les canaux Gaussiens. Communication multi-utilisateur

6) Quantification de Données : quantification de signaux continus, théorie débit distorsion, schémas de quantification optimaux

II. Réseaux de télécommunications sans fil pour l'IoT

7) Présentation des différents standards de communications sans fil pour l'IoT, à faible ou à longue portée

8) Mécanismes radio pour l'IoT (modulation, codage, retransmissions, accès au canal)

9) Couverture des réseaux IoT longue portée.

10) Dimensionnement en capacité des réseaux LoRAWAN et 4G NB-IoT.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, TD, Travail personnel à la maison

18h00 de cours, 7h30 de TD, 3h de TP et un examen écrit de 2h.

Des ressources seront mises en ligne pour un travail complémentaire des étudiants.

Organisation de l'évaluation

TP noté (20% de la note) et examen écrit d'une durée de 2h

Support de cours, bibliographie

Slides en PDF détaillés disponibles sur eduno.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre les algorithmes et limites fondamentales pour la transmission de données, le stockage et le traitement de données.

Comprendre le sens physique des mesures d'information

Mettre en œuvre des algorithmes pour appliquer les concepts de la théorie de l'information à des problèmes réels,

Evaluer les performances de ces algorithmes.

Comprendre les mécanismes et protocoles de communication permettant à des capteurs de faible coût et ayant des contraintes fortes en consommation énergétique de transmettre leurs informations.

Dimensionner un réseau sans fil pour des applications IoT ayant des exigences particulières en couverture et en capacité.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Comprendre les algorithmes et limites fondamentales pour la transmission de données, le stockage et le traitement de données.

Comprendre le sens physique des mesures d'information

Mettre en œuvre des algorithmes pour appliquer les concepts de la théorie de l'information à des problèmes réels,

Evaluer les performances de ces algorithmes.

Comprendre les mécanismes et protocoles de communication permettant à des capteurs de faible coût et ayant des contraintes fortes en consommation énergétique de transmettre leurs informations.

Dimensionner un réseau sans fil pour des applications IoT ayant des exigences particulières en couverture et en capacité.

1SC4391 – Déploiement d'un réseau de fog computing pour le traitement de vidéos

Responsables : **Richard Combes, Salah-Eddine El Ayoubi**

Département de rattachement : **DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet EI vise à déployer un réseau de fog computing pour l'IoT. Un réseau expérimental reliant des objets connectés à des nœuds de traitement sera déployé, et des solutions distribuées d'intelligence artificielle pour traitement de l'information seront implémentées sur des robots et des serveurs. Des applications de guidage seront testées et les architectures de placement des fonctions d'intelligence artificielle sur les différents nœuds seront comparées.

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

ST4

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Prise en main des outils matériels et logiciels mis à disposition
- Déploiement de réseau en mode centralisé ou distribué et test de communication entre les objets
- Création de répertoires distribués de stockage d'information
- Implémentation d'un algorithme d'IA pour traitement d'informations issues de capteurs.
- Test des performances d'une solution distribuée et d'une solution centralisée
- Démonstration et présentation des résultats

Déroulement, organisation du cours

Une semaine de travaux pratiques en mode projet

Organisation de l'évaluation

Rapport et soutenance finale

Moyens

L'EI sera encadré par des enseignants chercheurs de CentraleSupélec et des ingénieurs de Zettascale.
Objets connectés et robots Turtlebot

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de cette semaine les élèves seront capables :

- de déployer un réseau d'objets connectés à des nœuds de traitement ;
- de manipuler des méthodes d'intelligence artificielle distribuées pour le traitement de l'information ;
- de comprendre l'interaction entre capacité de traitement et débits de communication.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1 - Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques

C7.1 - Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypotheses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)

- C8.1 - Construire le collectif pour travailler en équipe
- C8.2 - Mobiliser et entraîner un collectif en faisant preuve de leadership
- C8.4 - Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptés à la situation

1SC4392 – Prédiction de la production des éoliennes à partir de données de l'IoT

Responsables : **Salah-Eddine El Ayoubi**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT SIGNAL, INFORMATION, COMMUNICATION, DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement :

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Après une introduction présentant l'importance du captage de données, pouvant se faire avec des capteurs IoT ou d'autres moyens, et de leurs traitements chez EDF, des algorithmes seront développés pour traiter les données captées pour faire de la surveillance de la production énergétique des éoliennes et de la prédiction de production et de consommation basé sur des données réelles.

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

ST4

Prérequis

Traitement du Signal

De la théorie de l'information aux réseaux pour l'IoT

Statistique et apprentissage

Plan détaillé du cours (contenu)

- Présentation du contexte par des industriels du secteur
- traitement de données pour la surveillance et la prédiction de la production d'un champ d'éoliennes et la consommation des utilisateurs

Déroulement, organisation du cours

Travail en petite équipe avec mise en pratique et aide ponctuelle des encadrants.

Apports théoriques et méthodologique ponctuels par les encadrants

Organisation de l'évaluation

Rapport et présentation finale

Moyens

Equipe enseignante constituée d'enseignants chercheurs et d'intervenants industriels.

Les élèves travailleront en petites équipes.

Outils : Ordinateurs et serveurs adaptés au traitement de données massives, Python

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Ce cours apportera les acquis d'apprentissage consistant en la mise en pratique des notions apprises durant la ST4, en particulier :

- Pour comprendre les mécanismes de collecte de données
- Le traitement des données pour l'analyse et la prédiction

Description des compétences acquises à l'issue du cours

Ce cours apportera les acquis d'apprentissage consistant en la mise en pratique des notions apprises durant la ST4, en particulier :

- Pour comprendre les mécanismes de collecte d'informations.
 - Le traitement des données pour l'analyse et la prédiction
- Le travail en équipe et la restitution contribuent également au renforcement des compétences afférentes.

Les compétences du référentiel correspondant sont :
C1, C2, C3, C4, C6, C7 et C8

1SC4393 – Détection d'anomalies dans les réseaux par traitement de données de l'IoT

Responsables : Alexis Aravanis, Sahar Hoteit

Département de rattachement : DÉPARTEMENT SIGNAL, INFORMATION, COMMUNICATION, DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS

Langues d'enseignement :

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet EI se concentre sur la science des données et la détection d'anomalies dans les réseaux, il a comme objectif d'exploiter les données IoT pour détecter les anomalies dans un réseau. Les données sont capturées de Bouygues Telecom.

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

ST4

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Prise en main des outils logiciels mis à disposition
- Implémentation des algorithmes d'IA pour traitement d'informations issues de capteurs.
- Démonstration et présentation des résultats

Déroulement, organisation du cours

Une semaine de travaux pratiques en mode projet

Organisation de l'évaluation

Rapport et soutenance finale

Moyens

L'EI sera encadré par des enseignants chercheurs de CentraleSupélec et des ingénieurs de Bouygues Telecom.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

À l'issue de cette semaine les élèves seront capables de manipuler des méthodes d'intelligence artificielle distribuées pour le traitement de l'information et la détection d'anomalies dans les réseaux

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C4.1 Interaction avec le client (partenaire industriel ou encadrant) lors de la semaine d'intégration
- C4.2 Proposer au moins 2 solutions, avec avantages et limitations
- C6.1 Modéliser le problème et appliquer des solutions algorithmiques
- C6.3 Proposer une méthodologie pour traiter les données IoT et prendre des décisions ultérieures
- C7.1 - Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypotheses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)
- C7.4 Qualité de la présentation finale
- C8.1 - Construire le collectif pour travailler en équipe
- C8.2 - Mobiliser et entraîner un collectif en faisant preuve de leadership
- C8.3 Interagir avec les encadrants et les clients, identifier les ressources nécessaires
- C8.4 - Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptés à la situation

1SC4394 – Données des capteurs pour la détection des défaillances

Responsables : **Jose Picheral**

Département de rattachement : **DOMINANTE - SYSTÈMES COMMUNICANTS ET OBJETS CONNECTÉS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de ce projet est d'utiliser les signaux recueillis par les systèmes de mesure connectés qui sont embarqués sur la flotte de vélos en libre-service de la marque Zoov, exploitée par la société Fifteen. L'application principale vise à détecter les chutes à vélo en utilisant les mesures des capteurs de la centrale inertielle (accéléromètres et gyroscopes).

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

ST4

Prérequis

Aucune

Plan détaillé du cours (contenu)

Le projet se déroulera selon les étapes suivantes :

- Prise en main des données
- Analyse des a priori physiques liés aux phénomènes à détecter
- Choix des variables d'intérêt
- Développement et utilisation de méthodes de classification
- Évaluation des performances.

Déroulement, organisation du cours

Une semaine de travaux pratiques en mode projet.

Organisation de l'évaluation

Soutenance finale

Moyens

L'EI sera encadré par des enseignants-chercheurs de CentraleSupélec, avec l'intervention d'un data scientist de l'entreprise Fifteen.

Le jeu de données étiquetées des trajets sera fourni par l'entreprise Fifteen.

Le développement se fera en Python (Pandas, Scikit-Learn...).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Savoir prendre en compte les limitations liées à l'IoT pour l'analyse de données.
- Définir et extraire les variables utiles des signaux pour répondre à un problème de classification.
- Utiliser des méthodes de classification d'apprentissage automatique.
- Évaluer les performances des méthodes de classification.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C4, C6, C7 et C8

ST4 – SÉRIES TEMPORELLES ET MODÈLES D'AGENTS EN FINANCE

Dominante : MDS (Mathématiques, Data Sciences)

Language : Anglais

Campus: Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Les marchés financiers ont été révolutionnés par la mathématisation des méthodes d'évaluation et l'informatisation des échanges. Grâce à leur maîtrise combinée des modèles mathématiques d'évaluation d'actifs et des outils informatiques, les ingénieurs ont ainsi pu conquérir une place de premier plan sur ces marchés.

L'objectif de cette séquence thématique est de mobiliser les outils statistiques usuels d'un début de cycle ingénieur pour décrire les marchés financiers contemporains. Ces outils statistiques de base seront complétés par des notions d'économétrie et d'analyse des séries temporelles financières. Ces éléments permettront aux étudiants de comprendre les fondements de nombreuses stratégies d'investissement et d'échanges de titres financiers. Ils montreront également comment une meilleure prise en compte de données empiriques peut conduire à la remise en cause certaines hypothèses usuelles de modélisation.

Prérequis conseillés

- Cours communs CIP-EDP et Algorithmique & Complexité

Modules contexte et enjeux : Un cycle de conférences présentera divers aspects des marchés financiers. Les thèmes abordés récemment incluent : une introduction aux marchés financiers, la notion de crédit en finance et sa modélisation, les enjeux de la modélisation statistique des marchés financiers, les enjeux de l'utilisation de grandes bases de données en finance et des techniques d'apprentissage associées, etc.

Cours spécifique (60 HEE) : Séries temporelles et modèles à agents en finance

Ce cours est une introduction aux marchés financiers et à la modélisation des prix des actifs. La modélisation est abordée selon deux angles différents : l'économétrie des séries temporelles financières d'une part, et la modélisation à agents d'autre part.

Econométrie des séries temporelles financières : Faits stylisés des séries temporelles financières. Notions de stationnarité, covariance, corrélation. Modèles linéaires ARMA. Estimation. Prédiction. Introduction aux modèles non linéaires ARCH/GARCH. Introduction à la théorie du portefeuille.

Modèles à agents : construction et simulations de modèles à agents pour la modélisation des marchés et la reproduction de faits statistiques stylisés des données financières

Enseignement d'intégration : Cet enseignement d'intégration propose aux étudiants de mener une analyse statistique de données réelles de marchés financiers, et de tester la pertinence de modèles de séries temporelles ou de modèles à agents sur ces résultats empiriques.

Liste des sujets récents: VARMA models for commodities; Autoregressive models and high-frequency financial data ; Calibration of agent-based models on financial markets and price prediction ; Developing a Bitcoin trading bot ; French regional electricity load forecasting ; Structural analysis of VAR models in finance ; Leveraging LLMs to forecast financial markets

Partenaires industriels récents : BNP Paribas, Cap Gemini, SIA Partners, AI4Alpha

Partenaire CS : Equipe de Fina

1SC4410 – Séries chronologiques et modèles à agents en finance

Responsables : **Damien Challet, Christian Bongiorno**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MATHÉMATIQUES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours étudie les prix des actifs financiers à l'aide de deux approches : l'économétrie des séries temporelles financières et la modélisation basée sur les agents. Le cours sera donné entièrement en anglais (exposés, TDs, TP, contrôles)

Le module économétrique privilégie l'application plutôt que les complexités des mathématiques. L'objectif principal de ce module est de doter les étudiants des compétences nécessaires pour mettre en œuvre de manière autonome l'analyse de séries temporelles avec des méthodes numériques. Les étudiants apprendront à analyser des données réelles et à caractériser efficacement les caractéristiques marquantes des marchés financiers.

Le module de modélisation basée sur les agents montre comment les stratégies d'investissement et l'apprentissage façonnent la dynamique des prix. Même si des stratégies économétriques simples sont utilisées, l'apprentissage provoque les non-linéarités qui produisent une dynamique de prix réaliste.

Il est à noter qu'un très bon niveau de programmation Python est nécessaire.

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

ST4

Prérequis

CIP EDP, Algorithmique et Complexité

Plan détaillé du cours (contenu)

Économétrie des séries temporelles financières :

- Faits stylisés des séries temporelles financières.
- Optimisation de portefeuille.
- Stationnarité, covariance, corrélation.
- Modèles linéaires ARMA.
- Estimation/Prédiction.
- Introduction aux modèles de volatilité ARCH/GARCH.

Modèles à agents :

- Construction et simulations de modèles à agents pour la modélisation des marchés et la reproduction de faits statistiques stylisés des données financières

Déroulement, organisation du cours

Séries temporelles : CM (9h) + TD/QCM (7.5h)

Modèles à agents : CM (6h) + TD/QCM (6h)

Le cours nécessite une grande aisance à coder en Python.

Organisation de l'évaluation

La note finale N1 sera composée d'un contrôle final (CF). Il y aura la possibilité de réaliser des tests à choix multiples (CC). Chaque CC sera valide uniquement si l'étudiant assiste au TD jusqu'au bout.

Le poids du contrôle final dans la formule pour N1 est de 0.8 et le total des poids des CC de 0.2. Le poids de chacun des 9 CC croît pour chaque cours i ainsi :

$a_{i+1} = a_i \times 1,2485$ avec $a_1 = 0,0078$ pour $i = 1, \dots, 9$,

Où l'indice i correspond à l'ordre chronologique des cours comportant un QCM.

Support de cours, bibliographie

- Brockwell, P.J. and Davis, R.A. (1991) Time Series : Theory and Methods, Second edition, Springer Series in Statistics.
- Tsay, R.S. (2010) Analysis of Financial Time Series, Third edition, Wiley.

Moyens

Equipe pédagogique : Christian Bongiorno (CentraleSupélec) Damien Challet (CentraleSupélec).

1SC4490 – Statistical analysis of financial markets

Responsables : **Damien Challet, Christian Bongiorno**

Département de rattachement : **DOMINANTE - MATHÉMATIQUES, DATA SCIENCES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Cet enseignement d'intégration propose aux étudiants de mener une analyse statistique de données réelles de marchés financiers, et de tester la pertinence de modèles de séries temporelles ou de modèles à agents sur ces résultats empiriques.

