

**MASTER**  
de sciences et technologies, Mention  
**MATHÉMATIQUES ET**  
**APPLICATIONS**  
Sorbonne Université  
Année 2021-2022

[version du 21 juillet 2021]

---

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Master 2, Parcours Ingénierie mathématique</b>	<b>5</b>
1.1	Objectifs et descriptions . . . . .	5
1.2	Débouchés professionnels . . . . .	5
1.3	Organisation . . . . .	6
1.4	Publics visés, prérequis . . . . .	8
1.5	Description des UE . . . . .	9
1.6	Responsables et sites . . . . .	22



# Chapitre 1

## Master 2, parcours Ingénierie mathématique

### 1.1 Objectifs et descriptions

Le but de ce parcours qualifié de *professionnel* est de former des mathématiciens appliqués de haut niveau, ayant, outre les qualités associées habituellement à une formation solide en mathématiques, une réelle maîtrise de l’outil informatique, les rendant aptes à intervenir dans le monde de l’entreprise ou des services.

Depuis septembre 2018 ce parcours est ouvert **à la fois aux étudiant·e·s en formation initiale et aux étudiant·e·s en alternance**. Il propose trois majeures dans un seul et même parcours de M2 en Ingénierie mathématique :

- **IMPE-Ingénierie Mathématique Pour l’Entreprise** (responsables : C. Guichard et M. Postel),
- **IFMA-Ingénierie Financière et Modèles Aléatoires**, (responsables : V. Lemaire et L. Abbas-Turki),
- **ISDS-Ingénierie Statistique et Data Sciences de l’ISUP** (responsable O. Wintemberger).

Pour ce qui relève de l’apprentissage, le parcours est associé au **CFA des Sciences** qui organise le pré-recrutement des apprentis dès le mois d’avril précédent l’année de M2.

### 1.2 Débouchés professionnels

Des compétences pluridisciplinaires et un stage de quatre mois minimum en entreprise (ou la mission en apprentissage) donnent accès à des débouchés variés dans les secteurs utilisant la modélisation, la simulation numérique, l’estimation ou la prévision (R&D dans l’industrie, ESN, Banque, Assurance). Les meilleur·e·s étudiant·e·s peuvent aussi continuer en thèse, le plus souvent en mathématiques appliquées, en milieu universitaire, dans un centre de recherche (comme l’IFPen, ONERA, etc.) ou dans l’entreprise ou l’industrie (thèse Cifre). Les débouchés du parcours IFMA (Ingénierie Financière et Modèles Aléatoires) sont plus spécifiquement les banques, les compagnies d’assurance et les sociétés de services informatiques spécialisées dans

la gestion des instruments financiers.

La liste des stages effectués ces dernières années, consultable sur les sites des formations, atteste de la réalité de l’insertion de ce parcours dans ces différents secteurs professionnels.

## 1.3 Organisation

Le master Ingénierie mathématique propose trois majeures différenciées. Chaque majeure est contrainte, et ne permet que peu de choix dans les enseignements suivis. Les trois majeures ont une structure en UE identique, avec certains enseignements de probabilités-statistique ou d’analyse numérique communs à deux ou trois majeures. Un cours obligatoire d’Anglais est également proposé aux trois cursus, il est assuré par le Département de langues qui offre la possibilité d’un entraînement au Toeic.

La première partie de l’année à l’université est structurée en trois blocs (voir tableau 1.1 : un bloc de base sur 7 semaines, un bloc fondamental sur 8 semaines, et un bloc d’options sur 10 semaines.

De manière à rendre possible l’alternance, les cours et examens communs aux étudiant·e·s en formation initiale et aux apprenti·e·s ont lieu

- du 6 septembre 2021 au 17 décembre 2022 : les lundis, mardis et mercredis.
- du 17 janvier au 31 mars 2022 : les lundis et mardis.

Les étudiant·e·s en formation initiale (non apprenti·e·s) sont susceptibles d’avoir des enseignements les autres jours également.

A la suite de cette période de formation (à partir du mois d’avril), les étudiant·e·s en formation initiale effectuent un stage long en immersion complète en entreprise ou dans un grand centre de recherche. Pendant cette période les étudiant·e·s apprenti·e·s sont à temps plein dans l’entreprise.

TABLE 1.1 – Organisation des enseignements en trois blocs

Bloc de base	7 semaines d’enseignement du 6 septembre au 22 octobre 2021 UE : Anglais, 5MI01 Ingénierie 1 et 5MI02 Méthodes mathématiques pour l’Ingénierie Examens la semaine du 18 octobre 2021
Bloc fondamental	8 semaines d’enseignement du 25 octobre 2021 au 17 décembre 2021 UE : Anglais, 5MI03 Outils informatiques pour l’Ingénierie et 5MI04 Ingénierie 2 Une semaine sans enseignements du 1er novembre au 7 novembre 2021 Examens du 3 au 16 janvier 2022
Bloc d’options	10 semaines d’enseignement du 17 janvier au 31 mars 2022 UE : 5MI05 Spécialisation 1 et 5MI06 Spécialisation 2 La plupart de ces enseignements sont en mode projet, l’évaluation a lieu au cours des 10 semaines. Une semaine sans enseignements du 28 février au 6 mars 2022
Examens de seconde chance : début mai pour les blocs 1 et 2, en septembre 2022 pour le bloc 3	

## Majeure IMPE

La majeure *Ingénierie Mathématique Pour l'Entreprise* (IMPE) est la plus généraliste des trois. Les étudiant·e·s suivent tous des enseignements théoriques et pratiques d'analyse numérique et calcul scientifique et un cours de base en statistiques, complétés par une formation en ingénierie mathématique de l'un des deux domaines

- mécanique (des fluides et des solides),
- probabilités et statistique.

