

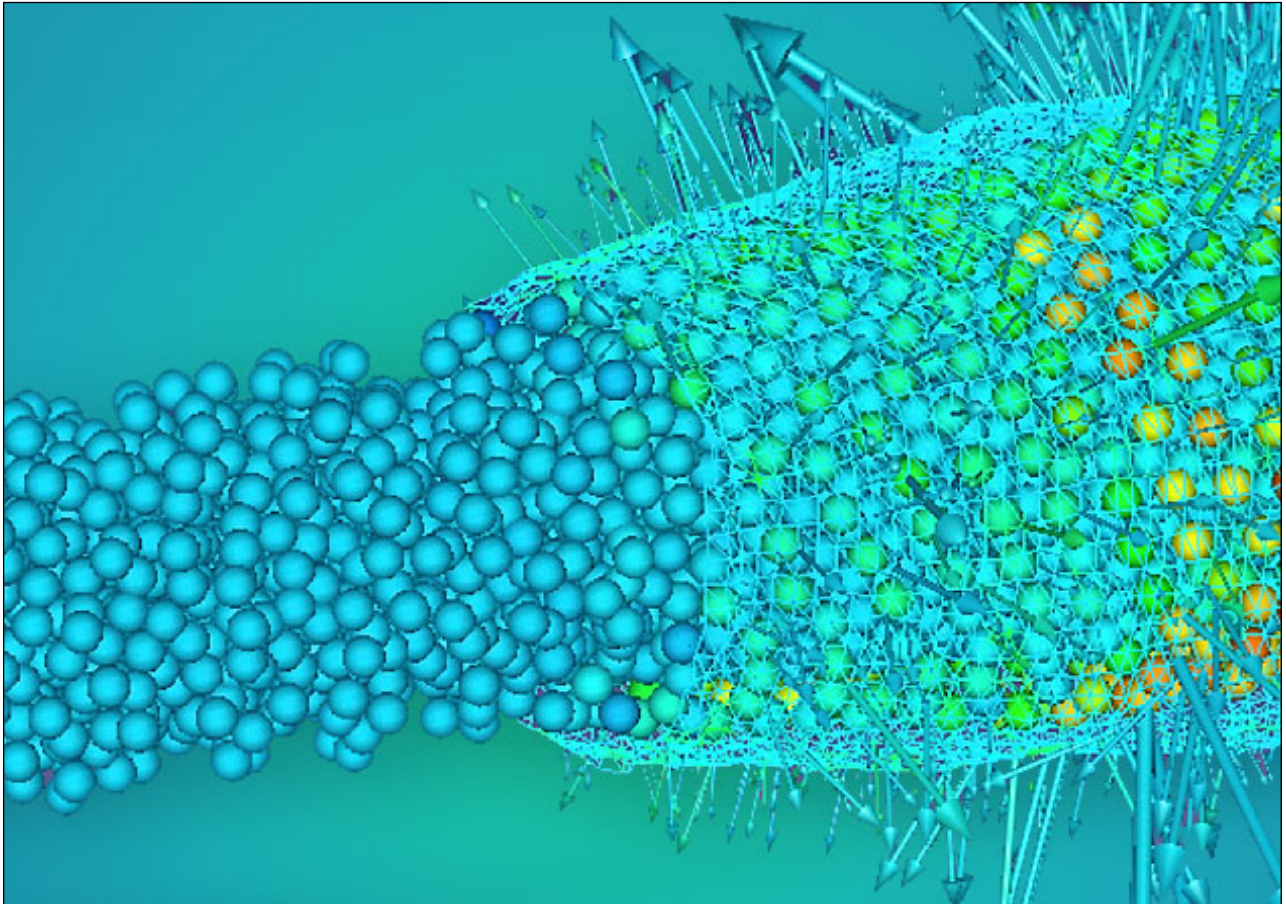
---

# Programme M2 IM

## Option Ingénierie Numérique

Année 2021-2022

---



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 avancée* : 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.

## UE Mathématiques Appliquées

*Éléments finis mixtes* : Formulation mixte du problème de Stokes, Compatibilité vitesse-pression, Convergence, Application à l'élasticité linéaire;

*Méthode des volumes finis* : 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.

*Machine learning en calcul scientifique* : L'apprentissage automatique, en particulier l'apprentissage profond ou Deep Learning (DL), est de plus en plus utilisé pour effectuer, améliorer et accélérer des simulations numériques en calcul scientifique. Ce cours vise à présenter une sélection de sujets de recherche actuels dans le domaine général de DL pour le calcul scientifique avec une application aux systèmes, modélisés par les équations aux dérivées partielles. L'accent sera mis sur la conception et la mise en oeuvre d'algorithmes ainsi que sur la théorie sous-jacente qui garantit la fiabilité des algorithmes.

---

## 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.

*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 Métiers 1&2

**Systèmes 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.

**Réduction de modèle** : 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.

**Digital twin** : Un des enjeux 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). Ce cours a pour objectif d'introduire ces outils numériques qui ont recours à la fois à la simulation numérique, à de l'analyse de données et de l'apprentissage automatique.

## UE Management

Le module doit permettre de développer des compétences en matière de raisonnement juridique et d'analyser des situations pratiques en matière de management. Le programme intègre notamment les aspects suivants : Sociologie des organisations, Droit du travail, Négociation, Stratégie. Les objectifs sont d'approfondir certains concepts économiques et managériaux, et élargir les perspectives professionnelles.

---

Pour les alternants, ce module (3 ECTS) sera réalisé sur une semaine au second semestre pendant la période de stage. Pour les non-alternants, il aura lieu au premier semestre.

## **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 Projet Innovation-Recherche multidisciplinaire & Networking**

Cette UE ne concerne que les alternants (5 ECTS). Elle a lieu pendant deux semaines complètes à l'Université au second semestre. Elle est constituée de projets multidisciplinaires, d'une immersion dans le milieu de la recherche afin d'en découvrir l'intérêt pour un futur ingénieur et vise à fournir, par un travail de retour d'expérience, le développement d'un réseau professionnel.

## **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 (22 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  | 9    |
| PROJET INNOVATION-RECHERCHE<br>MULTIDISCIPLINAIRE & NETWORKING | 5    |
| MANAGEMENT   | 3    |
| STAGE  | 27   |