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

ST4

Prérequis

Time Series and Agent-based Models in Finance (ST4 MDS)

Plan détaillé du cours (contenu)

Prise en main de données spécifiques au sujet. Lecture d'articles scientifiques. Développement Python de modèles de séries temporelles ou à agents. Analyse et présentation orale des résultats techniques.

Exemples de sujets traités :

- *Autoregressive Conditional Duration Models* (FiQuant, CentraleSupélec, 2023): investigate the statistical properties of financial durations, to assess the modelling performances of ACD models on various financial durations (equities, cryptocurrencies)
- *Information flow on Order-Books* (FiQuant, CentraleSupélec, 2022, 2023): investigates cross-sectional asynchronous led-lag relationship in order-books of multiple stocks, trying to identify and characterize short-term predictors.
- *VARMA models for commodities* (BNP Paribas, 2020).
- *Autoregressive models and high-frequency financial data* (FiQuant, CentraleSupélec, 2019, 2020, 2021)
- *Calibration of agent-based models on financial markets* (FiQuant, CentraleSupélec, 2020, 2021, 2022) : build and calibrate agent-based models with methods including generalized methods of moments and Kalman filters ; compare the model behaviour to real financial timeseries.
- *Developing a Bitcoin trading bot* (Cap Gemini, 2020, 2021, 2022) : explore Blockchain time series, model the time series with classical models using AR/MA/ARIMA or GARCH, and neural networks, compare and contrast both approaches and finally propose a trading strategy.
- *French regional electricity load forecasting* (SIA Partners, 2021) : forecast the electricity consumption of several french administrative regions, using multiple years of past observations timeseries, as well as meteorological features.
- *Structural analysis of VAR models in finance* (FiQuant, CentraleSupélec, 2021, 2022) : model financial time series with vector autoregressive models ; analyze dependencies on multiple markets and data (equity or bitcoin, low or high-frequency) using structural analysis.
- *Predicting National Electricity Demand* (Cap Gemini, 2023): explore and predict the time series of electricity consumption by comparing classical models (ARIMA, GARCH) and RNN.

Déroulement, organisation du cours

Travail en mode projet par groupes d'étudiants.

Organisation de l'évaluation

Soutenance orale avec support technique détaillé. L'absence aux réunions quotidiennes entraînera des pénalités dans l'évaluation

ST4 – ADAPTATION DES INFRASTRUCTURES DE GENIE CIVIL AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Dominante : CVT (Construction, Ville, Transport)

Language: Anglais

Campus: Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Les infrastructures de génie civil sont essentielles à la mobilité (routes, chemins de fer, aéroports), à l'énergie (centrales électriques, barrages) ou à la santé (hôpitaux). Elles peuvent être exposées à divers aléas environnementaux tels que des tremblements de terre, des inondations, des sécheresses, des incendies, des tempêtes, des vagues de chaleur. Lorsque l'un de ces phénomènes se produit, les infrastructures peuvent causer des morts, subir des dommages, des pertes et des interruptions de service. L'impact peut aller de nul à catastrophique selon l'intensité de l'événement et la vulnérabilité de l'infrastructure vis-à-vis de l'événement. Avec les effets du changement climatique, la fréquence d'occurrence et l'intensité de certains événements environnementaux ont augmenté tandis que les pertes humaines et économiques ne cessent d'augmenter en raison de la croissance des richesses, de la complexité des systèmes de production, de la population et de l'urbanisation. En France, les catastrophes naturelles ont coûté aux assureurs 10 milliards d'euros en 2022, soit trois fois le coût annuel moyen entre 2017 et 2021.

Étudier l'adaptation des infrastructures au changement climatique est aujourd'hui nécessaire. Les jumeaux numériques, qui offrent une représentation virtuelle des infrastructures, sont utiles aux études d'adaptation car ils permettent de simuler l'impact des catastrophes environnementales, de comparer les performances des stratégies d'adaptation avant leur mise en œuvre et d'alerter les populations.

Les jumeaux numériques contiennent différentes sources d'information. Les cartes des aléas montrent des mesures d'intensité d'événements environnementaux historiques géoréférencés (par exemple l'historique du niveau de la Seine sous le Pont-Neuf à Paris). Les cartes de vulnérabilité montrent des mesures géoréférencées de l'impact d'un événement naturel donné sur les actifs (par exemple les bâtiments qui se sont effondrés en cas d'ouragan avec une vitesse de pointe de 200 km/h). Les cartes des risques combinent aléa et vulnérabilité.

Les jumeaux numériques intègrent également des capacités de simulation numérique qui peuvent être utilisées pour fournir des informations supplémentaires à l'adaptation lorsque les données enregistrées sont absentes ou rares, géographiquement – peu de points enregistrés dans l'espace – ou historiquement – peu de points enregistrés dans le temps. Les simulations sont basées sur la physique du problème, sur des données (apprentissage machine) ou sur les deux.

Prérequis recommandés (mais pas obligatoires) :

Programmation avec Matlab ou Python ; cours de Mécanique des Milieux Continus.

Modules contexte et enjeux :

Des conférences et ateliers sont donnés pour introduire et illustrer :

- Les impacts sociaux et économiques du changement climatique sur l'environnement bâti ;
- Comment les modèles d'évolution du climat sont utilisés pour adapter les infrastructures ;
- Les méthodes et stratégies mises en œuvre par les gestionnaires d'infrastructures pour anticiper et répondre aux effets du changement climatique.

Cours spécifique : Réponse des structures aux actions environnementales

Les infrastructures de génie civil doivent atteindre des critères de performance en termes de conditions de sécurité et de service. Quand une structure est exposée à des aléas environnementaux, il peut y avoir un risque que certains critères de performance ne soient pas satisfaits. Ce cours présente les concepts fondamentaux et les outils numériques nécessaires pour caractériser les actions environnementales dynamiques comme le vent, la houle ou les séismes et pour calculer la réponse des structures à ces actions.

Le cours présente divers aléas, notamment les séismes, les vents et la houle. Des approches basées sur des modèles physiques sont introduites pour modéliser les actions induites par ces aléas sur les structures. Aussi, les actions environnementales se présentant généralement sous forme de séries temporelles, des techniques de traitement du signal sont exploitées pour les caractériser et les modéliser.

Le cours présente aussi des modèles continus et discrets de comportement des structures soumises à des actions environnementales. Des méthodes analytiques et numériques sont introduites pour résoudre les équations aux dérivées partielles qui régissent le comportement des structures et ainsi estimer la réponse des structures aux actions environnementales.

Enseignement d'intégration : Jumeaux numériques pour la gestion des infrastructures en présence de risques environnementaux.

Lors de l'enseignement d'intégration, les étudiants sont mis dans la position d'une équipe d'ingénieurs en charge de la gestion des risques associés à un pont exposé à des aléas environnementaux. L'équipe a pour mission de développer un jumeau numérique du pont permettant de comparer virtuellement différentes stratégies de gestion des risques.

Pour modéliser les actions environnementales comme pour modéliser le comportement du pont soumis à ces actions, l'équipe peut s'appuyer sur des modèles construits à partir de lois physiques, sur des modèles construits à partir d'algorithmes d'apprentissage machine et de jeux de données, ainsi que sur des méthodes de traitement du signal.

1SC4510 – Réponse des structures aux actions environnementales

Responsables : Karim Tarbali, Pierre JEHEL

Département de rattachement : DÉPARTEMENT MÉCANIQUE ENERGÉTIQUE PROCÉDÉS

Langues d'enseignement : ANGLAIS

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) : 30,50

Présentation, objectifs généraux du cours

L'activité économique et sociale repose sur l'existence d'infrastructures pour la mobilité (pont ferroviaire), l'accès à l'énergie (parc éolien), la santé (hôpital). Ces infrastructures sont conçues pour atteindre des critères de performance en termes de conditions de sécurité et de service. Le changement climatique génère des actions environnementales toujours plus sévères, plus fréquentes et moins prévisibles. Exposées à ces nouveaux aléas environnementaux, il peut y avoir un risque que les critères de conception des infrastructures ne soient plus satisfaits. Ces nouveaux risques doivent être évalués afin d'y adapter les infrastructures et ainsi garantir la continuité des activités économiques et sociales.

Le cours présente des modèles permettant d'estimer la réponse dynamique de structures soumises à des actions environnementales comme les vagues côtières, les vents et les séismes. Les équations différentielles qui régissent le comportement de ces modèles sont établies. Des méthodes de calcul analytiques et numériques sont introduites pour résoudre ces équations et simuler la vulnérabilité des structures vis-à-vis d'actions environnementales.

Le cours présente également les concepts fondamentaux nécessaires pour évaluer les aléas environnementaux comme les vagues côtières, les vents et les séismes. Des approches basées sur des modèles physiques sont introduites pour modéliser les actions induites par ces aléas sur les structures. Aussi, les actions environnementales se présentant généralement sous forme de séries temporelles, des techniques de traitement du signal sont exploitées pour les caractériser et les modéliser.

Combinant aléas environnementaux et vulnérabilité des structures, des approches pratiques sont présentées pour quantifier les risques et explorer des pistes d'adaptation des infrastructures de génie civil.

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

ST4

Prérequis

Mécanique des milieux continus conseillé, programmation avec Matlab ou Python.

Plan détaillé du cours (contenu)

Le cours présente les concepts fondamentaux de la dynamique des structures permettant de modéliser et de calculer la réponse de structures en présence d'actions environnementales. Des méthodes analytiques puis numériques (méthode des éléments finis) sont introduites dans un contexte de pratique d'ingénierie. Les principaux sujets abordés sont les suivants :

- Notions de base de mécanique des structures.
- Réponse dynamique d'une poutre sous chargement harmonique : modèle de poutre, systèmes discrets à un et plusieurs degrés de liberté.
- Réponse dynamique des structures aux actions environnementales : intégrale de Duhamel, transformée de Fourier des actions environnementales, spectre de réponse.
- Formulation éléments finis des poutres et implémentation numérique.
- Études de cas d'ingénierie avec sessions pratiques utilisant le logiciel Pythagore (éléments finis).

Le cours présente également les concepts fondamentaux pour la compréhension et l'évaluation des aléas. Il introduit les méthodologies permettant de caractériser divers aléas naturels, notamment les aléas côtiers, les vents et les séismes. Les principaux sujets abordés sont les suivants :

- Concept d'aléa environnemental.
- Modélisation de scénarios et évaluation probabiliste des aléas.
- Exemples d'études de cas et session pratique d'évaluation des risques sismiques.
- Approches basées sur la physique pour améliorer la modélisation des aléas.

Déroulement, organisation du cours

Cours magistraux, travaux dirigés analytiques et numériques.

Organisation de l'évaluation

Examen final.

Des QCM sont organisés entre des séances du cours. Ils doivent être réussis pour valider le cours ; ils n'entrent pas en compte dans la note finale.

Support de cours, bibliographie

Liste bibliographique, photocopies de notes méthodologiques fournis au fur et à mesure des cours.

Moyens

Logiciel professionnel de calcul par éléments finis : Pythagore.

Séance d'auto-formation au logiciel Pythagore.

Office hours.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Modéliser des structures sous actions environnementales mécaniques
- Modéliser des actions environnementales mécaniques (vagues côtières, vents, séismes)
- Appliquer des méthodes analytiques et numériques pour estimer la vulnérabilité des structures
- De comprendre et appliquer les concepts fondamentaux pour l'évaluation d'aléas environnementaux.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C6 – Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

1SC4590 – Jumeaux numériques pour la gestion des infrastructures en présence de risques environnementaux

Responsables : **Pierre JEHEL**

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

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Le phénomène d'affouillement est identifié aux États-Unis comme l'une des principales causes de défaillance des ponts. L'affouillement est l'érosion du sol à la base des piliers de pont due à l'écoulement de l'eau. Cette érosion peut endommager les fondations du pont dans le sol et éventuellement conduire à une défaillance. La profondeur de l'affouillement dépend des courants d'eau et est influencée par les inondations. En raison du changement climatique, les inondations sont plus fréquentes et plus intenses dans certaines parties du monde, ce qui doit donc être pris en compte dans la gestion des risques liés à l'affouillement.

Cet enseignement d'intégration vise à placer les étudiants dans la position d'ingénieurs chargés de réévaluer la conception d'un pont ferroviaire en présence de multiples risques environnementaux. Plus précisément, des équipes de 5 étudiants devront réévaluer la conception d'un pont ferroviaire existant dans une zone sismique en considérant divers scénarios de risques d'affouillement.

Les équipes de projet recevront un modèle numérique du pont existant qui contient les données géométriques, les propriétés des matériaux de la structure, les connexions entre les éléments du pont et la description des fondations. Elles auront également accès à des bases de données sur les actions sismiques et les données hydrologiques. La réponse du pont dans de nombreux scénarios de chargement et d'affouillement doit être simulée pour évaluer la conception du pont dans un contexte multirisques.

Il est attendu des équipes projet qu'elles proposent un ou plusieurs des développements suivants :

- des stratégies de renforcement du pont pour atténuer les risques d'affouillement et sismiques ;
- des stratégies de méta-modélisation pour réduire les temps de calcul des simulations physiques ;
- des stratégies de surveillance de l'affouillement pour réduire l'incertitude dans l'estimation des profondeurs d'affouillement.

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

ST4

Prérequis

Cours de sciences pour l'ingénieur *Mécanique des milieux continus* : conseillé

Plan détaillé du cours (contenu)

Jour 1 : Simulations par éléments finis du pont

- Utiliser le modèle par éléments finis d'un pont pour réaliser des analyses statiques et décrire les caractéristiques principales de la réponse du pont.
- Observer les grandeurs d'intérêt (forces de cisaillement extrêmes, moments de flexion, déformations...).
- Réaliser des simulations sismiques dynamiques en utilisant l'analyse spectrale ou l'analyse temporelle.
- Prendre en compte les critères de conception (États Limites Ultimes et de Service).
- Adopter une approche de concepteur de pont (modifier les connexions, appuis, épaisseurs, etc.).

Jour 2 : Actions environnementales

- Choisir un spectre de conception sismique approprié et réaliser des analyses structurales avec un ensemble d'enregistrements sismiques cohérents.
- Évaluer la profondeur d'affouillement de manière probabiliste.

- Modéliser l'affouillement dans le modèle structurel et réévaluer la conception structurelle.

Jour 3 : Construction de courbes de fragilité

- Estimation des aléas.
- Estimation de la vulnérabilité du pont.
- Courbes de fragilité.

Jour 4 : Synthèse et améliorations

- Préparer une synthèse des 3 jours précédents.
- Identifier les points faibles et les améliorer.
- Rédiger une première version de la présentation finale du projet.

Jour 5 : Communication des résultats avec courbes de fragilité + Jury final

- Matin : Produire des courbes de fragilité multi-aléas pour agréger et communiquer les résultats des simulations.
- Après-midi : Jury final.

Déroulement, organisation du cours

- Travailler en équipe de 5 étudiants.
- Travailler en mode projet.
- Rappels ou introduction d'éléments théoriques (3 h durant la semaine).
- Liste des attentes quotidiennes distribuée aux équipes au début de chaque journée.
- Rapport d'avancement à produire à la fin de chaque journée.
- Supervision par une équipe pluridisciplinaire.

