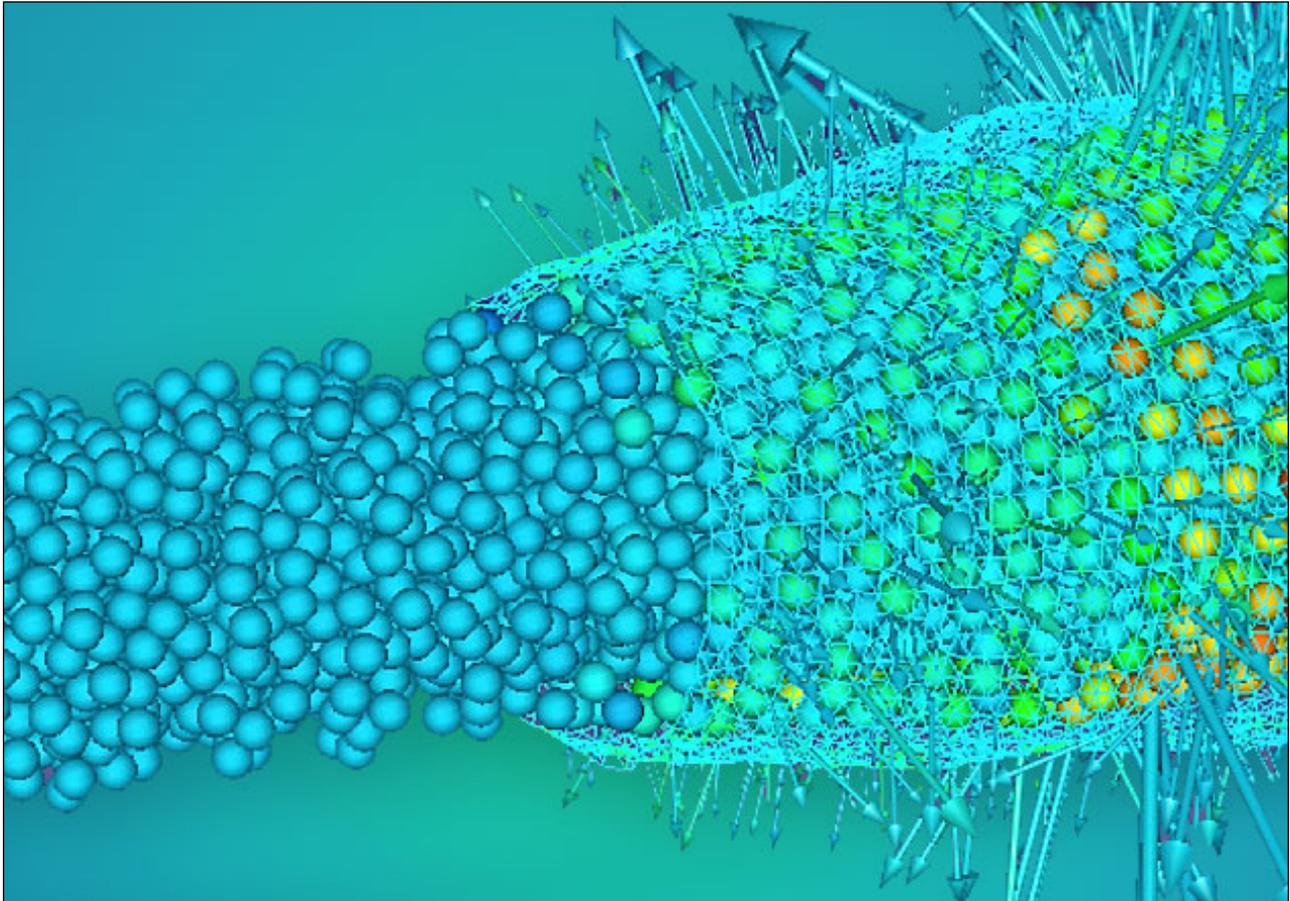

Programme M2 IM

Option Ingénierie Numérique

Année 2020-2021



Cette option offre des compétences poussées en analyse numérique, en mathématiques appliquées et en informatique. L'UE Métiers a pour d'introduire des problématiques applicatives utilisant le socle de connaissances acquises au cours de la formation. Les thèmes abordés sont la modélisation en sciences du vivant, des matériaux, des satellites ou des systèmes de contrôle. Enfin une unité de projet de fin d'étude permet à l'étudiant de se confronter à l'étude de modélisation mathématique ou numérique d'un nouveau sujet. Ces projets sont systématiquement encadrés par un ou plusieurs chercheurs ou un partenaire industriel.