Les unités Analyse numérique-calcul scientifique sont donc communes aux deux filières, elles sont complétées par des cours spécifiques au domaine choisi. Les cours TD, TP sont obligatoires au premier semestre (septembre-mars). Les étudiant·e·s effectuent des projets dans chaque matière. Un cours d'informatique scientifique et des travaux pratiques d'implémentation numérique permettent la mise en œuvre effective de méthodes numériques (Programmation en C, C++ et Matlab). Des projets avancés (en C++, calcul parallèle, code\_Aster et FreeFEM++), des cours complémentaires (programmation Python, VBA, Cuda,..) sont choisis suivant les filières, ils permettent de conforter le domaine de compétences ou de se préparer au stage. Un cours obligatoire d'Anglais fait partie du cursus.

L'unité d'insertion professionnelle est proposée de façon spécifique à cette majeure. Elle permet aux étudiant·e·s une meilleure connaissance des débouchés très variés et leur fournit de bons outils d'insertion (rédaction du CV, préparation au stage, recherche d'un premier emploi).

Les étudiant·e·s en formation initiale effectuent à partir d'avril un stage long d'au moins quatre mois (mais le plus souvent six mois) en entreprise. Pendant le stage, ils ne suivent plus de cours et sont complètement insérés dans l'entreprise. Des exposés de mi-stage sont organisés ainsi qu'une soutenance finale devant un jury, avec rédaction d'un rapport, ce qui complète leur expérience professionnelle. Les brochures des résumés de stage disponibles sur le site de la formation permettent de se rendre compte de la variété des stages effectués.

Tous les ans, à l'issue du stage ou de l'apprentissage, certain·e·s étudiant·e·s poursuivent leur formation dans le cadre d'un Doctorat, le plus souvent CIFRE voir par exemple les exemples de débouchés sur le site web.

## Majeure IFMA

La majeure *Ingénierie financière et modèles aléatoires* (IFMA) a été créée en 2006 pour répondre à une demande, les débouchés dans le secteur bancaire pour des étudiants formés aux mathématiques financières étant actuellement très bons. Cette majeure a pour objectif de former des ingénieurs mathématiciens ayant une triple compétence en calcul stochastique et finance mathématique, informatique et statistiques. La majeure prépare à l'évaluation et à la gestion quantitative des risques aléatoires tant du point de l'analyse stochastique que de leur traitement statistique et numérique.

La présence à tous les cours de la majeure est obligatoire. Après les deux cours de base, les deux unités du premier semestre (fin octobre - décembre) regroupent les

cours fondamentaux de la formation qui permettent d'acquérir les outils mathématiques et numériques nécessaires en finance quantitative (finance de marché), et forment à la programmation en C++. L'autre unité de spécialisation en programmation VBA et sur carte graphique (GPU) complète cette formation. En vue de faciliter l'insertion professionnelle, des cours sont donnés par des professionnels de la finance sur des sujets pointus.

Les étudiants effectuent à partir d'avril un stage long d'au moins quatre mois (mais le plus souvent six mois) en entreprise. Pendant le stage, ils ne suivent plus de cours et sont complètement insérés dans l'entreprise.

## Majeure ISDS

Cette majeure propose une formation de haut niveau aux carrières de Statisticien et Data Scientist dans les domaines porteurs liés à la Recherche et Développement dans les secteurs innovants. Cette majeure délivre le double diplôme du Master Mathématiques et Applications parcours Ingénierie Mathématique et de l'ISUP filière ISDS.

La création de bases de données considérables dans les domaines du vivant, des communications et des services mène à des questions neuves, portant sur la recherche de méthodes de classification en haute dimension, d'identification d'événements rares, de mise en évidence de réseaux relationnels, etc ; on peut citer les questions de diagnostic épidémique, de traitement de requêtes en contrôle aérien, de marketing en lien avec les moteurs de recherche. La Statistique a un rôle central dans ce domaine très actif et porteur ; les possibilités de carrières très motivantes y sont très nombreuses. Les étudiants de cette majeure suivent des cours spécifiques de data mining, basés sur l'expérience et l'expertise de ses enseignants issus de notre Université ou experts reconnus dans les entreprises majeures du domaine, assurés par L'ISUP, des cours d'informatique adaptée aux grandes bases de données, des cours de mathématiques, probabilités et statistiques mutualisés avec les deux autres majeures.

Cette filière s'appuie sur une expérience réussie d'alternance, permettant à nos étudiants une formation en prise avec le monde de l'Industrie et des Services. Les liens étroits entre l'ISUP et les entreprises facilitent l'insertion professionnelle des diplômés.

## 1.4 Publics visés, prérequis

Ce parcours s'adresse à des titulaires d'une première année de Master de Mathématiques (une composante de mathématiques appliquées est souhaitée) ou de Mécanique (pour la majeure IMPE-mécanique), ou de titres équivalents. Pour la majeure IMPE, des connaissances de base en analyse numérique matricielle et des équations différentielles ordinaires (EDO), et en équations aux dérivées partielles (EDP) sont souhaitées. La majeure IFMA (Ingénierie Financière et Modèles Aléatoires) s'adresse à des candidat.e.s ayant déjà une formation en probabilités de niveau M1. Admission sur dossier (pour chaque majeure). La majeure ISDS (Ingénierie Statistique et Data Science) s'adresse à des étudiant.e.s sortant de la deuxième année de la filière



Ingénierie statistique et data sciences de l'ISUP ou de la première année d'un master de mathématiques appliquées avec une spécialisation en probabilité et statistiques.