Organisation de l'évaluation

1) Jury d'évaluation par Jury : À la fin de l'enseignement d'intégration, chaque équipe présente son projet devant un jury. :

- Présentation
- Questions et réponses
- Le jury est composé d'un membre du corps professoral et d'une personne provenant d'une entreprise d'ingénierie.

2) Évaluation continue :

Chaque journée se termine par un bilan montrant l'acquisition réussie des compétences qui devaient être développées.

Support de cours, bibliographie

Bibliographie et supports distribués au fur et à mesure de l'avancement.

Moyens

1) Logiciels :

- Pythagore pour la simulation numérique du comportement dynamique des structures de génie civil avec la méthode des éléments finis
- Python / Matlab

2) Bases de données :

- Données sur les mouvements sismiques du sol
- Données hydrologiques

3) Matériel pédagogique :

- Cours pour rappeler ou introduire des éléments théoriques utiles (3 heures au total pendant la semaine)
- Liste des attentes quotidiennes distribuée aux équipes au début de chaque journée
- Articles de recherche, techniques ou de vulgarisation

4) Équipe pluridisciplinaire :

- Membres du corps professoral
- Développeurs du logiciel Pythagore
- Ingénieurs en structure

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Adopter une posture d'ingénieur de conception adaptée à un contexte collaboratif dans un environnement numérique (identification des différents acteurs, compréhension des responsabilités respectives et des périmètres d'action, communication adaptée et respect d'un certain protocole).
- Analyser et traiter les informations issues du modèle numérique d'une infrastructure pour proposer un modèle mécanique simplifié mais pertinent en phase d'avant-projet.
- Analyser et traiter des informations statistiques provenant de bases de données.
- Manipuler des outils numériques et analytiques pour modéliser le comportement dynamique des structures.
- Mettre en œuvre un processus d'automatisation et d'accélération de la conception d'un pont.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C4 - Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
C6 - Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique
C7 - Savoir convaincre
C8 - Mener un projet, une équipe

ST4 – ENERGIE ET CLIMAT

Dominante: ENE (Energie)

Language: Français

Campus: Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Face au changement climatique, la transition énergétique est aujourd'hui inévitable. L'ingénieur CentraleSupélec peut contribuer à ces défis en apportant ses compétences dans le traitement de quantités gigantesques de données. En effet l'acquisition, l'analyse statistique ainsi que l'intégration des données climatiques dans des modèles prédictifs, permet d'évaluer l'impact des émissions de GES sur le climat ainsi que celui des mesures à mettre en œuvre pour limiter ces changements. Il en est de même pour les données économiques utilisées pour anticiper les conséquences économiques des changements climatiques.

Dans le même temps, la digitalisation et l'informatisation des systèmes énergétiques (compteurs communicants par exemple) se traduit par une augmentation du volume de données collectées, dont l'exploitation ouvre de nouvelles opportunités pour l'optimisation de la production d'énergie renouvelable et la maîtrise de la consommation.

Cette séquence thématique est l'occasion pour le futur ingénieur CentraleSupélec d'appliquer les outils de traitement et d'analyse de données pour répondre à des problématiques spécifiques du climat et de l'énergie : la modélisation des changements climatiques et de leurs impacts économiques, l'identification et l'analyse des usages pour la maîtrise de la consommation d'énergie électrique ou encore l'estimation de la production d'un parc éolien en mer.

Prérequis conseillés

Aucun cours du cursus CentraleSupélec n'est requis. Avoir suivi les cours électifs Énergie électrique et Sciences des transferts est conseillé.

Modules contexte et enjeux : Les conférences et tables rondes permettront de faire le point sur les changements climatiques et la nécessaire réduction des émissions de GES, particulièrement dans le domaine de l'énergie ainsi que les conséquences économiques majeures qu'il faut pouvoir anticiper et piloter. Elles feront l'objet d'interventions d'experts académiques en climatologie et économie, d'experts industriels sur la production d'énergie renouvelables, et d'entrepreneurs du domaine de l'énergie.

Cours spécifique (60 HEE) : Climat et transition énergétique

- **Brève description :** L'objectif de ce cours est :
- de donner les bases physiques de l'énergétique du système climatique global (rôle du profil de température vertical dans l'atmosphère, effet de la vapeur d'eau, albédo, mécanismes de rétroaction). On s'intéressera en particulier aux modèles climatiques.
- de présenter comment les modèles climatiques peuvent être mis à profit au niveau de la production d'énergie électrique, en particulier énergies intermittentes. Une première partie est consacrée aux principaux dispositifs de production d'énergie électrique à partir de sources renouvelables. Une seconde partie concerne l'intégration, la gestion et le stockage de l'énergie au sein des systèmes de transport et de distribution.
- de présenter comment les modèles climatiques peuvent être mis à profit au niveau de la consommation d'énergie électrique. On vise à comprendre le fonctionnement et les modèles de composants présents dans les usages domestiques : générateurs, convertisseurs, charges.

Enseignement d'intégration n°1 : Prévision des changements climatiques et de leurs impacts économiques

- **Partenaires associés :** IPSL
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay
- **Brève description :** Les étudiants auront le choix entre modélisation physique ou économique. Les deux volets couvrent ont pour objectifs de :

- Comprendre les problématiques liées aux changements climatiques : impact sur les besoins énergétiques (climatisation, nouveaux modes de transport, ...), impact sociétal, économique
Le volet modélisation physique permet de :

- Mettre en œuvre des modèles globaux intégrant la dynamique des fluides et les bilans énergétiques
- Faire des analyses de données climatiques à l'aide de Python
- Approfondir les enjeux du réchauffement climatique dans une région choisie du globe.

Le volet modélisation économique permet de :

- Mettre en œuvre un modèle économique intégrant une composante physique représentant le réchauffement climatique (Python)
- Analyser et comprendre les impacts économiques, sociétaux, environnementaux, humains sur certaines régions du globe que les élèves choisiront selon leurs intérêts

Enseignement d'intégration n°2 : Analyse de la consommation électrique par la Data Science

– **Partenaires associés :**

– **Lieu :** Campus Paris-Saclay

– **Brève description :** Pour mener à bien la transition énergétique, il est indispensable de non seulement développer des sources d'énergie renouvelable mais aussi savoir maîtriser la consommation et ainsi faire des économies énergétiques. Avec le développement de la Data Science et la disponibilité des données massives de consommation (le big data), de nouvelles solutions sont envisageables pour atteindre à l'objectif de réduction de consommation.
Cet EI a pour l'objectif :

- De se familiariser avec la data science appliquée dans le domaine de consommation électrique,
- De se servir des méthodes de machine learning pour la prévision de consommation électrique.

La semaine commence par des études de cas qui rappellent les bases de la Data Science et les principes de base de Machine Learning. Cette partie dure 3 demi-journées. Les jours suivants sont consacrés à un projet où les élèves travaillent en équipe sur la problématique de la prévision de la consommation électrique à partir des historiques de la consommation et des données météorologiques.

Enseignement d'intégration n°3 : Estimation de la production d'un parc éolien offshore

– **Lieu :** Campus Paris-Saclay

– **Brève description :** Cet enseignement d'intégration a pour but d'utiliser un jeu de données issu d'un modèle climatique afin d'estimer la production d'un futur parc éolien offshore et le coût de l'énergie associé. En particulier, on s'intéressera à l'étude de vent (comprendre un jeu de données complexe), à l'effet de sillage, à la chaîne de conversion éolienne, au câblage et au coût de l'énergie.

1SC4610 – Climat et transition énergétique

Responsables : **Simon Meunier**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT SYSTÈMES D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Ce cours est divisé en 3 parties qui préparent chacune à l'enseignement d'intégration correspondant.

Partie I

L'objectif de ce cours est de présenter les grands principes physico-chimiques qui déterminent le climat de notre Planète. Une première partie est consacrée à l'histoire des climats passés et aux mécanismes à l'origine des changements climatiques, notamment les variations astronomiques, les modifications de l'effet de serre associées aux perturbations du cycle du carbone, et l'évolution de la vie. Une seconde partie présentera les différentes stratégies de modélisation numérique utilisées en climatologie, les équations et approximations utilisées pour simuler l'atmosphère et l'océan, et les couplages entre les différentes composantes du système climatique.

Partie II

Les sources d'énergie renouvelables intermittentes/variables sont les sources de production d'énergie renouvelable dont la disponibilité varie fortement sans possibilité de contrôle. Certaines ont des variations régulières et prévisibles comme l'énergie marémotrice, d'autres sont plus fluctuantes comme l'énergie éolienne ou le photovoltaïque. L'objectif de ce cours est de présenter les potentialités des réseaux électriques utilisant les sources variables d'énergie renouvelable. Une première partie est consacrée aux principaux dispositifs de production d'énergie à partir de ces sources. 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.

Partie III

La transition énergétique avec ses objectifs d'efficacité associés oblige à repenser la manière dont les usagers auront accès à l'énergie électrique. Pour établir les nouveaux modes de consommation, il est nécessaire d'analyser et de prédire les comportements des consommateurs pour organiser les nouveaux moyens de production et d'alimentation du réseau.

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

ST4

Prérequis

SPI "Energie Electrique" conseillé (mais non obligatoire)

Plan détaillé du cours (contenu)

Séance 1 (1h30) : S. Meunier (CS)

Présentation de la logique de la séquence et des concepts généraux

Séance 2 (3h) : D. Paillard (cours assuré en collaboration avec l'IPSL (LSCE))

Modèles climatiques

Paléoclimats

Présentation générale de la diversité des climats que notre planète a connu dans son histoire, depuis l'époque récente (mesures météorologiques) jusqu'aux premiers âges de la Terre (informations géologiques et géochimiques). On insistera sur les grands principes physico-chimiques à l'origine des changements de climat : variations astronomiques pour les cycles Quaternaire ; rétroaction glace-albédo et épisodes Terre-boule de neige ; paradoxe du Soleil jeune ; évolution du cycle du carbone, géologie et évolution de la vie ; etc ...

Séance 3 (3h) : D. Paillard (cours assuré en collaboration avec l'IPSL (LSCE))

Modèles climatiques

Bilan radiatif, effet de serre, cycle du Carbon

Le principal déterminant du climat sur une planète est le bilan entre rayonnement solaire entrant et rayonnement infrarouge sortant. « L'effet de serre » découle du fait que l'on s'intéresse en général à la température de surface alors que le rayonnement infrarouge sortant est émis en altitude. On s'intéressera au rôle du CO₂ sur ce bilan radiatif, mais aussi au cycle du carbone : les constantes de temps du carbone sur Terre, les principaux réservoirs, le rôle de thermostat planétaire via l'érosion des silicates.

Séance 4 (3h) : M. Kageyama (cours assuré en collaboration avec l'IPSL (LSCE))

Modèles climatiques

Introduction à la modélisation du climat

Présentation générale des modèles : les composantes du système (atmosphère, surfaces continentales, océan, cycles biogéochimiques, calottes de glace, ...) ; les différents couplages et combinaisons de composantes utilisés en modélisation du climat, la hiérarchie des modèles. Description et grands principes de la circulation atmosphérique, équations du mouvement, approximations usuelles. Simulation des climats passé, présent, futur.

Séance 5 (3h) : M. Kageyama (cours assuré en collaboration avec l'IPSL (LSCE))

Modèles climatiques

L'exemple de la simulation des événements climatiques rapide

Description et grands principes de la circulation océanique. Phénoménologie des événements abrupts (Dansgaard-Oeschger et Heinrich), équilibres multiples et modèle de Stommel. Simulations couplées et perturbations en flux d'eau douce.

Séance 6 (3h) : S. Meunier (CS)

Production d'électricité, stockage et réseau électrique

Solaire PV

Séance 7 (3h) : E. Odic (CS)

Production d'électricité, stockage et réseau électrique

Moyens de stockage, principes et mise en œuvre

Séance 8 (3h) : M. Hennebel (CS) - TP informatique

Production d'électricité, stockage et réseau électrique

Impact réseau des ENRs, marché de l'électricité

Séance 9 (3h) : T.D. Le (CS)

Consommation électrique

Présentation des grandeurs électriques dans le domaine de la consommation électrique, les principes généraux de fonctionnement des appareils électriques et de l'électronique de puissance. Étude des formes d'onde des courants absorbés par les appareils électriques et les méthodes de reconnaissance de ces formes par la Data Science. Introduction des compteurs communicants pour la mesure de la consommation électrique. Utilisation de données fournies par les compteurs dans les réseaux électriques intelligents. Introduction de la prévision de la consommation électrique.

Séance 10 (3h) : S. Meunier (CS)

Consommation électrique

Défis et méthodes pour l'analyse et la gestion de la consommation électrique.

Séance 11 (2) : Examen écrit (QCM)

Déroulement, organisation du cours

9 séances de cours + TP informatique (séance 8) + examen écrit (QCM)

Organisation de l'évaluation

Méthode d'évaluation du cours : L'évaluation se fera par un examen écrit de 2h (QCM), et la séance de TP sur ordinateur sera également notée.

Répartition de la note : 90 % pour l'examen écrit et 10 % pour la séance de TP informatique.

Moyens

Salle de cours (120 pers.)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Comprendre les bases physiques du climat terrestre et de ses changements.
- Maîtriser les particularités des différents éléments 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.

1SC4691 – Prévision des changements climatiques et de leurs impacts économiques

Responsables : **Pascal DA COSTA**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Dans cet EI, vous découvrirez les rapports spéciaux du GIEC « RÉCHAUFFEMENT PLANÉTAIRE DE 1,5°C »... « OCÉAN ET CRYOSPHERE DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE » publiés en 2018 et 2019, ainsi que les travaux du prix Nobel d'économie 2018, WILLIAM NORDHAUS, débutés à la fin des années 1980, sur l'économie du climat.

Il s'agira soit de comprendre le fonctionnement du modèle iLOVECLIM et d'analyser ses simulations sous python (séries temporelles, anomalies, études régionales...), soit de découvrir et d'utiliser (toujours sous Python) le modèle DICE de W. NORDHAUS (pour Dynamic Integrated model of Climate and the Economy).

Des échanges entre les deux groupes sont prévus au cours de la semaine.

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

ST4

Prérequis

Aucun.

Plan détaillé du cours (contenu)

Les étudiants auront le choix entre modélisation physique ou économique. Les deux volets couvrent la compréhension des problématiques liées aux changements climatiques : impact sur les besoins énergétiques (climatisation, nouveaux modes de transport, etc.), impact sociétal, économique.

Le volet modélisation physique permet de :

- * mettre en œuvre un modèle global intégrant la dynamique des fluides et les bilans énergétiques
- * Faire des analyses de données climatiques à l'aide de Python
- * Approfondir les enjeux du réchauffement climatique dans une région choisie du globe.

Le volet modélisation économique permet de :

- * Mettre en œuvre un modèle économique intégrant une composante physique représentant le réchauffement climatique (Python)
- * Analyser une question économique ou géopolitique à travers des expériences avec le modèle.

Déroulement, organisation du cours

Simulations climatiques ou économiques sous python.

Organisation de l'évaluation

Projet en équipe et soutenance.

Support de cours, bibliographie

Supports de cours et programmes.