UE Mathématiques pour la Modélisation

Optimisation : Optimisation paramétrique en dimension finie (méthode du gradient, algorithmes évolutionnaires); prise en compte des contraintes. calcul des variations, contrôle optimal, optimisation de forme. La formation inclut des travaux pratiques encadrés au cours desquels sont traités des problèmes simplifiés d'optimisation en aérodynamique et en calcul des structures.

Commande optimale : Contrôle optimal de systèmes régis par des équations aux dérivées partielles (systèmes à paramètres distribués): systèmes elliptiques (Laplace) et paraboliques (équation de la chaleur). Contrôle distribué, contrôle frontière. Problèmes inverses: résolution par contrôle optimal avec régularisation. Exemples d'applications.

Fondements du deep learning : Ce cours présentera les fondements théoriques de l'apprentissage profond (« Deep Learning ») et mettra en oeuvre des Réseaux de Neurones Profonds (RNP) avec Python. Il s'agira notamment de :

- comprendre les limites des algorithmes d'optimisation pour l'entraînement des RNP;
- cerner les capacités d'approximation mathématiques des RNP;
- découvrir les avantages des RNP pour modéliser une sous-variété d'un espace euclidien;
- savoir utiliser les outils informatiques appropriés pour manipuler les RNP.

Réduction de modèles et digital twin: La simulation numérique joue un rôle important dans l'industrie. Elle permet par exemple d'aider à la conception ou l'exploitation de systèmes industriels complexes. Souvent basés sur des équations différentielles, ces modèles peuvent être parfois coûteux en temps de calcul. Par conséquent, l'industrie a de plus en plus recours aux méthodes de réduction de modèles. Ces méthodes consistent à construire un modèle simplifié à partir de modèles complexes. Le modèle réduit obtenu, bien que moins précis, devra garder une bonne représentativité du modèle initial. Différentes méthodes de réductions de modèles seront présentées dans ce cours. Un deuxième enjeu de l'industrie est de construire des jumeaux numériques (digital twin) capables de reproduire le fonctionnement complet d'un objet, d'un processus (ex chaîne de production d'énergie). De tels outils ont recours à la fois à la simulation numérique, à de l'analyse de données et de l'apprentissage automatique. Quelques exemples de digital twin seront également présentés dans ce cours.

UE Mathématiques Appliquées

Electromagnétisme numérique : Après un rappel de la modélisation mathématique de la propagation d'ondes électromagnétiques, le cours discute du traitement numérique du système des équations de Maxwell par différentes approches: méthodes de différences finies, méthodes d'éléments finis et méthodes de Galerkin discontinues. On considère aussi bien des problèmes purement stationnaires que des problèmes de propagation en

régime harmonique. L'accent est mis sur des développements récents méthodes autour des méthodes de Galerkin discontinues qui peuvent être vues comme des méthodes volumes finis d'ordre élevé.

Eléments finis mixtes et volumes finis : Ce cours se divise en deux parties : 1) Formulation mixte du problème de Stokes, Compatibilité vitesse-pression, Convergence, Application à l'élasticité linéaire; 2) Introduction des conditions aux limites, Mise en oeuvre pratique dans le cas de l'écoulement d'un liquide dans une chambre de refroidissement d'un générateur de gaz, Loi de pression pour le changement de phase, Application à l'écoulement d'un liquide avec changement de phase.

Mise en oeuvre des éléments finis : L'objectif de ce cours est de se familiariser avec différentes bibliothèques de calcul scientifique pour la mise en oeuvre de méthodes d'éléments finis.

UE Numérique et Informatique

Calcul parallèle : Rappels Unix ; Optimisation des algorithmes en Fortran 90 ; Introduction à la programmation parallèles ; Programmation par échange de messages (MPI). Domaines de dépendance des algorithmes numériques. Partitionnements de domaine et structures de communication

Logiciels industriels : Introduction au logiciel Abaqus et au logiciel SAS.