## 1.5 Description des UE

Le parcours propose 6 UE scientifiques à 6 ects chacune, 2 pour le premier bloc de base (voir tableau 1.3), 2 pour le deuxième bloc fondamental (voir tableau 1.4), 2 pour le dernier bloc de spécialisation (voir tableau 1.5), soit 36 ects en tout. Une UE d'anglais à 3 ECTS est répartie sur les deux premiers blocs. L'UE de stage constitue 18 ECTS. Pour les étudiant·e·s en formation initiale les 3 ECTS restants correspondent à l'OIP (3 ects). Pour les apprenti·e·s il s'agit de l'UE "pratique professionnelle".

TABLE 1.2 – Code couleur pour les mutualisations

blanc	commun à tous
<span style="background-color: cyan;"> </span> cyan	<span style="background-color: cyan;"> </span> ISDS+IFMA+IMPEproba
<span style="background-color: yellow;"> </span> jaune	<span style="background-color: yellow;"> </span> ISDS+IFMA
<span style="background-color: gray;"> </span> gris	<span style="background-color: gray;"> </span> IFMA+IMPEproba
<span style="background-color: pink;"> </span> rose	<span style="background-color: pink;"> </span> IFMA
<span style="background-color: orange;"> </span> orange	<span style="background-color: orange;"> </span> ISDS
<span style="background-color: cyan;"> </span> turquoise	<span style="background-color: cyan;"> </span> IMPE
<span style="background-color: lime;"> </span> vert	<span style="background-color: lime;"> </span> IMPEmeca

Chaque UE est composée de plusieurs cours, communs ou non à plusieurs majeures, suivant le code couleur indiqué dans le tableau 1.2. Sauf indication contraire les cours sont assurés par des enseignants-chercheurs de Sorbonne Université.

### Unités communes aux trois majeures

- **5MI01 - Ingénierie 1 : Méthodes numériques**  
 Professeur : Cindy Guichard  
 Ce cours traite de la discrétisation des EDP en 1D notamment par la méthode des différences finies. Des notions d'algèbre linéaire numérique seront également abordées en fin de cours. En fonction du parcours de l'étudiant·e, ce contenu pourra être vu comme des rappels de M1.
- **5MI01 - Ingénierie 1 : Statistique inférentielle**  
 Professeur : Jean-Patrick Baudry  
 Estimateurs, intervalles de confiance, et régression linéaire.
- **5MI01 - Ingénierie 1 : Fondamentaux du C/C++**  
 Professeur : Guillaume Delay  
 Syntaxe classique du C/C++. Programmation orientée objets (classes, héritage, polymorphisme dynamique) et Programmation générique (template, STL, polymorphisme statique). On aborde la programmation moderne du C++14 et l'intégration avec R via Rcpp et Python via pybind11. Exemples

TABLE 1.3 – Enseignements du bloc de base (UE Ingénierie 1 et méthodes mathématiques pour le modélisation)

Bloc de base 6+1 semaines 3j/semaine				10 sept-26 oct		Nom d'UE
ISDS	IFMA	IMPE/proba	IMPE/meca	vol ho- raire	ects	
Anglais	Anglais	Anglais	Anglais	14	1.5	
Méthodes numé- riques	Méthodes numé- riques	Méthodes numé- riques	Méthodes numé- riques	21	2	Ingénierie 1
Fondamen- taux du C/C++	Fondamen- taux du C/C++	Fondamen- taux du C/C++	Fondamen- taux du C/C++	21	2	
Modèles aléatoires	Modèles aléatoires	Modèles aléatoires	Mécanique des milieux continus	21	2	
Calcul sto- chastique	Calcul sto- chastique	Optimi- sation	Optimi- sation	21	2	Méthodes mathéma- tiques pour la modélisation
Appren- tissage Statistique	Statistique inférentielle	Statistique inférentielle	Statistique inférentielle	21	2	
	Méthodes de Monte Carlo	Méthodes de Monte Carlo	Initiation Code_Aster	21	2	

numériques liés aux équations paraboliques (méthodes déterministes et aléatoires).

— **5MI02 - Méthodes mathématiques pour la modélisation : Modèles aléatoires**

Professeur : Olivier Bardou (GRDF et LPSM, [olivier.bardou@grdf.fr](mailto:olivier.bardou@grdf.fr))

Cours d'introduction aux processus de Markov :

- Chaînes de Markov à temps discret,
- Processus de sauts markoviens,
- Propriétés des processus en temps long, théorèmes ergodiques.

— **5MI03 - Outils math. pour l'ingénierie : Introduction CUDA**

Professeur : Roman Lakymchuk

Ce cours introduit de façon simple et efficace é la simulation sur GPU (Graphics Processing Units). Il est agencé autour de la simulation Monte Carlo fortement adaptée é la parallélisation. Il permet ainsi de se concentrer sur les optimisations permises par l'architecture du GPU.