Moyens

Intervenants :

Laboratoire des Sciences de l'Environnement et du Climat CEA-CNRS-UVSQ-IPSL &
Laboratoire de Génie Industriel / Equipe Économie Durable CentraleSupélec (S.E.R.G.)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Recréer les simulations climatiques et économiques des chapitres 1 et 3 du rapport du GIEC : évaluer et négocier des trajectoires de lutte contre le réchauffement climatique.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C4 C6 C7 C8 C9

1SC4692 – Analyse de la consommation électrique par la data science

Responsables : **Jing Dai, Trung-Dung Le**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Pour mener à bien la transition énergétique, il est indispensable de non seulement développer des sources d'énergie renouvelable mais aussi de savoir maîtriser la consommation et ainsi faire des économies énergétiques. Avec le développement de la data science et la disponibilité des données massives de consommation (le big data), de nouvelles solutions sont envisageables pour atteindre à l'objectif de réduction de consommation.

Cet El a pour l'objectif :

- De se familiariser avec la data science appliquée dans le domaine de consommation électrique
- De se servir des méthodes de machine learning pour la reconnaissance d'usages électriques et la prévision de consommation électrique.

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

ST4

Prérequis

Connaissances de base de programmation en Python.

Plan détaillé du cours (contenu)

La semaine de l'enseignement d'intégration est divisée en deux parties :

Pendant la première partie, les élèves font des études de cas pour appliquer des méthodes de machine learning dans le traitement de données de consommation électrique. Les élèves apprennent à utiliser ainsi la bibliothèque de Python spécialement conçue pour la data science et machine learning.

La deuxième partie est consacrée à un projet où les élèves travaillent en équipe sur la problématique de la prévision de la consommation électrique à partir des historiques de la consommation.

Déroulement, organisation du cours

Pendant les études de cas (première partie), les élèves sont encadrés par les enseignants pour maîtriser davantage la bibliothèque Python pour la data science et les méthodes de machine learning.

Pour le projet (deuxième partie), les élèves travaillent en petit groupe. Les enseignants et l'expert de l'industrie en data science se mettent à leur disposition pour toute question technique.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation des élèves sur l'El porte sur

- les livrables des deux parties (études de cas et projet)
- la soutenance orale en fin de la semaine

Support de cours, bibliographie

DataCamp, E-learning sur data science.

R. Arghandeh et Y. Zho, Big Data Application in Power Systems, Elsevier Science, 2018

T. Hastie, R. Tibshirani, et J. Friedman, Element of statistical learning :

Data Mining.

Inference and Prediction, Springer, 2017.

Moyens

Ordinateur avec Python installé
Salle de cours avec vidéoprojecteur et Wifi

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre les démarches de la data science pour traiter les données massives de consommation électrique.
Savoir utiliser les outils informatiques comme Python pour mettre en œuvre les méthodes de la data science.
Savoir analyser la courbe de consommation pour en tirer les informations utiles.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C4-Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients
C4.2. Proposer une ou des solutions répondant à la question reformulée en termes de création de valeur et compléter par l'impact sur les autres parties prenantes et par la prise en compte des autres dimensions.
Quantifier la valeur créée par ces solutions. Arbitrer entre des solutions possibles
C6-Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique
C6.2 Concevoir un logiciel
C6.3. Traiter des données
C7-Savoir convaincre
C7.1 Sur le fond : Structurer ses idées et son argumentation, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée)
C8-Mener un projet, une équipe
C8.4 Travailler en mode projet en mettant en œuvre les méthodes de gestion de projet adaptées à la situation

1SC4693 – Estimer la production d'un parc éolien offshore

Responsables : **Loïc Queval**

Département de rattachement : **DOMINANTE - ENERGIE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Le but de l'EI est d'estimer la production d'un parc éolien offshore. On prendra en compte divers facteurs, tels que la variabilité du vent, l'effet de sillage, les paramètres de la chaîne de conversion, le câblage et les coûts.

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

ST4

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Les étudiants sont divisés en 12 groupes de 3 élèves (=36) qui travaillent en « compétition ». Le but est de concevoir un parc éolien offshore tout en prenant en compte certaines contraintes techniques et économiques. Les données d'entrées sont un jeu de donnée météo et les paramètres de la chaîne de conversion (mesurés en TL pour certains). Les contraintes sont les limites géographiques du parc, le point de connexion au réseau électrique et la taille des câbles. Les élèves doivent déterminer le nombre de turbines optimal, leur localisation et estimer la production du parc.

Organisation de l'évaluation

En fin de semaine, chaque groupe présente son analyse. Les données du parc 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 (50 pers) reconfigurable, avec vidéoprojection et WiFi.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Evaluer la ressources en vent d'un site.
- Maîtriser les différentes étapes de la conversion de l'énergie du vent en énergie électrique.
- Comprendre les difficultés liées à l'intégration de ce moyen de production dans les réseaux électriques.
- Evaluer le coût unitaire moyen de l'énergie éolienne.

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.

ST4 – BLACK SWANS DETECTION IN PARTICLE PHYSICS AND COSMOLOGY

Dominante: PNT (Physique et Nanotechnologie)

Language: Anglais

Campus: Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

La physique des particules et la cosmologie observationnelle sont des domaines qui ont considérablement progressé ces dernières années, améliorant significativement notre compréhension de l'Univers et de son contenu. Ces recherches demandent des efforts humains, scientifiques et technologiques considérables pour détecter des événements rares et/ou de très faible intensité, donc difficiles à détecter que l'on appelle Black Swans. Afin d'avoir un réel sens scientifique, ces mesures doivent être rapportées avec une conscience aigüe de leurs limitations (incertitudes statistiques et systématiques).

Sur le plan économique, les données scientifiques en physique des particules et cosmologie observationnelle sont issues d'installations dont le coût se chiffre en milliards d'euros. Il est de la responsabilité des scientifiques d'exploiter les données qui en sont issues de manière optimale, ce qui implique souvent une approche d'ingénierie et de rationalisation au-delà de la seule problématique scientifique (stockage des données, optimisation de la mémoire, du temps CPU et des algorithmes).

Ces efforts de recherche fondamentale ont toujours nécessité des approches d'analyse de données complexes. L'arrivée des géants de l'internet (GAFA) a considérablement accéléré les développements de ce qui est appelé à nouveau l'Intelligence Artificielle (IA). Depuis quelques années, les scientifiques cherchent à intégrer ces développements dans l'analyse de données. Pour la plupart encore expérimentaux, ces algorithmes font leur chemin et deviennent petit à petit de nouveaux standards pour l'exploitation des quantités de données considérables issues des collisionneurs de particules et des observatoires astrophysiques.

Ce cours abordera les questions de physique fondamentale associées ainsi qu'une grande variété des algorithmes utilisés dans la communauté scientifique pour analyser les données des instruments les plus récents (LHC, Planck, SDSS, ...). Il visera à donner aux étudiants une vision synthétique et technique des activités scientifiques dans ces domaines de recherche.

Prérequis

Cours de statistiques et probabilité du premier semestre du tronc commun. Outils informatiques : Python (Anaconda), GitHub.

Modules contexte et enjeux : ces modules permettront aux élèves ingénieurs de se familiariser dans un premier avec le contexte scientifique contemporain en physique des particules et cosmologie, puis de dégager l'importance des besoins et défis en termes de Big-Data, High-Performance-Computing (HPC), High-Throughput-Computing (HTC) et Intelligence Artificielle. Au-delà des simples aspects scientifiques et technologiques, le contexte socio-économique de cette thématique sera abordé (financement de la recherche fondamentale notamment).

Cours spécifique (60 HEE) : Data Analysis in Particle Physics and Cosmology

- **Brève description :** La physique des particules et la cosmologie observationnelle sont des domaines qui ont considérablement progressé ces dernières années, améliorant significativement notre compréhension de l'Univers et de son contenu. Ces recherches demandent des efforts humains, scientifiques et technologiques considérables pour détecter des événements rares et/ou de très faible intensité, donc difficiles à détecter que l'on appelle Black Swans. Afin d'avoir un réel sens scientifique, ces mesures doivent être rapportées avec une conscience aigüe de leurs limitations (incertitudes statistiques et systématiques).

Ce cours abordera les questions de physique fondamentale associées ainsi qu'une grande variété des algorithmes utilisés dans la communauté scientifique pour analyser les données des instruments les plus récents (LHC, Planck, SDSS, ...). Il visera à donner aux étudiants une vision synthétique et technique des activités scientifiques dans ces domaines de recherche. Ce cours donnera un aperçu et une compréhension de base des enjeux de l'analyse de données en physique des particules et en cosmologie.

Enseignement d'intégration : Black swans detection in particle physics and cosmology

- **Partenaire industriel:** CNRS/CEA
- **Lieu :** Campus Paris-Saclay
- **Brève description :** Application des méthodes de traitement du signal, analyse statistique et machine learning à l'analyse de données d'expériences de physique des particules et de cosmologie.

Les élèves seront divisés en deux groupes, l'un travaillant sur un problème de physique des particules (groupe "Higgs"), l'autre de cosmologie (groupe "cosmologie"). L'organisation des deux groupes sera très similaire, les différences seront indiquées lorsque nécessaire.

- **Groupe Higgs.** Il s'agira de rechercher des bosons de Higgs dans un lot de données fourni par la collaboration ATLAS. Le lot contient des bosons de Higgs mais aussi des distorsions d'origine expérimentale. Le but est de trouver un maximum de bosons de Higgs par différentes techniques, robustes par rapport aux distorsions expérimentales.
- **Groupe Cosmologie :** Il s'agira d'une analyse End-to-End de données publiques provenant des trois sondes principales de la Cosmologie observationnelle contemporaine : Supernovæ de type Ia (SNIa), Fond Diffus Cosmologique (Cosmic Microwave Background - CMB) et Oscillations Acoustiques de Baryons (BAO). Le but sera d'obtenir des contraintes sur le modèle cosmologique Λ CDM par une approche bayésienne basée sur la technique Monte Carlo par chaîne de Markov avec chaque sonde et de les combiner.

Les objectifs d'apprentissage sont : mise en concurrence et optimisation de méthodes de Machine Learning, d'analyse d'images et de catalogues (photométrie, fonction de corrélation à deux points), combinaison de résultats, traitement des incertitudes statistiques et systématiques et interprétation scientifique.

1SC4710 – Data Analysis in Particle Physics and Cosmology

Responsables : Jean-Christophe Hamilton, Guillaume Mention

Département de rattachement : DÉPARTEMENT PHYSIQUE

Langues d'enseignement : ANGLAIS

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) : 30,50

Présentation, objectifs généraux du cours

La physique des particules et la cosmologie observationnelle sont des domaines qui ont considérablement progressé ces dernières années, améliorant significativement notre compréhension de l'Univers et de son contenu. Ces recherches demandent des efforts humains, scientifiques et technologiques considérables pour détecter des événements rares et/ou de très faible intensité, donc difficiles à détecter que l'on appelle Black Swans. Afin d'avoir un réel sens scientifique, ces mesures doivent être rapportées avec une conscience aigüe de leur limitations (incertitudes statistiques et systématiques).

Ce cours abordera les questions de physique fondamentale associées ainsi qu'une grande variété des algorithmes utilisés dans la communauté scientifique pour analyser les données des instruments les plus récents (LHC, Planck, SDSS, ...). Il visera à donner aux étudiants une vision synthétique et technique des activités scientifiques dans ces domaines de recherche. Ce cours donnera un aperçu et une compréhension de base des enjeux de l'analyse de données en physique des particules et en cosmologie.

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

ST4

Prérequis

Cours de CIP EDP

Outils informatiques : Python (Anaconda), GitHub

Plan détaillé du cours (contenu)

1 Physique des particules (neutrinos, matière noire, Higgs, Supersymétrie) - 20 HEE

- *Introduction scientifique* - 10 HEE
- Modèle standard de la physique des particules
- Notions de bases utiles en physique des particules (Probabilité d'interaction, Section efficace, identification des événements)
- Tour d'horizon des moyens expérimentaux de détection en physique des particules
- Outils de simulation développés par la communauté (Monte Carlo, ...)
- Les recherches actuelles en physique des particules

- *Techniques d'analyse de données spécifiques* - 10 HEE
- Taux de comptage, efficacité de détection, classification des événements, incertitudes. Rapport Signal/Bruit, Significance statistique.
- Signal, bruit de fond, classification, performances.
- Systématiques, nuisances, ...
- Incertitudes expérimentales, théoriques. Bilans d'incertitudes. Propagation des incertitudes.
- Inférence statistique, ajustements avec χ^2 , Likelihood, profile Likelihood, contours de confiance, p-value.
- Combinaison de résultats et tests d'adéquation

2 Cosmologie- 20 HEE

- *Introduction générale* 10 HEE
- Piliers de la cosmologie (Relativité Générale, Expansion de l'Univers, Principe Cosmologique)
- Modèle du Big-Bang : paramètres cosmologiques

- Sondes cosmologiques : Supernovae de type Ia, Oscillations acoustiques de baryons, Fond diffus cosmologique
- Ouverture vers l'Univers primordial, l'inflation
- *Techniques d'analyse spécifiques* - 10 HEE
- En astronomie : Imagerie, photométrie, spectroscopie, carte du CMB, Harmoniques sphériques, pixellisation
- En statistiques : Ajustements avec χ^2 , Likelihood, marginalisation, théorème de Bayes, postérieure, Monte-Carlo-Markov-Chain

3 Apprentissage automatique- 20 HEE

- Introduction générale
- Classifieurs : principes
- Nearest Neighbour
- Arbres de Décision
- Courbes ROC, courbe d'apprentissage
- Overtraining, validation croisée
- Réseau de neurones, principes
- Principes généraux d'optimisation
- Astuces de construction et optimisation des réseaux de neurones
- Quelques architectures et leurs applications : réseau dense, réseau convolutionnel, réseau récurrent, réseau adversaire

Déroulement, organisation du cours

La séquence thématique commence par 4 demi-journées d'introduction avec des conférences d'intervenants extérieurs et des tables rondes.

Les cours proprement dits se dérouleront en 8 séances de 3 heures de cours, 3 séances de 3 heures de TD. L'enseignement d'intégration d'une semaine clos la séquence. Les étudiants sont divisés en 4 groupes, 2 de cosmologie, 2 de physique des particules.

Chaque groupe doit mettre en place et optimiser un pipe-line d'analyse de données débouchant sur une mesure scientifique (incluant les incertitudes), chaque groupe étant divisé en équipe prenant en charge un aspect particulier.

Organisation de l'évaluation

Combinaison de plusieurs méthodes d'évaluation. Note de synthèse sur les conférences d'introduction. Examen final sur table de 2h pour le cours spécifique. Enseignement d'intégration, note combinant les notebooks produits et la présentation finale.

Support de cours, bibliographie

- F. James, Statistical Methods in Experimental Physics: 2nd Edition
- G. Cowan, Statistical Data Analysis
- I. Narsky et F. C. Porter, Statistical analysis techniques in particle physics: fits, density estimation and supervised learning
- G. D'Agostini, Bayesian reasoning in data analysis : a critical introduction
- J. Rich, Fundamentals of Cosmology, Springer
- S. Serjeant, Observational Cosmology, The Open University
- C. Giunti, C. W. Kim, Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics
- D. Griffiths, Introduction to Elementary Particle Physics.