UE Métiers 1&2

Systemes satellitaires : Problématique de la dynamique du vol en attitude et position des satellites artificiels, technique de contrôle boucle ouverte/boucle fermée associé. Analyse de mission / control d'orbite : principe de mise à poste, optimisation de manoeuvre en dynamique Képlérienne avec analyse des perturbations orbitales et impacts sur le contrôle d'orbite. Contrôle d'attitude : Modélisation de la dynamique d'attitude d'un satellite, description des perturbations environnementales, technique de stabilisation active et passive, senseurs et actionneurs, lois de contrôle et performances.

Modélisation et simulation en biologie des systèmes : La biologie des systèmes peut-être définie comme une branche de la biologie qui s'appuie sur une approche interdisciplinaire pour étudier des phénomènes biologiques complexes. En exploitant conjointement des données biologiques de plus en plus nombreuses et précises d'une part et de puissants outils de modélisation utilisés dans des secteurs d'ingénierie plus traditionnels

(apprentissage statistique, modélisations mécanistiques déterministes ou stochastiques, théorie du contrôle) d'autre part, la biologie des systèmes s'est révélée être un outil de choix pour élucider les propriétés émergentes des systèmes sur des échelles aussi diverses que la cellule, les tissus, voire l'organisme, avec de fascinantes et très importantes applications en recherche biomédicale et biologie synthétique. Dans ce cours, nous illustrerons la puissance d'une telle approche de modélisation systémique sur de nombreux exemples : la modélisation des réseaux de réactions métaboliques, des voies de signalisations intracellulaires, des réseaux de régulation génétique seront évoquées, quelques outils d'analyse des modèles seront présentés et des applications thérapeutiques (en cancérologie notamment) seront mentionnées. Aucun prérequis particulier de biologie n'est attendu pour suivre ce cours. De bonnes connaissances en analyse des systèmes dynamiques ainsi qu'en probabilités/statistiques sont souhaitables.

Modélisation géométrique: Ce cours est une introduction à la modélisation géométrique, c'est-à-dire aux outils mathématiques, numériques et informatiques qui permettent la création d'objets 3D numériques dans le but de concevoir, simuler et valider de nouveaux produits et processus industriels. La représentation d'une géométrie 3D au moyen de courbes et surfaces NURBS découpées ("trimmed") sera au centre de ce cours. On y introduira donc les courbes et surfaces paramétrées (courbes et surfaces NURBS, paramétrisations produit-tensoriel et triangulaires) dans leur généralité, ainsi que quelques classes de surfaces particulières très utilisées telles que les surfaces de Coons, les surfaces réglées, les surfaces développables et les surfaces canales. Les problèmes de calcul géométrique sur ces modèles seront également traités, notamment les problèmes d'intersection (problématique de la représentation implicite), de calculs de distances, de calculs de courbes et surfaces parallèles ("offsets" en anglais), de projection orthogonale, de calcul du point le plus proche, ainsi que les problèmes de raccordement, de continuité géométrique, d'étanchéité des modèles et de réparation. Enfin, les représentations d'une géométrie par maillage et par surfaces de subdivision seront abordées, ainsi que les conversions entre ces différentes représentations géométriques.

UE Management

Pour les alternants, ce module sera réalisé sur une semaine au second semestre pendant la période de stage.

UE Projet de Fin d'Etude

Pour les alternants, ce projet de fin d'étude consistera en une présentation à mi-parcours de leurs stage en entreprise (9 ECTS). Pour les non-alternants il consistera en la restitution d'un projet appliqué sous la direction d'un tuteur (6 ECTS).

UE Stage

Cette UE correspond au stage en entreprise qui se déroulera de début mars à fin août pour les non-alternants (30 ECTS) et en un stage d'un an dans l'entreprise pour les alternants (27 ECTS).

FORMATION INITIALE	
UE	ECTS
MATHÉMATIQUES APPLIQUEES	3
MATHEMATIQUES POUR LA MODELISATION	6
NUMERIQUE ET INFORMATIQUE	6
METIERS 1&2	6
PROJET DE FIN D'ETUDE	6
MANAGEMENT	3
STAGE	30

FORMATION EN ALTERNANCE	
UE	ECTS
MATHÉMATIQUES APPLIQUEES	3
MATHEMATIQUES POUR LA MODELISATION	6
NUMERIQUE ET INFORMATIQUE	6
METIERS 1&2	6
PROJET DE FIN D'ETUDE	6
SUIVI D'APPRENTISSAGE	3
MANAGEMENT	3
STAGE	27