— **5MI03 - Outils math. pour l'ingénierie : Langage Python**

Professeur : Pascal Havé

TABLE 1.4 – Enseignements du bloc fondamental (UE Ingénierie 2 et outils informatiques pour l'ingénierie)

Bloc d'approfondissement 7+1 semaines 3j/semaine				7 nov-21 déc		Nom d'UE
ISDS	IFMA	IMPE/proba	IMPE/meca	vol ho- raire	ects	
Anglais	Anglais	Anglais	Anglais	16	1.5	Anglais
Introduction CUDA	Introduction CUDA	Introduction CUDA	Introduction CUDA	12	1	Outils informa- tiques pour l'ingénierie
Langage Python	Langage Python	Langage Python	Langage Python	12	1	
Contrôle qualité	Analyse de données (logiciel R)	Analyse de données (logiciel R)	Analyse de données (logiciel R)	24	2	
Séries chrono.	Séries chrono.	Séries chrono.	Projet Code_Aster	24	2	
Statistique et pour la prévi	Projet Monte Carlo	Méthodes pour les EDP	Méthodes pour les EDP	24	2	Ingénierie 2
Réseaux Neu	Finance 1	Projet optimisation	Projet optimisation	24	2	
Modèles à structure latente	Finance 1	Approf. C++	Approf. C++	24	2	

- **5MI03 Outils math. pour l'ingénierie : Séries temporelles et filtrage**  
Professeur : Jean-Patrick Baudry
- **5MI05 - Spécialisation 1 : Bases de données VBA**  
Professeurs : Maha Abdallah et Florian Pons (CRI4DATA)
- **NXAN1. UE - Anglais (3 ECTS) (semestre S3)**  
L'enseignement est assuré par le département de langues (pour IFMA et IMPE essentiellement en ligne, quelques ateliers en présence). Préparation au test Toeic, ou Anglais professionnel.
- **5MI20. UE - Stage ingénierie long (18 ECTS) (semestre S4)**  
Professeurs : Marie Postel et Cindy Guichard (pour IMPE), Lokmane Abbas-Turki et Vincent Lemaire (pour IFMA), Olivier Wintenberger (pour IDSD)  
Objectifs de l'UE : Cette expérience professionnelle, la première de cette ampleur par la durée et le niveau des tâches effectuées, est essentielle pour l'insertion ultérieure des étudiants dans le marché du travail. Elle est très valorisante et leur permet aborder la recherche du premier emploi avec un bagage scientifique et professionnel consistant. Pour les étudiants qui effectuent un stage de qualité en centre de recherche, elle peut éventuellement leur

TABLE 1.5 – Enseignements du bloc d’option (UE Spécialisation 1 et 2)

Bloc de spécialisation 10 semaines 2j/semaine				21 janv- 29 mars	Nom d’UE	
ISDS	IFMA	IMPE/proba	IMPE/meca	vol ho- raire	ects	
Base de données VBA	Base de données VBA	Base de données VBA	Modèles Math Bio FreeFEM++	30	3	Spécialisation 1
Modèles statistiques pour l’écologie	Fiabilité	Fiabilité	Projet Collaboratif	30	3	
statistiques indus- trielles	Machine learning	Machine learning	Machine learning	15	1.5	Spécialisation 2
	Finance 2	Projet Python	Projet Python	15	1.5	
Calcul Parallèle		Calcul Parallèle	Calcul Parallèle	30	3	

donner la possibilité d’obtenir une bourse de thèse pour continuer le travail de recherche appliquée initié pendant le stage, ou d’aborder un travail sur des thématiques proches dans une autre équipe.

Thèmes abordés : Immersion totale dans l’entreprise, dans un secteur correspondant à la majeure suivie : banque, assurance, sociétés de conseil, SSII, services de statistiques dans des établissements divers,...) ou pour la majeure IMPE dans un centre de recherche public (CEA, IFPen, INRIA, ONERA) ou du secteur industriel (automobile, aéronautique, BTP, énergie, télécom, transport, électronique,...).

Suivi pédagogique assuré par un enseignant de la formation, réunion à mi-stage (en IMPE), rédaction d’un rapport, soutenance officielle devant un jury composé des responsables de majeure, d’enseignants chercheurs concernés et de l’encadrant du stage en entreprise.

## Unités communes à IFMA et ISDS

### — 5MI02 - Méthodes mathématiques pour la modélisation : Calcul stochastique

Professeur : Vincent Lemaire

Martingales à temps discret, martingales à temps continu, convergences et théorème d’arrêt. Mouvement brownien, propriété de Markov et propriété de martingale. Intégrale stochastique par rapport au mouvement brownien, formule d’Itô, théorème de Girsanov. Introduction aux équations différentielles stochastiques, équations à coefficients lipschitziens, diffusions et propriété de Markov.