Moyens

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Jean-Christophe Hamilton (CNRS-APC), Guillaume Mention (CEA-IRFU)
- Taille des TD : 100 étudiants, avec leur portable
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : iPython Notebooks (Jupyter, JupyterHub sur un serveur dédié). Pas de licences spécifiques.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Mise en pratiques des notions de statistiques et d'apprentissage automatiques vues en cours

1SC4791 – Détection des Black Swans en physique des particules et en cosmologie (Higgs)

Responsables : **David Rousseau, Guillaume Mention**

Département de rattachement : **DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Cette semaine d'Enseignement d'Intégration / Challenge Week est un projet d'une semaine où les étudiants sont regroupés en collaborations d'environ 25 personnes, réparties en 5 équipes.

Le but de chaque collaboration est de construire un pipeline d'analyse pour arriver à une preuve de l'existence du boson de Higgs avec l'apprentissage automatique, en utilisant des données ouvertes de l'expérience ATLAS du CERN. Les cinq équipes sont : Ingénierie des caractéristiques, arbre de décision renforcé, réseaux neuronaux, analyse statistique, effets systématiques. Un porte-parole élu s'assure que la collaboration dans son ensemble donne les résultats escomptés.

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

ST4

Prérequis

Connaissances de base en physique des particules, analyse statistique, apprentissage automatique, codage dans l'écosystème python de l'apprentissage automatique.

Plan détaillé du cours (contenu)

Le matin du premier jour, nous présentons une introduction au travail à effectuer.

Les étudiants sont divisés en deux groupes et travaillent de manière indépendante. Ils participent à des travaux d'équipe et doivent partager la charge de travail et les tâches, identifier les difficultés et faire un brainstorming ensemble. Les ajustements de la charge de travail et du partage doivent être gérés dans la semaine pour assurer un effort de collaboration global.

Des mises à jour régulières sur les progrès et les difficultés rencontrées doivent être fournies afin d'améliorer les progrès des étudiants. Des discussions avec les enseignants ont lieu tout au long de la semaine. De petits rapports quotidiens doivent être fournis.

Les étudiants travaillent sur des cahiers partagés. Nous demandons une présentation du travail effectué et des résultats obtenus avant la fin de la semaine de l'EI.

Cette semaine se termine par une demi-journée de présentations orales par les étudiants.

Déroulement, organisation du cours

Nous fournissons des documents de soutien à lire et à comprendre. Des cahiers de base sont également fournis. Le cadre d'enseignement suit des séances de pratique dont les étudiants peuvent s'inspirer pour démarrer. Leur travail doit alors aller bien au-delà du cadre vu en classe et laisser place à leur compréhension et à leurs initiatives personnelles.

Organisation de l'évaluation

La semaine de l'EI se termine par une présentation de 45' suivie de 15' de questions. La présentation est répartie entre 5 intervenants choisis au hasard en plus du porte-parole. En outre, la collaboration doit livrer des cahiers digitaux avec tous leurs calculs. La note finale est une combinaison de : la performance de l'ensemble de la collaboration, la performance de l'équipe, les contributions individuelles.

Moyens

Cahiers de collaboration Python (vus pendant le cours spécifique).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Mettre en place des outils statistiques standard
- Utilisation des bibliothèques d'apprentissage automatique
- Calcul des quantités à l'aide de la relativité spéciale
- Analyse des données numériques
- Travail d'équipe
- Partage du travail
- Présentation des méthodes et des résultats

Description des compétences acquises à l'issue du cours

[C6] Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique :

- **C6.3** Traiter des données ;
- **C6.1** Résoudre un problème numériquement ;
- **C6.2** Concevoir des logiciels

[C7] Savoir convaincre :

- **C7.1** Structurer ses idées et ses arguments, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée) ;
- **C7.4** Sur les techniques de communication : Maîtriser le langage oral, écrit et corporel, et maîtriser les techniques de communication de base.

[C8] Diriger un projet, une équipe :

- **C8.1** Construire le collectif pour travailler en équipe ;
- **C8.4** Travailler en mode projet en mettant en œuvre des méthodes de gestion de projet adaptées à la situation.

[C1] Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques :

- **C1.4** Concevoir : spécifier, mettre en œuvre et valider tout ou partie d'un système complexe.
- **C1.3** Résoudre : résoudre un problème par une pratique d'approximation, de simulation et d'expérimentation.

[C2] Développer des compétences approfondies dans un domaine de l'ingénierie et dans une famille de métiers

- **C2.1** Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

1SC4792 – Détection des Black Swans en physique des particules et en cosmologie (Cosmology)

Responsables : **Jean-Christophe Hamilton**

Département de rattachement : **DOMINANTE - PHYSIQUE ET NANOTECHNOLOGIES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Cette semaine d'Enseignement d'Intégration / Challenge Week est un projet d'une semaine où les élèves sont regroupés en collaborations d'environ 25, répartis en 6 équipes correspondant à des tâches diverses.

L'objectif est d'élaborer des contraintes cosmologiques à partir d'un ensemble de données simulées (supernovae de type Ia et fond d'onde cosmique) correspondant à un univers aux paramètres cosmologiques distincts (et inconnus).

Chaque collaboration doit construire un pipeline d'analyse pour arriver aux contraintes cosmologiques pertinentes. Les tâches à accomplir comprennent :

Détection des supernovae à partir d'images

Photométrie des supernovae et construction de la courbe de lumière

Les contraintes cosmologiques des supernovae

Filtrage des données et cartographie par ordre chronologique du CMB

Extraction du spectre de puissance angulaire du CMB

Contraintes cosmologiques du spectre de puissance angulaire du CMB

Contraintes cosmologiques communes à partir des données du CMB et des supernovae

Un porte-parole élu s'assure que la collaboration dans son ensemble donne les résultats escomptés.

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

ST4

Prérequis

Connaissances de base en cosmologie, analyse statistique, codage en python.

Plan détaillé du cours (contenu)

Le matin du premier jour, nous présentons une introduction au travail à effectuer.

Les étudiants sont divisés en deux collaborations et travaillent de manière indépendante. Ils participent à des travaux d'équipe et doivent partager la charge de travail et les tâches, identifier les difficultés et faire un brainstorming ensemble. Les ajustements de la charge de travail et du partage doivent être gérés dans la semaine pour assurer un effort de collaboration global.

Des mises à jour régulières sur les progrès et les difficultés rencontrées doivent être fournies afin d'améliorer les progrès des étudiants. Des discussions avec les enseignants ont lieu tout au long de la semaine. De petits rapports quotidiens doivent être fournis.

Les étudiants travaillent sur des cahiers partagés. Nous demandons une présentation du travail effectué et des résultats obtenus avant la fin de la semaine de l'EI.

Cette semaine se termine par une demi-journée de présentations orales par les étudiants.

Déroulement, organisation du cours

Nous fournissons des documents de soutien à lire et à comprendre. Des cahiers de base sont également fournis. Le cadre d'enseignement suit des séances de pratique dont les étudiants peuvent s'inspirer pour démarrer. Leur travail doit alors aller bien au-delà du cadre vu en classe et laisser place à leur compréhension et à leurs initiatives personnelles.

Organisation de l'évaluation

La semaine de l'EI se termine par une présentation de 45' suivie de 15' de questions. La présentation est répartie entre 6 intervenants choisis au hasard en plus du porte-parole. En outre, la collaboration doit livrer des cahiers avec tous leurs calculs. La note finale est une combinaison de : la performance de l'ensemble de la collaboration, la performance de l'équipe, les contributions individuelles.

Moyens

Notebooks de collaboration Python (vus pendant le cours principal).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- Mettre en place des outils statistiques standard
- Analyse des données numériques
- recherche des bibliothèques publiques disponibles pour des tâches spécifiques
- Travail d'équipe
- Partage du travail
- Présentation des méthodes et des résultats

Description des compétences acquises à l'issue du cours

[C6] Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique :

- C6.3 Traiter des données ;
- C6.1 Résoudre un problème numériquement ;
- C6.2 Concevoir des logiciels

[C7] Savoir convaincre :

- C7.1 Structurer ses idées et ses arguments, être synthétique (hypothèses, objectifs, résultats attendus, démarche et valeur créée) ;
- C7.4 Sur les techniques de communication : Maîtriser le langage oral, écrit et corporel, et maîtriser les techniques de communication de base.

[C8] Diriger un projet, une équipe :

- C8.1 Construire le collectif pour travailler en équipe ;
- C8.4 Travailler en mode projet en mettant en œuvre des méthodes de gestion de projet adaptées à la situation.

[C1] Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques :

- C1.4 Concevoir : spécifier, mettre en œuvre et valider tout ou partie d'un système complexe.
- C1.3 Résoudre : résoudre un problème par une pratique d'approximation, de simulation et d'expérimentation.

[C2] Développer des compétences approfondies dans un domaine de l'ingénierie et dans une famille de métiers

- C2.1 Approfondir un domaine des sciences de l'ingénieur ou une discipline scientifique

ST4 – DATA@WEB: WEB DATA INTELLIGENCE

“CREATION DE VALEUR AUTOUR DES DONNÉES DU WEB”

Dominante: Info&Num (Informatique et Numérique)

Language: Français

Campus: Paris-Saclay

Problématique d'ingénieur

Cette séquence thématique aborde la problématique de l'exploitation des données du WEB qui ont pour particularité d'être à la fois massives, à forte vélocité (par exemple. en 60 s, Google doit traiter pour son moteur de recherche plus de 3 millions de requêtes, LinkedIn gère la création de 120 nouveaux comptes...), non structurées (données textuelles ou multimédia) et très hétérogènes. Ces données sont aussi bien évidemment porteuses de valeur comme en témoigne la réussite des géants du web et leur exploitation soulève toujours plus de défis d'ingénieurs (à l'image du paradigme MapReduce proposé par les ingénieurs de Google pour le traitement distribué des données de son moteur de Recherche). Un autre aspect très important de ces données est que nous en sommes à la fois les producteurs et consommateurs et qu'elles sont donc à fort impact social.

Dans cette séquence thématique, nous proposons donc d'aborder les concepts principaux de l'analyse des données du web, de leur collecte à leur interprétation, au travers d'au moins 3 applications : la e-réputation, le e-marketing et le e-commerce. Outre, les aspects traitement de données et extraction d'information en lui-même, cette séquence thématique sera aussi une occasion d'aborder des questions telles que la vie numérique, l'éthique, le droit à la confidentialité, la protection des données ainsi qu'une réflexion sur le web que nous voulons pour demain.

Prérequis conseillés

Cours communs 1A, SIP, Algorithmique

Modules contexte et enjeux : ils comportent un ensemble de conférences, de tables rondes et d'ateliers d'innovation :

- Les (r)évolutions de la planète Web, regardant certains des changements passés, actuels, et à venir du Web en insistant sur la complexité de cet artefact qui en fait un objet de recherches pluridisciplinaires
- Les géants du Web, portant sur les nouvelles pratiques, usages et technologies introduits par les géants du web et la manière dont les membres du GAFA ont révolutionné la manière de faire de l'informatique
- Conférence et table ronde sur le thème de la vie numérique, des données personnelles, de leur protection, du GDPR, de son impact sur le marché et la société
- Recommandation algorithmique et diversité de l'information : comment analyser l'impact des algorithmes en ligne ?

Cours spécifique (60 HEE) : Traitement et analyse de données massives non structurées – cas des données du Web

- **Brève description :** Comment peut-on trouver automatiquement et rapidement les informations pertinentes à un besoin particulier, à partir d'une grande masse d'informations ? C'est typiquement ce que font avec efficacité les moteurs de recherche tels que Google ou Baidu quand ils répondent aux 4 millions de requêtes qu'ils reçoivent chacun toutes les secondes. L'objectif de ce cours est de décrire les fondements et les techniques de la Recherche d'Information (RI) sur lesquels reposent ces moteurs de recherche. Le cours abordera aussi les défis actuels du domaine comme les apports de l'apprentissage automatique et profond pour la RI ou la personnalisation et le recommandation (filtrage collaboratif).

Enseignement d'intégration : Web datakathon challengez les données du web !

L'objectif est de mettre en œuvre, sur des données concrètes et issues du Web, plusieurs des approches abordées dans la ST avec comme finalité une application de web data intelligence (e-reputation, e-marketing, e-vigilance ...)

- Analyser et traduction du besoin
- Construction de la chaîne d'analyse de données : de la collecte (enrichissement) à l'interprétation et à la visualisation
- Conception de l'architecture technique sous-jacente
- Evaluation, validation et prise de recul sur la solution réalisée.

L'EI sera construit comme un mini dataathon autour de plusieurs thèmes construits avec les partenaires de la ST. Les thèmes envisagés sont :

- e-reputation : d'une marque ou d'un produit dans les réseaux sociaux
- e-marketing
- e-commerce : développer une plateforme web de recommandation de films

Enseignement d'intégration n°1 : e-reputation : analyse de sentiments et NLP

– **Partenaires associés** : Mazars

– **Lieu** : Campus Paris-Saclay

– **Brève description**: Mazars offers to share its business experience in developing a Data Science model for client needs. The aim is to help you to understand the essential stages of data collection, modelling using machine learning algorithms and putting the model into practice by participating in developing a complete model project: from the choice of the objective to the critical presentation of your results. Mazars suggests the following area of application: "the e-reputation of a company, a brand or a personality by analysing feelings based on data from social networks or the Web, in this case, Twitter". It will also be an opportunity for you to discover how to scrape data on a network that has 'blocked' free access to its data. The project will involve the following stages: Retour sur les bases du machine learning (présentation courte de l'intervenant)

1. Comprendre la problématique client et traduire le besoin
2. Identifier des Data Sets nécessaires au modèle
3. Collecter, nettoyer et qualifier la donnée
4. Élaborer un modèle en s'appuyant sur l'arsenal d'algorithmes de datascience
5. Valider le modèle

Enseignement d'intégration n°2 : e-marketing

– **Exemples de Partenaires associés** : HeadMind Partners

– **Lieu** : Campus Paris-Saclay

– **Brève description** : Dans un monde numérique en constante évolution, les moteurs de recherche jouent un rôle crucial en nous permettant d'explorer, d'analyser et de découvrir des informations pertinentes parmi la masse de données disponibles en ligne. Comprendre en profondeur le fonctionnement de ces moteurs devient donc une compétence essentielle pour ceux qui aspirent à façonner l'avenir de la recherche d'informations. L'objectif de cet EI est de mettre en place un moteur de recherche sémantique en suivant les étapes suivantes :

- Exploration des données (récupération, exploration et visualisation de données)
- Création du moteur de recherche (indexation, méthode de recherche, ranking, ...)
- Amélioration du moteur de recherche (métriques de performances)

Enseignement d'intégration n°3 : e-commerce

– **Partenaire associé** : Theodo

– **Lieu** : Campus Paris-Saclay

– **Brève description** : Theodo développe des applications web sur mesure pour résoudre les problèmes business de ses clients. Présents à Paris, Lyon, Nantes, Londres et New York, nous accompagnons aussi bien des grands groupes (RATP, Bpifrance, Carrefour) que des scale-ups/start-ups (Qonto, Sunday, ManoMano). Dans le cadre de cette EI, l'objectif est de développer une plateforme Web sur laquelle chaque utilisateur pourra dans un premier temps noter des films et dans un second temps recevoir des recommandations automatiques. Pour cela, plusieurs technologies peuvent être utilisées : React JS pour l'interface graphique, Express JS pour la partie serveur, SQL pour la base de données, ...

1SC4810 – Traitement et analyse de données massives non structurées – cas des données du Web

Responsables : **Wassila Ouerdane, Céline Hudelot**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT INFORMATIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30,50**

Présentation, objectifs généraux du cours

Comment peut-on trouver automatiquement et rapidement les informations pertinentes à un besoin particulier, à partir d'une grande masse d'informations ? C'est typiquement ce que font avec efficacité les moteurs de recherche tels que Google ou Baidu quand ils répondent aux 4 millions de requêtes qu'ils reçoivent chacun toutes les secondes. L'objectif de ce cours est de décrire les fondements et les techniques de la Recherche d'Information (RI) sur lesquels reposent ces moteurs de recherche. Le cours abordera aussi quelques défis actuels du domaine comme par exemple les apports de l'apprentissage automatique et profond pour la RI ou la personnalisation et la recommandation (filtrage collaboratif).

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

ST4

Prérequis

Systèmes d'Information et Programmation (SIP), Algorithmique et Complexité

Plan détaillé du cours (contenu)

Découpage du cours en chapitres :

- Introduction à la Recherche d'Information - Notions de bases : indexation – index inversé
- Modèles de recherche de base : modèles booléen et vectoriel
- Modèles Probabilistes
- Évaluation des systèmes de Recherche d'Information
- Recherche Web : crawling – cas des grosses collections – indexation distribuée (MAP REDUCE – Hadoop)
- Recherche Web : analyse de liens.
- Personnalisation : e.g. Systèmes de recommandation
- Apprentissage pour la Recherche d'Information : catégorisation
- Apprentissage pour la Recherche d'Information : apprentissage pour l'ordonnancement (learning to rank)

Contenu des Laboratoires (travaux pratiques sur machine et TDs)

- Indexation et construction d'un index inversé
- Modèles de recherche : modèles booléen et vectoriel
- Modèles de recherche : modèle probabiliste
- Evaluation des Systèmes de RI
- Recherche Web : paradigme MapReduce
- Recherche Web : analyse de liens - PageRank
- Systèmes de recommandation
- Apprentissage pour la RI : approche par points
- Apprentissage pour la RI : approche par paires

Déroulement, organisation du cours

9 séances de 1h30 de cours, 13 séances de 1h30 de Laboratoires

Organisation de l'évaluation

Contrôle final sous forme d'examen écrit (2h) avec calculatrice, photocopiés et notes de cours de l'élève autorisés

Support de cours, bibliographie

- Introduction to Information Retrieval, by C. Manning, P. Raghavan, and H. Schütze (Cambridge University Press, 2008)
- Information Retrieval: Implementing and Evaluating Search Engines, by S. Büttcher, C. Clarke, and G. Cormack.
- Search Engines: Information Retrieval in Practice, by B. Croft, D. Metzler, and T. Strohman.
- Modern Information Retrieval, by R. Baeza-Yates and B. Ribeiro-Neto.
- Recherche d'information - Applications, modèles et algorithmes - Data mining, décisionnel et big data - Messa-Aminih Reza et Gaussier Eric - Eyrolles

Moyens

o Equipe enseignante : Céline Hudelot, Wassila Ouerdane, Myriam Tami, Bich-Liên Doan.

o Taille des TD : 40 (3 ou 4 groupes)

o Outils logiciels :

- Langage de programmation : python
- Environnement de développement : notebook jupyter

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

A la fin de cet enseignement l'élève aura acquis une bonne compréhension des concepts de base de la Recherche d'Information et sera capable d'appliquer ces concepts dans la pratique. Il sera plus précisément capable de :

- Comprendre les problèmes de modélisation, d'indexation et de traitement d'information liés à la Recherche d'Information (RI).
- Comprendre comment les modèles statistiques de texte et l'apprentissage peuvent être utilisés pour résoudre les problèmes de RI.
- Comprendre et faire des recommandations sur l'importance des structures de données pour permettre un accès efficace à l'information dans des grands corpus.
- Appliquer les principaux concepts de la Recherche d'Information pour la conception et à la mise en œuvre d'applications réelles de recherche d'information ad-hoc.
- Analyser et évaluer la performance des systèmes de recherche d'information à l'aide de collections de tests.
- Comprendre les défis actuels de la Recherche d'Information comme le passage à l'échelle ou la personnalisation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Comprendre les problèmes de modélisation, d'indexation et de traitement d'information liés à la Recherche d'Information (RI), Appliquer les principaux concepts de la Recherche d'Information pour la conception et à la mise en œuvre d'applications réelles de recherche d'information ad-hoc et Comprendre les défis actuels de la Recherche d'Information comme le passage à l'échelle ou la personnalisation s'inscrivent dans **C1 "Analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes à composantes scientifiques, technologiques, humaines et économiques"** et **C2 "Développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers"**
- Comprendre comment les modèles statistiques de texte et l'apprentissage peuvent être utilisés pour résoudre les problèmes de RI et Comprendre et faire des recommandations sur l'importance des structures de données pour permettre un accès efficace à l'information dans des grands corpus s'inscrivent dans **C6 : "Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique"**
- Analyser et évaluer la performance des systèmes de recherche d'information à l'aide de collections de tests s'inscrit dans **C3.3 "Mettre en œuvre concrètement des idées novatrices et s'engager sur ses décisions, évaluer les solutions, passer à l'industrialisation pour délivrer des résultats tangibles"**

1SC4891 – E-reputation

Responsables : **Bich-Lien Doan**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

EI-1 : E-reputation : analyse de sentiments et NLP

La maîtrise de l'information est stratégique pour la société Octopeek. Son importance est mesurable par le volume de l'information traitée, par la rapidité d'évolution de l'information ainsi que par le temps passé dans l'activité de recherche d'information. Cette problématique a amené à l'apparition ces dernières années de nouveaux métiers autour de la Data Science et des Big Data.

Contexte et objectif :

Mazars se propose de partager son expérience métier sur l'élaboration d'un modèle de Data Science pour des besoins clients. Il s'agit de qualifier la e-réputation d'une entreprise, d'une marque, d'une personnalité en faisant de l'analyse de sentiments sur des données issues des réseaux sociaux ou du Web.

L'objectif est de faire une analyse de sentiments sur une entreprise, un groupe ou tout simplement un phénomène afin de déterminer la causalité de ces sentiments sur l'avenir de l'entité concernée. Exemple : analyse des sentiments sur une chaîne de télévision "HBO" qui propose une série tendance actuellement "Game Of Thrones". Au niveau business, les responsables de la chaîne cherchent à savoir s'il serait intéressant de lancer un Spin-off de cette série prochainement ou pas. Pour ce faire, ils doivent mener une étude sur le ressenti des fans sur leur série. La meilleure approche est de recueillir la réaction des fans sur une source qui nous assure d'avoir accès à des données dites "chaudes" ou en temps réel. Les collections de données utilisées pour les tests seront soit des collections publiques disponibles sur le Web (Twitter), soit des collections fournies par Mazars.

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

ST4

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Dans ce projet, les élèves choisissent un thème sur lequel ils doivent mener une étude sur le ressenti des utilisateurs, en analysant les sentiments liés aux commentaires de ces derniers. Dans un premier temps, il s'agit de collecter des tweets à partir de sources de données en temps réel. Puis, après nettoyage des données collectées, les élèves expérimentent des algorithmes pour avoir la meilleure recommandation et ils utilisent les mesures de précisions pour évaluer le modèle choisi. La mise en œuvre du projet sera sous la forme d'un challenge entre les équipes, ce qui permettra de confronter à la fin du projet le meilleur algorithme.

Déroulement, organisation du cours

Travail en mode projet
mise en situation réelle

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu
Soutenance orale

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Comprendre le problème du client et traduire le besoin
Identifier les ensembles de données nécessaires pour le modèle
Collecter, nettoyer et qualifier les données

Élaborer un modèle en utilisant l'arsenal des algorithmes de la science des données
Valider le modèle

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C1, C2 et C7

1SC4892 – E-Marketing

Responsables : Céline Hudelot, Pierre COLOMBO

Département de rattachement : DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE

Langues d'enseignement : FRANCAIS

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Web datackathon : challengez les données du web !

E-marketing - Avec un partenaire industriel (2019 : Doctolib - 2020 - 2021 : Procter & Gamble - 2022 : Rakuten - 2023 HeadMind Partners)

L'objectif est de mettre en œuvre, sur des données concrètes fournies par le partenaire et éventuellement enrichies par des données du Web, plusieurs des approches abordées dans la ST avec comme finalité une application dans le domaine du marketing. Il s'agira de :

- Analyser et traduire le besoin
- Construire la chaîne d'analyse de données : de la collecte (enrichissement) à l'interprétation et à la visualisation
- Concevoir l'architecture technique sous-jacente
- Evaluer, valider et prise de recul produit sur la solution réalisée.

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

ST4

Prérequis

Systèmes d'information et programmation (SIP) - Algorithmique et Complexité - Statistiques et Apprentissage

Plan détaillé du cours (contenu)

Le contenu précis de cet EI peut être amené à changer chaque année, en fonction du partenaire industriel impliqué. Les contenus des trois précédentes éditions de cet EI sont donnés à titre indicatif

EI Procter&Gamble, 2020

OralB est une marque leader dans la catégorie des brosses à dents électriques. En France, 20 % de la population utilise une brosse à dents électrique. D'après les recherches, la brosse à dents électrique permet d'éliminer la plaque dentaire de 21 % par rapport à la brosse à dents manuelle. Pour inciter davantage de consommateurs à essayer la brosse à dents électrique, nous avons besoin d'une campagne de marketing capable de cibler le bon public au bon moment. En utilisant les données sur les consommateurs qui ont essayé la brosse à dents, nous pourrions développer des algorithmes pour trouver les consommateurs qui ont une forte probabilité d'acheter une brosse à dents électrique. L'objectif est donc d'exploiter la science des données pour prendre la MEILLEURE décision commerciale en matière de marketing de précision.

=====

EI Procter&Gamble, 2021

Procter & Gamble (P&G) est une multinationale américaine qui vend des produits de consommation. P&G propose de nombreuses marques bien connues telles que Gillette, Braun, OralB, Ariel, Lenor, Pampers, Always, Head & Shoulders, Herbal Essence, Febrez, Mr Propre, Vicks... Ils lancent actuellement un nouveau produit en France appelé Fairy Pods pour le lave-vaisselle.

Dans cette IE, l'objectif est d'identifier, à l'aide d'algorithmes d'apprentissage automatique, les consommateurs qui sont très susceptibles d'avoir des lave-vaisselles. Cela permettra à l'équipe marketing de P&G de les cibler dans les campagnes médiatiques et d'attirer autant de consommateurs que possible pour essayer les Fairy Pods, tout en dépensant le budget le plus faible possible. A partir des caractéristiques démographiques/comportementales et des actions web des consommateurs, dont une partie est fournie sous un format de base de données, l'objectif est donc de prédire s'ils possèdent ou non un lave-vaisselle. Les étudiants sont ainsi à la fois encouragés à développer des stratégies d'enrichissement des bases de données fournies mais aussi de gestion des données

manquantes et de tout autre problème auquel un data-scientist est confronté lorsqu'il travaille sur des données réelles.

=====

EI Rakuten, 2022

Rakuten Institute of Technology (RIT) est le centre d'incubation de la recherche en IA et des technologies qui alimentent l'innovation de Rakuten. Il s'agit de la principale branche de recherche en IA de Rakuten, répartie sur six sites géographiques : Tokyo, Singapour, Boston, San Mateo, Bengaluru et Paris. Le RIT mène des recherches appliquées dans trois grands domaines verticaux : la compréhension des clients, le traitement du langage naturel et la vision par ordinateur. Le RIT s'engage également dans des initiatives de type "moonshot", notamment des programmes tels que la guérison du cancer par l'IA, l'informatique quantique et la construction d'un réseau mobile entièrement autonome.

Contexte

Ce défi se concentre sur le thème de la classification à grande échelle du code de type de produit (éventuellement, multimodal en utilisant du texte et des images) où l'objectif est de prédire le code de type de chaque produit (qui définit la catégorie du produit) comme défini dans le catalogue de Rakuten France. Le catalogage des produits par la catégorisation des titres et des images est un problème fondamental pour toute place de marché de commerce électronique, avec des applications allant de la recherche et des recommandations personnalisées à la compréhension des requêtes. Les approches manuelles et basées sur des règles pour la catégorisation ne sont pas évolutives car les produits commerciaux sont organisés en de nombreuses classes. Le déploiement d'approches multimodales serait une technique utile pour les entreprises de commerce électronique car elles ont du mal à catégoriser les produits à partir des images et des étiquettes des marchands et à éviter les doublons, en particulier lorsqu'elles vendent à la fois des produits neufs et d'occasion provenant de marchands professionnels et non professionnels, comme le fait Rakuten. Les avancées dans ce domaine de recherche ont été limitées en raison du manque de données réelles provenant de catalogues commerciaux réels. Le défi présente plusieurs aspects de recherche intéressants en raison de la nature bruyante intrinsèque des étiquettes et des images des produits, de la taille des catalogues de commerce électronique modernes et de la distribution déséquilibrée typique des données.

=====

EI headMind Partners, 2023

Fondée sur des expertises de pointe, HeadMind Partners AI & Blockchain est l'entité Conseil en IA et Blockchain du Groupe HeadMind Partners. Ses 30 collaborateurs révèlent le potentiel des données des Entreprises Grands Comptes issues de tous secteurs en les accompagnant dans la réalisation de leurs projets IA : de l'idéation à la transformation IA en passant par la phase d'industrialisation. Tous les domaines de l'IA sont couverts : NLP, Computer Vision & Time Series !

Contexte

Dans un monde numérique en constante évolution, les moteurs de recherche jouent un rôle crucial en nous permettant d'explorer, d'analyser et de découvrir des informations pertinentes parmi la masse de données disponibles en ligne. Comprendre en profondeur le fonctionnement de ces moteurs devient donc une compétence essentielle pour ceux qui aspirent à façonner l'avenir de la recherche d'informations.

Au-delà de leur apparente simplicité, ces systèmes sont en réalité complexes et font appel à des modèles d'intelligence artificielle sophistiqués, ainsi qu'à des techniques d'analyse sémantique avancées. Vous aurez l'opportunité d'explorer les architectures sous-jacentes qui permettent aux moteurs de recherche d'interpréter les requêtes des utilisateurs et de fournir des résultats pertinents en temps réel.

Vous travaillerez sur des projets impliquant des technologies émergentes, des jeux de données réels et des scénarios réalistes. Vous aurez ainsi l'opportunité de développer vos compétences en programmation, en traitement du langage naturel et en conception de modèles d'intelligence artificielle.

Déroulement, organisation du cours

Le travail se fera, en mode compétition ou challenge. Les étudiants seront répartis par groupe de 4 à 6 personnes et travailleront en groupe à proposer d'une part le meilleur modèle de prédiction et d'autre part une vue produit du modèle proposé. Le modèle proposé sera évalué sur un jeu de test qui sera fourni à la fin de la semaine aux différents groupes.

Organisation de l'évaluation

L'évaluation de l'EI comprend :

- Un contrôle de présence et de l'implication des différents étudiants dans le travail du groupe
- Une soutenance de présentation de la solution finale devant un jury composé d'ingénieurs et de product-manager chez le partenaire pendant laquelle la solution livrée sera jugée
- La remise d'un code Python propre, exécutable et commenté.