## Unités communes à IFMA et IMPE

- **5MI02 - Méthodes mathématiques pour la modélisation : Méthodes de Monte-Carlo**  
 Professeur : Idris Kharroubi  
 Objectifs : Méthodes de Monte-Carlo.  
 Prérequis : Notions de base en probabilités.  
 Généralités sur les méthodes de Monte Carlo (Loi des grands nombres, vitesse de convergence et intervalles de confiance), simulation de variables et vecteurs aléatoires (inversion, rejet, transformation, variables corrélées), réduction de variance (variables de contrôle et antithétique, stratification, fonction d'importance), méthodes de quasi-Monte Carlo (discrépance, exemples de suites à discrépance faible), calcul de sensibilité (différences finies, différentiation et log-vraisemblance).
- **5MI03 - Outils math. pour l'ingénierie : Analyse de Données**  
 Professeur : Yassin Mazroui  
 Consolidation des connaissances théoriques et pratiques (TP avec le logiciel R) d'Analyse de données et de Statistique appliquée. L'objectif est de permettre aux étudiants d'acquérir les bons réflexes avant d'analyser une base de données, d'avoir une palette assez large de méthodes d'analyse, de connaître les limites d'application de ces méthodes.  
 Programme :
  - Analyse descriptive (numérique et graphique)
  - Tests paramétriques et non-paramétriques d'égalité de moyennes (Student, Mann-Whitney), d'égalité de proportions (Chi-2, Fisher exact) pour 2 échantillons indépendants et appariés
  - ANOVA à un et deux facteurs, ANCOVA, test de Kruskal-Wallis
  - Modèles de régression linéaire simple et multiple, test de corrélation linéaire
  - Modèles de régression logistique simple et multiple, notion de rapport de côte
  - Analyse exploratoire : Analyse en Composante Principale
  - Analyse de survie (survenue d'un événement : décès, panne d'une machine,...)
- **5MI06 - Spécialisation 2 Machine Learning**  
 Professeur : Ana Karina Fermin Rodriguez  
 Objectifs de l'UE : Ce cours est une introduction à l'apprentissage statistique supervisé : la construction de prédictions automatisées à partir d'une base d'exemples de bonnes prédictions. Nous décrirons le cadre théorique et présenterons les méthodes les plus classiques. Un accent sera mis sur le choix et la validation de ces méthodes à l'aide des données elle-mêmes. Le cours est illustré par des exemples dans le langage R. Il se valide par un projet avec R sur des données réelles.
- **5MI05 - Spécialisation 1 : Fiabilité**  
 Partie théorique (M. Thieullen) : Modèles semi-markoviens et processus déterministes par morceaux (PDMP).

Le but du cours et des séances de TD est de passer en revue certains aspects théoriques des modèles fondamentaux en fiabilité. On y abordera les chaînes de Markov, le processus de Poisson, les processus de renouvellement, les processus semi-markoviens et de Markov déterministes par morceaux. Le fil conducteur est la notion de taux de hasard pour la modélisation d'événements aléatoires.

Partie appliquée (Thomas Guillon, Sami Tazi (RTE) )

Introduction à la science des risques et aux trois grandes stratégies de gestion de risques (Risk-Informed, principe de prudence, stratégie discursive), études des cas : Faillite de Pacific Gas & Electricity, Crashes Boeing 737 MAX. Statistiques des durées de vie et biais d'observations (estimateur de Kaplan-Meier, estimateur du maximum de vraisemblance, régression de survie). Valorisation des conséquences et analyse socio-économique. Politiques de maintenance préventive, processus de renouvellement à récompense, politiques optimales de remplacement par âge. Étude de cas et TP en python.

## Unité commune à IMPE et ISDS

### — 5MI06 - Calcul parallèle

Professeur : Xavier Juvigny (ONERA)

Architectures parallèles, architecture de la mémoire (partagée, hiérarchique, distribuée, hybride, etc...).

Modèles de programmation, OpenMP pour l'environnement mémoire partagée et MPI pour la mémoire distribuée.

Algorithmes parallèles distribués dans le contexte de résolution de grands systèmes linéaires pleins ou creux, par méthodes directes ou itératives. Approches de découpage par blocs pour des matrices pleines ou par décomposition de graphe (de la matrice ou du maillage) pour des matrices creuses.

Tous les TD se font en Python avec MPI, de même que les projets.

## Unités spécifiques à IMPE

### — Enseignements de mécanique répartis sur les 3 blocs

#### — 5MI02 - Introduction à la mécanique des milieux continus. Mécanique des solides.

Professeur : Julien Waeytens (IFSTTAR) Initiation à la mécanique des milieux continus : cinématique, déformations, efforts intérieurs (approche classique), bilans, lois de conservation.

#### — 5MI03 - Initiation Code\_Aster et 5MI06 - Projet Code\_Aster.

Professeurs : Mickaël Abbas, Ting Yu (EDF - R&D)

Initiation et utilisation d'un code de calcul utilisé dans l'industrie.

#### — 5MI05 - Spécialisation 1 :

##### Modèles Mathématiques appliqués à la biologie

Professeur : Laurent Boudin

Ce cours abordera quelques problèmes rencontrés en mécanique des fluides en sciences du vivant, dans leur analyse mathématique et sur leur si-

mulation numérique. Plusieurs types de modèles représentant différentes échelles physiques seront présentés :

Équation de Vlasov : méthode des caractéristiques, régularité des solutions, résolution numérique d'équations différentielles,

Équations de (Navier-)Stokes : résultats théoriques, méthodes numériques, discrétisation par éléments finis.

On terminera le cours en étudiant les problèmes spécifiques liés au couplage de ces deux équations du point de vue de la méthodologie mathématique et de la mise en œuvre numérique.

**Initiation FreeFEM++.**

Professeur : Rachida Chakir (IFSTTAR)

Les développements numériques du cours précédent seront faits à l'aide du logiciel FreeFem++, auquel les étudiant-e-s seront initié-e-s dans des séances de TP dédiées.

**Projet collaboratif**

Professeur : Stéphane Labbé

Ce projet propose de traiter une géométrie complexe en mécanique des fluides afin d'étudier un système de séparation de liquides. Le programme de travail inclura la génération de maillages et la discrétisation de flux de liquides via une méthode d'éléments finis (langages Python et C/C++).

**Prérequis :** Il n'est pas nécessaire que le cursus suivi comporte une initiation aux thèmes fondamentaux pour la mécanique des milieux continus, solides et fluides.