Support de cours, bibliographie

+ **Data Science : fondamentaux et études de cas - Machine Learning avec Python** et R. E. Biernat, M. Lutz - Eyrolles

+ Introduction to Information Retrieval, by C. Manning, P. Raghavan, and H. Schütze (Cambridge University Press, 2008).

+ Massih-Reza Amini, Gaussier Eric. Recherche d'Information - applications, modèles et algorithmes. Eyrolles. Eyrolles, pp.1-233, 2013, Algorithmes, Muriel Shan Sei Fan, 978-2-212-13532-9

+ Python Data Science Handbook : <https://jakevdp.github.io/PythonDataScienceHandbook/>

Moyens

- Equipe enseignante : Céline Hudelot et Pierre Colombo et plusieurs intervenants du partenaire industriel
- Outils logiciels :
 - Python et ses bibliothèques de sciences des données : numpy, pandas, scikit-learn, nltk, spacy,
 - IDE laissée aux choix des étudiants.
 - Git et outil de partage de code (Visual Studio Code et option live share , google colab, Kaggle)
 - Messagerie de groupe : slack et Mteams

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Appliquer et utiliser un ensemble de connaissances et méthodes de recherche et de traitement de l'information pour répondre à un problème réel.
- Prendre du recul sur un travail d'analyse de données et de traitement de l'information.
- Travailler en équipe de façon autonome et interdépendante vers un objectif commun à l'équipe.
- Défendre et convaincre un jury de professionnels.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Appliquer et utiliser un ensemble de connaissances et méthodes de traitement de l'information pour répondre à un problème réel s'inscrit dans **C1.1 " Etudier un problème dans sa globalité", C1.5 " Mobiliser un large socle scientifique et technique dans le cadre d'une approche transdisciplinaire", C6.4 "Résoudre des problèmes dans une démarche de pensée computationnelle" et C6.5 " Exploiter tout type de données".**
- Prendre du recul sur un travail de traitement de l'information s'inscrit dans **C4.1 "Penser Client", C6.6 "Comprendre l'économie numérique" et C9.4 "Faire preuve de rigueur et d'esprit critique".**
- Travailler en équipe de façon autonome et interdépendante vers un objectif commun à l'équipe s'inscrit dans **C8 "Mener un projet, une équipe".**
- Défendre et convaincre un jury de professionnels s'inscrit dans **C7 "Savoir convaincre".**
-

1SC4893 – E-Commerce

Responsables : **Wassila Ouerdane**

Département de rattachement : **DOMINANTE - INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

L'enseignement d'intégration 'E-commerce' a pour objectif la mise en pratique d'une des facettes de la recherche d'information, à savoir "la personnalisation" pour répondre au problème de "surcharge d'information". L'idée est de mettre en œuvre une plateforme qui a pour but de fournir une information pertinente à un utilisateur sur la base de son profil et ses préférences. Plus spécifiquement, nous aborderons plusieurs sujets techniques :

- Une partie développement web en Serveless AWS en JS & Vue au cours de laquelle nous implémenterons une authentification, une barre de recherche et une API REST
- Une partie Machine Learning pour établir la recommandation. Cette partie s'appuie sur les notions et concepts vus en cours de recommandation dans le cours Data@Web : web Data Intelligence : Création de valeurs autour des données du Web.

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

ST4

Prérequis

Avoir suivi le cours de Data@Web : web Data Intelligence : Création de valeurs autour des données du Web et le cours de Machine Learning.

Déroulement, organisation du cours

Le travail se fera par groupe de 2/3 personnes pour proposer d'une part la meilleure interface et d'autre part une mise en œuvre (une démonstration) de la plateforme pour de la recommandation, sur la base de données choisies par le groupe.

Organisation de l'évaluation

- L'évaluation de l'EI comprend :
- Un contrôle de présence et de l'implication des différents étudiants dans le travail de groupe.
- Une soutenance de présentation de la solution finale devant un jury composé des intervenants du partenaire industriel.

Moyens

Equipe Enseignante : Wassila Ouerdane et plusieurs intervenants du partenaire industrie

- Différents outils et logiciels
 - Pour développement web : Serveless AWS en JS & Vue, API REST
 - Git et outils de partage de code
 - Messagerie de groupe : Slack.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

- A la fin de cet EI, l'élève sera capable de :
- Appliquer et utiliser un ensemble de connaissances et méthodes d'implémentation de plateformes web et de traitement de l'information.
- Prendre du recul sur un travail de traitement de l'information en générale et de la recommandation en particulier.

- Travailler en équipe de façon autonome et interdépendante vers un objectif commun.
- Savoir défendre sa proposition de manière rigoureuse et justifiée devant un jury de professionnels.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- C1.1 : Étudier un problème dans sa globalité, la situation dans son ensemble.
- 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.
- C3.1: Être proactif, prendre des initiatives, s'impliquer
- C3.6: Évaluer l'efficacité, la faisabilité et la robustesse des solutions proposées.
- C8.1: Travailler en équipe/en collaboration

COURS en SEMAINE INTERCALAIRE 1A

1IN1000 – Start-Up Week

Responsables : **Jean-François Gallouin**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

L'objectif de la Startup Week est :

- de permettre aux élèves de découvrir de manière concrète ce qu'est une « posture entrepreneuriale ». Il faut comprendre ici l'entrepreneuriat dans sa définition la plus large : création d'entreprise, intrapreneuriat, lancement d'activité nouvelle, entrepreneuriat de soi-même.
- de transmettre aux élèves de premières compétences entrepreneuriales : business model, finance, analyse de marché, etc.

Les élèves, répartis en équipes avant le démarrage de la SUW, ont 4 jours pour commencer à valider (ou invalider) une idée de produit/activité/business de leur choix, et convaincre de la qualité de démarche entrepreneuriale. Il s'agit pour eux dans le cadre de la startup-Week d'apprendre à :

- Formuler une proposition de valeur
- Définir un Business Plan
- S'approprier de premières connaissances : business model, finance, analyse de marché, technique de pitch, travail en équipe, prototypage, etc.
- Progresser sur le travail en équipe

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

Semaine intercalaire en fin de ST2

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Jour 1 :

13H30-14H30 (en plénière) : Présentation de la SUW en plénière

14h30-15H : Présentation du Business Model Canvas

15H30 – 17H00 (en ateliers de 40, par équipe de 6) : Idéation, Problématisation

Jour 2 :

9H-12H30 (en ateliers) : Echanges avec les coachs et Ajustements sur la base des travaux préparés la veille par les étudiants

14H00-15h00 (en plénière) : Eléments financiers

A partir de 15h00 : Les étudiants font évoluer leurs réalisations sur les dimensions (Offre, Marché, Business Model) et le support d'échanges avec les animateurs pour le lendemain

Jour 3 :

9H- 12H30 (en ateliers) : Echanges avec les coachs et Ajustements sur la base des travaux préparés la veille par les étudiants

14h00 – 15h00 (en plénière) ; Techniques de pitch

A partir de 15h00 : Les étudiants continuent à améliorer leurs réalisations, préparent un pitch deck et s'entraînent à la communication orale pour le lendemain

Jour 4 :

9H00 à 12H00 (en ateliers) : Echanges avec les coachs et Ajustements sur la base des travaux préparés la veille par les étudiants

Jour 5 :

9h00-11H00 (en ateliers) : Présentations par l'ensemble des équipes des Pitch Deck finalisés

11H00-12H00 (en ateliers) : Feedback individualisé des coachs à chacune des équipes sur la qualité des réalisations au cours de la semaine (Offre, Marché, Business Model, Pitch Deck) – Et évaluation des équipes par les coachs

14H00-15H30 : Jury de Présélection pour la Finale

16H-17H30 (en plénière) : Présentation sous format de Pitch Deck par les équipes présélectionnées – Finale

Organisation de l'évaluation

Les étudiants seront évalués sur : Leur implication tout au long des 4 jours

La qualité des réalisations obtenues à la fin de la semaine

La qualité de présentation du Pitch Deck en groupes en fin de semaine

Moyens

· Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Jean-François Gallouïn, Maxime Guymard

· Taille des groupes en ateliers : 40 étudiants, en équipes de +/-6 élèves, encadrés par 2 experts de la création d'entreprise
· Salles (département et capacité d'accueil) : 22 salles de 40 pour les ateliers et l'amphi Michelin pour les plénières

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Formuler une proposition de valeur
- Analyser un marché • Formaliser un Business Model Canvas
- Synthétiser et pitcher un projet

Description des compétences acquises à l'issue du cours

C3.1 Être proactif, prendre des initiatives, s'impliquer

C3.2 Remettre en cause ses hypothèses de départ, ses certitudes. Surmonter ses échecs. Prendre des décisions

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 apportée par une solution pour un client, le marché. Savoir discerner les opportunités, les bonnes occasions d'affaire et les saisir.

C7.4 Convaincre en travaillant les techniques de communication Maitriser le langage parlé, écrit et corporel.

Maitriser les techniques de base de communication

C8.1 Travailler en équipe/en collaboration.

1IN2000 – Management de projet - Les Fondamentaux

Responsables : **Ludovic-Alexandre VIDAL**

Département de rattachement : **SCIENCES ENTREPRISE, DÉPARTEMENT GÉNIE INDUSTRIEL ET OPÉRATIONS**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS, ANGLAIS**

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

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

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **6,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

Maîtriser les concepts et outils fondamentaux du management de projets.
Apprentissage à distance par Edunao.

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

SG1

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

- Connaître le processus général de management de projet, les différentes phases/types de projets, et le vocabulaire
- Savoir déterminer les parties prenantes, objectifs, livrables et la création de valeur d'un projet.
- Savoir organiser un projet en une arborescence organisée de tâches et processus (WBS).
- Savoir planifier le projet en temps et maîtriser les outils en temps (marges libres et totales, chemin critique, modèles PERT et Gantt, etc...).
- Savoir planifier les ressources et coûts d'un projet (diagramme de charge, budget d'un projet,...).
- Savoir identifier, analyser et maîtriser le fondamentaux de management des risques projets).

Déroulement, organisation du cours

Cours magistral et exemples pratiques. Exercice Edunao.

Organisation de l'évaluation

Validation de type Pass/Fail.

Support de cours, bibliographie

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. (2004). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). Newtown Square, Pa, Project Management Institute.

FRANCK MARLE, LUDOVIC-ALEXANDRE VIDAL (2016). Managing Complex, High Risk Projects. A Guide to Basic and Advanced Project Management. Springer.

Moyens

- Equipe enseignante : Ludovic-Alexandre VIDAL, peut-être des intervenants industriels.
- Outils logiciels : Microsoft Project.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Connaître le processus général de management de projet, les différentes phases/types de projets, et le vocabulaire
- Savoir déterminer les parties prenantes, objectifs, livrables et la création de valeur d'un projet.

- Savoir organiser un projet en une arborescence organisée de tâches et processus (WBS).
- Savoir planifier le projet en temps et maîtriser les outils en temps (marges libres et totales, chemin critique, modèles PERT et Gantt, etc...).
- Savoir planifier les ressources et coûts d'un projet (diagramme de charge, budget d'un projet,...).
- Savoir identifier, analyser et maîtriser le fondamentaux de management des risques projets).

1IN3000 – Coding Weeks

Responsables : **Paolo Ballarini, Marc-Antoine Weisser**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT INFORMATIQUE**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS, FRANCAIS**

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **80**

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Cette activité a pour objectif, au travers de la réalisation de projets de développement informatique, de permettre aux étudiants de consolider leurs connaissances en programmation et développement d'applications informatiques d'une part, et d'autre part de s'initier aux pratiques et aux méthodologies du développement informatique à plusieurs et en mode projet. Il s'agira aussi au travers de cette activité de s'initier et d'acquérir, par la pratique essentiellement les fondamentaux de la culture et de la qualité du code informatique (« software craftsmanship »).

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

Semaine intercalaire à l'issue de la SG1

Prérequis

Systèmes d'Information et programmation (SIP)

Plan détaillé du cours (contenu)

Cette activité est organisée en deux semaines consécutives de développement informatique en mode « bootcamp ».

Lors d'une première partie (3 jours), les étudiants travailleront par groupes de 4 à 5 et en binômes au développement d'un projet type organisé en différentes itérations progressives (sprints). Les binômes pourront éventuellement être renouvelés chaque jour (i.e. « pair programming, » une des méthodes de développement informatique considérée comme une bonne pratique de l'« extreme programming »). De courts apports méthodologiques et techniques seront aussi apportés sous forme de conférences et/ou mini-tutoriels (gestionnaires de versions, Test Driven Development et qualité du code, agilité) et mis en œuvre lors du développement de ce projet type. Cette première partie donnera lieu à une évaluation prenant en compte un contrôle des connaissances des concepts introduits lors de cette première partie, un contrôle de présence et une note de participation.

Lors de la deuxième partie (5 jours), les étudiants travailleront par groupe de 4 à 5 sur un projet thématique avec comme objectif de passer de l'idée au produit. Il s'agira de mettre en œuvre les méthodologies et pratiques de développement informatiques acquises précédemment. Ce projet permettra aussi l'apprentissage du travail en groupe. Ce projet donnera lieu à une évaluation par groupe par un jury lors d'une soutenance.

Déroulement, organisation du cours

Cette activité s'organise en deux semaines consécutives.

=====

Semaine 1 – Jour 1 : 1h30 amphi (présentation + apport de compétences) + travail en EL/TP en groupe

Semaine 1 – Jour 2 : travail en EL/TP en groupe

Semaine 1 – Jour 3 : travail en EL/TP en groupe

Semaine 1 – Jour 4 : travail sur le projet

=====

Semaine 2 – Jour 1 : travail sur le projet

Semaine 2 – Jour 2 : travail sur le projet

Semaine 2 – Jour 3 : travail sur le projet

Semaine 2 – Jour 4 : travail sur le projet - Soutenances finales la dernière demi-journée.

Organisation de l'évaluation

- Les trois premiers acquis d'apprentissage seront évalués à la fois par le travail sur le projet type de la première partie et par le travail sur le projet plus libre de la partie 2 (soutenance - livraison et documentation du projet sur Gitlab ou github). Le quatrième acquis d'apprentissage sera plus spécifiquement évalué lors du projet de semaine 2.

Support de cours, bibliographie

Langages de programmation

- Python
 - Think Python 2nd Edition - Allen B. Downey - GreenTeaPress.
 - Python Cookbook, 3rd Edition - Recipes for Mastering Python- B. Jones - D.Beazley - O'Reilly
 - Test-Driven Development With Python: Obey the Testing Goat- Harry J.W. Percival- O'Reilly
 - Autres : RealPython : <https://realpython.com/>
- Java
 - Core Java Volume I—Fundamentals, Eleventh Edition - Cay S. Horstmann. Prentice Hall

Culture code

- Clean Code - A Handbook of Agile Software Craftmanship- Robert C. Martin
- Apprenticeship Patterns: Guidance for the Aspiring Software Craftsman- Dave Hoover et Adewale Oshineye - O'Reilly
- OCTO - Culture Code - <https://www.octo.com/publications/culture-code/>

Moyens

- Equipe Enseignante : Paolo Ballarini (responsable), Marc-Antoine Weisser (responsable) Lina Yé, Gianluca Quercini, Wassila Ouerdane, Myriam Tami et une équipe de vacataires.
- Taille des groupes : de 25 à 50 élèves.
- Langues de programmation : majoritairement python et ses nombreux modules et selon les groupes : java, unity ...
- Outils logiciels : VisualStudioCode, git et selon les groupes Android Studio, Unity, ...