— **Analyse numérique et calcul scientifique répartis sur les 3 blocs**

— **5MI02 - Optimisation**

Professeur : Marie Postel

Les objectifs du cours sont

- Le rappel (ou la découverte) de quelques méthodes et algorithmes d'optimisation continue, dans le cas sans contraintes (gradient, Newton) et avec contraintes (extréma liés, théorème de Karush Kuhn Tucker)
- L'utilisation d'un logiciel scientifique en langage interprété très utilisé dans les entreprises pour appliquer directement les méthodes numériques vues en cours.

— **5MI04 - Méthodes pour les EDP**

Professeur : Pascal Frey

— **5MI04 - Projet d'optimisation**

Professeur : Max Cerf (ingénieur Airbus Defence & Space)

**5MI04 - Approfondissement C/C++**

Professeur : Guillaume Delay

— **5MI06 - Projet Python**

Professeur : Pascal Havé

— **Objectifs de ces UE :** Donner les bases mathématiques et informatiques

nécessaires pour la résolution et la simulation numérique des problèmes industriels ou du monde de l'entreprise modélisés par des systèmes d'équations aux dérivées partielles (EDP) et pour la résolution de problèmes d'optimisation.

**Prérequis :** Connaissances de bases en analyse numérique (matricielle et approximation des EDO), connaissance d'un langage de programmation, connaissances de base en approximation des EDP souhaitées.

**Thèmes abordés :** problèmes variationnels, analyse numérique des EDP, méthodes de discrétisation (différences finies, éléments finis, volumes finis), maillages; méthodes d'optimisation (sans et avec contraintes). Langages de programmation et logiciels pour la simulation numérique (C, C++, Matlab), algorithmique, calcul parallèle, différentiation automatique. Une importance particulière est accordée aux séances de travaux pratiques et aux projets informatiques (projet d'optimisation avec Matlab; C, C++, MPI). Résolution d'EDP par des méthodes de type éléments finis, résolution de systèmes linéaires ou de problèmes de valeurs propres, visualisation graphique (OpenGL/GLUT). Utilisation de "bibliothèques" de calcul scientifique disponibles sur internet. Installation et utilisation de certains logiciels du domaine public (ARPACK, UMFPACK, SuperLU, ...), sous Unix.

## Unités spécifiques à IFMA

- **5MI04 - Ingénierie 2 : Finance 1**
  - **Marchés complets**  
 Professeur : Shen Lin  
 Thèmes abordés : Marchés financiers et valuation d'options en marchés complets. Introduction à la couverture de produits dérivés et à la gestion de portefeuille en marchés complets dans les modèles de diffusions browniennes, modèle de Black-Scholes généralisé, lien avec les EDP, modèles de taux.
  - **Marchés incomplets**  
 Professeur : Camille Tardif  
 Thèmes abordés : Finance avancée : gestion du risque et marchés incomplets : Modèles de la courbe des taux, modèles de volatilité locale, modèles de volatilité stochastique, options exotiques, risque de défaut, modèles de crédit, marchés incomplets.
- **5MI06 Spécialisation 2 : Finance 2**  
 Actuellement composée de 4 cours assurés par des intervenants extérieurs
  - **Interprétation du smile en terme de risk**  
 Professeur : Didier Faivre (CACIB, [didier.faivre2@gmail.com](mailto:didier.faivre2@gmail.com))  
 L'évaluation de plusieurs produits dérivés, notamment les CMS et les options sur CMS mais aussi les produits options barrières et Quanto est expliquée à partir de stratégies de réplification. Au préalable, des rappels détaillés sont faits sur la construction de courbe de taux et les produits dérivés vanille de taux (Caps, Floors, Swaptions) : définition, évaluation



pratique en salle des marchés. L'ensemble des séances est systématiquement partagé entre exposés et exercices sous Excel.

— **Produits dérivés de taux**

Professeur : Aych Bouselmi ([aych.bouselmi@gmail.com](mailto:aych.bouselmi@gmail.com))

Le cours aborde la modélisation de certaines courbes de taux ainsi que différents modèles stochastiques de taux. On y voit notamment comment ces derniers sont construits, calibrés et utilisés dans les usages quotidiens de la banque. On se donne pour but de construire, à partir de données de marché liquides, un framework dans lequel on est capable de calculer les prix de différents produits présents ou pas dans le marché de départ.

— **Gestion de Portefeuille**

Professeur : Simon Mauffrey (LBPAM, [mauffrey@me.com](mailto:mauffrey@me.com))

Introduction à la gestion d'actifs (présentation des classes d'actifs, phases d'allocation, styles de gestion...). Réalisation d'un outil d'allocation stratégique basé sur la modélisation et calibration des principales classes d'actifs (modèles économétriques AR/MA/ARMA et ARCH/GARCH) et la construction de portefeuilles (réalisation de simulations de Monte Carlo et calcul d'indicateurs de risques et de performance).

— **Commodities et Energy derivatives**

Professeur : Olivier Bardou (GRDF et LPSM, [olivier.bardou@grdf.fr](mailto:olivier.bardou@grdf.fr))

Ce cours est une introduction aux marchés des énergies et aux méthodes actuellement développées pour répondre aux questions de valorisation de produits dérivés et de gestion des risques qui s'y rencontrent. Le programme du cours est le suivant :

- Présentation des marchés du pétrole, du gaz, de l'électricité, du charbon et des émissions.
- Modèles de prix pour les énergies et les émissions.
- Valorisation et couverture des produits dérivés sur les marchés de l'énergie.
- Valorisation et gestion des actifs réels (options swing, stockages, CCGT...).
- Gestion du risque (financier, physique et climatique).