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

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

- Connaître et appliquer les bonnes pratiques de programmation et méthodes du développement informatique à l'échelle d'un projet simple : structurer un ensemble de programmes de manière claire et sensée, utiliser des bibliothèques ou des modules existants, construire un projet de façon modulaire, tester et permettre la lisibilité, la compréhension et l'utilisation du code source du projet (qualité logicielle).
- Savoir construire un projet informatique dans une démarche itérative (de l'idée au produit) et collaborative.
- Connaître et savoir utiliser les principaux outils du développement informatique.
- Travailler en équipe/en collaboration.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

- Ce cours permettra d'acquérir un premier jalon de la compétence **C6 : Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique**
- Connaître et appliquer les bonnes pratiques de programmation et méthodes du développement informatique à l'échelle d'un projet simple s'inscrit dans **C6.2 : "Concevoir un logiciel"** et **C6.3 : "Traiter des données"**
- Savoir construire un projet informatique dans une démarche itérative (de l'idée au produit) s'inscrit dans **C6.1 : "Résoudre numériquement un problème"**
- Connaître et savoir utiliser les principaux outils du développement informatique s'inscrit dans **C6.2 : "Concevoir un logiciel"**
- Travailler en équipe/en collaboration s'inscrit dans **C8 : "Mener un projet, une équipe"**.
- Les compétences **C1.1, C3 et C7** seront aussi mobilisées.

COURS de LANGUES et CULTURE

LC0100 – Anglais

Responsables : **Mark Pitt**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT LANGUES ET CULTURES**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

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) : **21,00**

Présentation, objectifs généraux du cours

En 1ère et 2ème année, 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.

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.
- C5: Consolider et développer les outils d'une compréhension interculturelle qui permettront aux élèves d'amorcer l'ouverture culturelle et d'aborder l'International.
- C7: Travailler la compétence savoir convaincre
- 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 (voire au-delà de) le niveau C1 requis pour le diplôme CentraleSupélec.
- L'élève aura travaillé et amélioré la compétence interculturelle (C5)
- L'élève aura travaillé et amélioré la compétence savoir convaincre (C7)

LC0200 – Français Langue Etrangère

Responsables : **Geraldine Offerdinger**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT LANGUES ET CULTURES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

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

Prérequis

Aucun.

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 : **Daniela Moncys Moncevicus**

Département de rattachement : **LANGUES ET CULTURES, DÉPARTEMENT LANGUES ET CULTURES**

Langues d'enseignement : **ALLEMAND**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Des cours d'allemand général allant du niveau A0 au niveau C1, avec une spécialisation (cours thématiques) possible à partir du niveau B1+.

Possibilité d'un E-Tandem avec la RWTH d'Aix-La-Chapelle pour des élèves de niveaux avancés.

Possibilité d'un cours d'allemand par le jeu théâtral avec représentation à la fin du semestre.

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

S5 de septembre à janvier S6 de février à juin

Prérequis

Des cours de niveau débutant (A0) ne sont possibles qu'au premier semestre de la première année.

Si l'on débute l'allemand à CS, le niveau à atteindre à la fin de la première année est le niveau A1, à la fin de la deuxième année le niveau A1+. Le niveau de sortie exigé à la fin de la troisième année est le niveau A2-.

Si l'on a étudié l'allemand précédemment, le niveau minimum requis à l'issue de la première année est le niveau A2+ et à l'issue de la deuxième année le niveau B1-. Le niveau de sortie minimum exigé à la fin de la troisième année est le niveau B1.

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 au moyen de séquences thématiques : économie, sciences, histoire, actualité, culture, arts et autres - en fonction aussi de la motivation des apprenants - 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.

APPRENDRE L'ALLEMAND PAR LE JEU THEATRAL :

Dans le but de favoriser le plaisir d'utiliser une langue, nous proposons un cours de LV2 allemand à travers le jeu théâtral et la réalisation d'un spectacle. C'est un cours ludique et vivant, accessible à partir d'un niveau B1+, qui met l'accent sur l'interaction et favorise la compréhension et l'expression orale, doublée de l'expression scénique. Il prend en compte tous les aspects de la communication, verbale et non verbale, et fait appel aussi à tous les sens pour progresser encore davantage et développer ses capacités communicatives. Ce cours a lieu dans une atmosphère détendue et un climat de confiance. Aucun prérequis pour le jeu théâtral n'est nécessaire.

Déroulement, organisation du cours

Chaque élève rentrant à CS, après un test de positionnement, est placé dans un cours correspondant à son niveau, selon le cadre européen commun de référence. Ce niveau est mis à jour régulièrement.

Pendant toute sa scolarité, il suivra - en progressant en niveau - des cours hebdomadaires d'1h30 entre lesquels il fournira un travail individuel ou de groupe d'1h environ.

Les principes de la classe inversée peuvent être appliquées, laissant pendant la séance de cours pleinement place à l'interaction, à l'échange et à la mise en situation.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu et implication en cours au moins 80%, pouvant aller jusqu'à 100% ; possibilité d'un examen de fin de semestre (examen écrit/test auditif/oral) qui compte au maximum pour 20% de la note

En 3A, le niveau de sortie requis est évalué à travers le contrôle continu.

Les compétences C5 et C7 sont évaluées par Pass ou Fail.

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.

Moyens

Des cours diversifiés, variés, communicatifs et interactifs adaptés aux intérêts et besoins des apprenants et tournés vers les grands thèmes et tendances de nos sociétés, la culture et l'actualité économique, politique et sociale dans les pays germanophones ainsi que l'interculturalité

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 universitaire, 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, la responsabilité, le travail en équipe et en mode projet ainsi que l'esprit critique dans le processus d'apprentissage. Proposer, tout au long des 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. Consolider les compétences de l'ingénieur C5 et C7 (compétences interculturelles, argumenter et convaincre)

LC0400 – Espagnol

Responsables : **Angel-Eduardo Toledo**

Département de rattachement : **LANGUES ET CULTURES, DÉPARTEMENT LANGUES ET CULTURES**

Langues d'enseignement : **ESPAGNOL**

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

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

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

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

S5 de septembre à janvier S6 de février à juin

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

ESPAGNOL GÉNÉRAL

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 THÉMATIQUES (à 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-américaines. -Cinéma.

COURS SPÉCIALISÉS

Économie sociale : gouvernance, développement et utilité sociale

L'économie sociale cherche à comprendre le comportement individuel et collectif des personnes et des institutions du point de vue des sciences sociales. Elle cherche à interpréter les données empiriques pour comprendre les comportements et les préférences sous-jacents. C'est également à partir de l'analyse des problèmes sociétaux que l'économie sociale cherche à apporter les réponses les plus appropriées pour l'élaboration des politiques publiques (étatiques ou privées).

Tout au long du cours, les étudiants sont amenés à comprendre des outils analytiques et conceptuels tels que : le développement social, le développement humain, la justice, l'équité, la répartition des richesses, l'action collective, les indicateurs de bien-être, la gestion et l'évaluation, entre autres.

Modèle des Nations Unies

Grâce à un mécanisme de simulation, le MUN reproduit le fonctionnement de l'ONU. En classe, les étudiants simulent une conférence internationale et assument le rôle des diplomates représentant leur pays dans les débats sur les principales questions mondiales abordées dans les différentes commissions et institutions spécialisées qui constituent ce que l'on appelle le système des Nations Unies. Cet exercice contribue de manière importante à la formation intégrale des participants en les aidant à développer des compétences telles que l'art oratoire, la capacité d'analyse, la rédaction correcte de textes formels tels que les résolutions, l'art de négocier avec des alliés et des adversaires, la conception de stratégies et la recherche de la coopération et du consensus pour relever de grands défis.

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 pour les langues).

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, etc.). Acquérir les compétences interculturelles permettant une meilleure communication avec les interlocuteurs des pays hispanophones.

LC0500 – Italien

Responsables : **Angel-Eduardo Toledo**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT LANGUES ET CULTURES, LANGUES ET CULTURES**

Langues d'enseignement : **ITALIEN**

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

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

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

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours de langue général par niveaux (de débutant à avancé) axés 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 80-100%.

Examen écrit/test auditif/oral à la fin de chaque semestre 0-20%.

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 : Être 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 CECRL, avec une aisance et justesse accrues.

LC0600 – Portugais

Responsables : **Angel-Eduardo Toledo**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT LANGUES ET CULTURES, LANGUES ET CULTURES**

Langues d'enseignement : **PORTUGAIS**

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) : **21,00**

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

S7 et S8

Prérequis

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours de langue général par niveaux (de débutant à avancé) axés 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 : Être 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 : **Geraldine Offerdinger**

Département de rattachement : **LANGUES ET CULTURES, DÉPARTEMENT LANGUES ET CULTURES**

Langues d'enseignement : **CHINOIS**

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

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

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

Prérequis

Aucun

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'issu 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 : Être 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 : **Geraldine Ofterdinger**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT LANGUES ET CULTURES, LANGUES ET CULTURES**

Langues d'enseignement : **JAPONAIS**

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

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

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

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'issu 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 : Être 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 : **Daniela Moncys Moncevicus**

Département de rattachement : **LANGUES ET CULTURES, DÉPARTEMENT LANGUES ET CULTURES**

Langues d'enseignement : **RUSSE**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Des cours de russe général allant du niveau A0 au niveau C1, avec une spécialisation (séquences thématiques) possible à partir du niveau B1.

Prérequis

Des cours de niveau débutant (A0) ne sont possibles qu'au premier semestre de la première année. Si l'on débute le russe à CS, le niveau à atteindre à la fin de la première année est le niveau A1, à la fin de la deuxième année le niveau A1+. Le niveau de sortie exigé à la fin de la troisième année est le niveau A2-. Si l'on a étudié le russe précédemment, le niveau minimum requis à l'issue de la première année est le niveau A1+ et à l'issue de la deuxième année le niveau A2. Le niveau de sortie minimum exigé à la fin de la troisième année est le niveau A2+.

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

Chaque élève rentrant à CS, après un test de positionnement, est placé dans un cours correspondant à son niveau, selon le cadre européen commun de référence. Ce niveau est mis à jour régulièrement. Pendant toute sa scolarité, il suivra - en progressant en niveau - des cours hebdomadaires d'1h30 entre lesquels il fournira un travail individuel ou de groupe d'1h environ. Les principes de la classe inversée peuvent être appliqués, laissant pendant la séance de cours pleinement place à l'interaction, à l'échange et à la mise en situation.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu et implication en cours au moins 80%, pouvant aller jusqu'à 100% ; possibilité d'un examen de fin de semestre (examen écrit/test auditif/oral) qui compte au maximum pour 20% de la note. En 3A, le niveau de sortie requis est évalué à travers le contrôle continu. Les compétences C5 et C7 sont évaluées par Pass ou Fail.

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.

Moyens

Des cours diversifiés, variés, communicatifs et interactifs adaptés aux intérêts et besoins des apprenants et tournés vers les grands thèmes et tendances de nos sociétés, la culture et l'actualité économique, politique et sociale ainsi que l'interculturalité

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 universitaire, 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

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de communiquer selon les compétences du CECR, avec une aisance et justesse accrues

Acquérir et consolider les compétences de l'ingénieur C5 et C7 (compétences interculturelles, argumenter et convaincre)

LC1000 – Arabe

Responsables : **Geraldine Ofterdinger**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT LANGUES ET CULTURES, LANGUES ET CULTURES**

Langues d'enseignement : **ARABE**

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

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

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

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'issu 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 Être 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 : **Daniela Moncys Moncevicus**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT LANGUES ET CULTURES, LANGUES ET CULTURES**

Langues d'enseignement : **HEBREU**

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

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

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Des cours d'hébreu général allant du niveau A0 au niveau C1, avec une spécialisation (séquences thématiques) possible à partir du niveau B1.

Prérequis

Des cours de niveau débutant (A0) ne sont possibles qu'au premier semestre de la première année.

Si l'on débute l'hébreu à CS, le niveau à atteindre à la fin de la première année est le niveau A1, à la fin de la deuxième année le niveau A1+. Le niveau de sortie exigé à la fin de la troisième année est le niveau A2-.

Si l'on a étudié l'hébreu précédemment, le niveau minimum requis à l'issue de la première année est le niveau A1+ et à l'issue de la deuxième année le niveau A2. Le niveau de sortie minimum exigé à la fin de la troisième année est le niveau A2+.

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

Chaque élève rentrant à CS, après un test de positionnement, est placé dans un cours correspondant à son niveau, selon le cadre européen commun de référence. Ce niveau est mis à jour régulièrement.

Pendant toute sa scolarité, il suivra - en progressant en niveau - des cours hebdomadaires d'1h30 entre lesquels il fournira un travail individuel ou de groupe d'1h environ.

Les principes de la classe inversée peuvent être appliquées, laissant pendant la séance de cours pleinement place à l'interaction, à l'échange et à la mise en situation.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu et implication en cours au moins 80%, pouvant aller jusqu'à 100% ; possibilité d'un examen de fin de semestre (examen écrit/test auditif/oral) qui compte au maximum pour 20% de la note

En 3A, le niveau de sortie requis est évalué à travers le contrôle continu.

Les compétences C5 et C7 sont évaluées par Pass ou Fail.

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.

Moyens

Des cours diversifiés, variés, communicatifs et interactifs adaptés aux intérêts et besoins des apprenants et tournés vers les grands thèmes et tendances de nos sociétés, la culture et l'actualité économique, politique et sociale ainsi que l'interculturalité

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 universitaire, 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

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de communiquer selon les compétences du CECR, avec une aisance et justesse accrues

Acquérir et consolider les compétences de l'ingénieur C5 et C7 (compétences interculturelles, argumenter et convaincre)

LC1500 – Suédois

Responsables : **Daniela Moncys Moncevicus**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT LANGUES ET CULTURES**

Langues d'enseignement :

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **28**

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

Présentation, objectifs généraux du cours

Des cours de suédois général niveau débutant pour

- Les primo-arrivants
- Les élèves du S7 souhaitant changer de LV2 en vue d'un S8 en Suède (engagement d'atteindre le niveau A2- à la fin de leur scolarité)

Plan détaillé du cours (contenu)

Cours de langue général de niveaux débutant axé sur le développement des compétences linguistiques (compréhension écrite et orale ; expression écrite et orale) afin d'acquérir les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement universitaire, personnel ou professionnel. Les cours visent également à consolider la compréhension culturelle et interculturelle.

Organisation de l'évaluation

Contrôle continu et implication en cours au moins 80%, pouvant aller jusqu'à 100% ; possibilité d'un examen de fin de semestre (examen écrit/test auditif/oral) qui compte au maximum pour 20% de la note

En 3A, le niveau de sortie requis est évalué à travers le contrôle continu.

Les compétences C5 et C7 sont évaluées par Pass ou Fail.

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.

Moyens

Des cours diversifiés, variés, communicatifs et interactifs adaptés aux intérêts et besoins des apprenants

Acquis d'apprentissage visés dans le cours

Acquérir les compétences linguistiques (compréhension écrite et orale, expression écrite et orale) qui fourniront les outils nécessaires pour communiquer dans un environnement universitaire, 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

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de communiquer selon les compétences du CECR.

Acquérir et consolider les compétences de l'ingénieur C5 et C7 (compétences interculturelles, argumenter et convaincre)