— **5MI04 - Ingénierie 2 : Projet Monte-Carlo**

Professeur : Vincent Lemaire

Thèmes abordés : Méthodes de Monte-Carlo pour l'évaluation des produits dérivés et la gestion des risques. Discrétisation de processus de diffusion, approximation de pay-offs complexes, calcul de sensibilités, calcul de mesure de risque (VaR, CVar, etc.). Techniques récentes en probabilités numériques : nested Monte Carlo et multilevel Monte Carlo. Evaluation sous forme d'un projet.

## Unités spécifiques à ISDS

— **5MI02 Méthodes mathématiques pour la modélisation : Apprentissage Statistique**

Professeurs : Claire Boyer et Olivier Lopez  
cours en commun avec le M2 actuariat

Objectif : Ce cours présente les grands principes de l'apprentissage statistique et automatique et les principales méthodes de prédiction (classification et régression), de clustering et de réduction de dimension. On s'attachera à aborder l'apprentissage automatique d'un point de vue théorique mais aussi d'un point de vue algorithmique, puisque la plupart des concepts pourront s'illustrer par des travaux pratiques en Python. Prérequis : notions fondamentales de probabilités et statistique, analyse convexe, algèbre linéaire et calcul scientifique en Python.

Contenu :

- Introduction au problème d'apprentissage
- Principe de minimisation du risque empirique, théorie de Vapnik-Chervonenkis
- Apprentissage supervisé :
  - Méthodes paramétriques : analyse discriminante, régression logistique, support vector machine
  - Méthodes à noyaux
  - Méthodes non paramétriques : k-plus proches voisins, arbres, forêts, boosting
- Optimisation pour le machine learning
- Introduction au deep learning
- Apprentissage non-supervisé :
  - Clustering : modèles de mélange et algorithme EM, k-means, clustering spectral et hiérarchique
  - Réduction de dimension : analyse en composantes principales, multi-dimensional scaling, projections aléatoires
- Complétion de matrice
- **5MI03 Outils math. pour l'ingénierie : Contrôle qualité**

Professeur : Mitra Foularidad (UTT)

Thèmes abordés :

- Rappel de quelques notions de base en statistique
  - Introduction des outils de Contrôle Statistique des procédés (histogramme et arbre d'événement, feuille de contrôle, diagramme de Pareto
  - diagramme de causes et effets, diagramme de concentration des défauts,
  - diagramme de dispersion, carte de contrôle, etc.)
  - Définition des différentes cartes de contrôle et l'étude de leurs propriétés (les cartes R, S, p, np,c, etc.)
  - Méthodes d'analyse séquentielle et détection de rupture
  - Cartes de contrôle en présence de données corrélées.
  - Méthodes d'échantillonnage pour le contrôle de qualité.
  - **Statistique et apprentissage pour la prévision.**
- Professeur : Margaux Bregere Les cours porterons sur :
- Rappels de régression et régularisation
  - Modèles additifs généralisés
  - Forêts Aléatoires
  - Boosting
  - Réseau de neurones
  - Stacking et agrégation d'experts

- Enjeux et méthodes pour la prévision probabiliste et la simulation (qgam, autoencodeurs, GANs)

L'ensemble des cours s'appuyera sur des TP en R et Python appliqués à la prévision de consommation électrique. L'évaluation se fera sous forme de projet.

- **5MI04 - Ingénierie 2 : Modèles à structure latente**

Professeur : Jean-Patrick Baudry

1. Ré-échantillonnage
  - Résultats limites , validité du bootstrap
  - Bootstrap pondéré, méthodes empiriques
  - Bootstrap paramétrique
2. Méthodes algorithmiques
  - Apprentissage non supervisé, k-means, mélanges
  - Algorithme EM, SEM
  - Approche bayésienne : Gibbs sampler, Metropolis-Hastings

- **Réseaux Neuronaux**

Professeure : A. Valibouze

Objectifs : Fondements et principes des réseaux neuronaux jusqu'à l'apprentissage automatique. Etude et description des principaux réseaux : modèles historiques, à compétitions, réseaux profonds (Deep learning) : Perceptron Multi-Couches, PMC, (DNN), convolutionnels (CNN) et DBN. Pratique logicielle précisée plus bas. S'appuyant sur les projets individuels, une partie du cours se réalise en pédagogie inversée. De par la remise d'un projet individuel et de sa présentation orale, l'étudiantE acquiert à la fois la compétence orientée statistique dans l'usage des réseaux neuronaux pour le traitement des grandes masses de données (Big Data) ainsi qu'une autonomie (pédagogie inversée) et un savoir faire dans la présentation d'exposés scientifiques.

Prérequis : La partie théorique est accessible à tous. Avoir pratiqué un logiciel scientifique, tel R, est recommandé.

Evaluation : Un devoir logiciel, un projet individuel (parties théorique et logicielle), exposé avec démos interactives. La présence est obligatoire à tous les cours.

Pratique logicielle :

- Cours : Fonctionnalités neuronales du logiciel de R
- Devoir : implémentation d'un réseau de neurones symétrique et de ses trajectoires dans un des deux systèmes de Calcul Formel libres suivants : SageMath et Maxima.
- Projet : Utilisation de plusieurs logiciels disposant de fonctions dédiées aux réseaux neuronaux avec comparaison avec des méthodes statistiques connues.

1. Partie 1 : Fondements et applications
  - Historique et Définitions. Modèle de McCulloch et Pitts (1943)
  - Fonctionnement et principes. Exemple du réseau symétrique de Hopfield
  - Comportements dynamiques - Fonction de Lyapunov

- Erreur et apprentissage. Exemples.
- Application : Analyse des données (Data Mining)
- 2. Partie 2 : Des modèles classiques à l'apprentissage profond. Théorie et Pratique.
  - Quelques règles d'apprentissage sur les poids et sur le pas d'apprentissage
  - Le Perceptron de F. Rosenblatt (1958) et ses limites ; l' Adaline ; réseaux à compétition ; réseaux symétriques
  - Le Perceptron Multi-Couches dit PMC
  - Réseaux « Radial Basis Function » dits RBF (fonctions à noyaux)
  - La machine de Boltzmann Restreinte dite RBM
  - Apprentissage sur réseaux déjà entraînés : Corrélation en cascade et Neurochirurgien Optimal (OBS)
  - Apprentissage Profond : DNN, CNN, DBN, GAN
  - Fonctionnalités neuronales du Logiciel R (PMC, réseaux RBF)
- 3. Partie 3 : Pédagogie Inversée via les présentations des projets.
- **5MI06 - Spécialisation 2 : Statistiques industrielles**
  - **Plans d'expériences**  
 Professeurs : Maeva Biret, Catherine Duveau, Ingénieures statisticiennes SAFRAN
    - Rappels d'analyse de la variance
    - Plans factoriels multiples
    - Plans latin, gréco-latin
    - Applications industrielles
  - **Pratique de la fiabilité**  
 Professeur : Emmanuel Rémy, chercheur expert, EDF R&D, Département "Performance, Risques Industriels, Surveillance pour la Maintenance et l'Exploitation"  
 Contexte : assurer la sûreté et la performance des systèmes industriels et limiter leur impact sur l'environnement sont des enjeux majeurs pour tous les industriels, quel que soit le secteur d'activités (agroalimentaire, armement, aéronautique, automobile, chimie, énergie, ferroviaire, métallurgie, pharmaceutique...). De tels objectifs passent nécessairement par une évaluation précise de la fiabilité des équipements, c'est-à-dire leur aptitude à ne pas tomber en panne. Les méthodes probabilistes et statistiques sont des outils bien adaptés pour quantifier les risques de défaillance. En fonction des connaissances disponibles, différentes approches sont envisageables : fréquentistes pour traiter les données de retour d'expérience d'exploitation et de maintenance des matériels, bayésiennes pour tirer profit de dires de spécialistes métier, ou structurelles pour manipuler les résultats de calculs de modèles ou de codes de simulation numérique de phénomènes physiques. Le cours a pour ambition de présenter les techniques de base utilisées dans les trois types d'approches, en adoptant une orientation délibérément applicative : ainsi, de multiples exemples d'études issus des centrales de production d'électricité d'EDF illustrent l'intervention. À noter qu'un grand nombre des méthodes présentées dans

le cours sont appliquées dans d'autres domaines pour d'autres finalités, comme l'actuariat ou l'épidémiologie.

Objectifs : acquérir les concepts et les méthodes probabilistes et statistiques de base pour l'évaluation de la fiabilité des matériels industriels

Moyens :

- Cours magistral
- Exercices en cours (et facultatifs entre chaque séance)
- Cas d'étude EDF pour illustration
- Outils logiciels
- Références bibliographiques

Prérequis : cours

- Mesure, intégration, probabilités
- Optimisation
- Modélisation stochastique
- Statistique inférentielle
- Modèles à structure latente

Structure : 4 parties

- Concepts élémentaires (~3 heures)
- Fiabilité fréquentiste (~9 heures)
- Fiabilité bayésienne (~5 heures)
- Fiabilité structurelle (~6 heures)

Validation des acquis : réalisation d'un projet d'étude avec soutenance

— **Modèles statistiques pour l'écologie**

Professeur : Stéphane Robin

Objectif : L'écologie s'intéresse aux relations que les espèces vivantes entretiennent entre elles et avec leur milieu. L'analyse et la compréhension de ces interactions passe fréquemment par une modélisation statistique visant à décrire les structures et les processus qui sous-tendent ces interactions. L'objectif de ce cours est de présenter certains de ces modèles comme les modèles de distributions (jointes) d'espèces ou les modèles de réseaux écologiques. Les modèles les plus simples sont des modèles linéaires généralisés, éventuellement mixtes. Les modèles plus complexes sont souvent des modèles à variables latentes qui posent des problèmes d'inférence spécifiques qui seront discutés. De même la distinction entre interactions directes ou indirectes entre les espèces peut être reformulée en termes de modèle graphique, faisant ainsi le lien avec des méthodes plus générales d'inférence de réseaux.

Prérequis : notions fondamentales de probabilités et statistique, connaissance de R.

Thèmes abordés :

1. Modèles à variables latentes, modèles graphiques
2. Modèles de distribution d'espèces
3. Modèles de réseaux écologiques

## 1.6 Responsables et sites

Responsable du parcours : Marie Postel

<https://www.lpsm.paris/M2IngMath/>

Responsables des majeures :

- majeure IMPE : Cindy Guichard et Marie Postel

<https://www.lpsm.paris/M2IngMath/impe/>

- majeure IFMA : Vincent Lemaire et Lokmane Abbas-Turki

<https://www.lpsm.paris/M2IngMath/ifma/>

- majeure ISDS : Olivier Wintenberger

<https://www.lpsm.paris/M2IngMath/isds/>

Secrétariat : Francelise Hardoyal

[francelise.hardoyal@sorbonne-universite.fr](mailto:francelise.hardoyal@sorbonne-universite.fr)

Campus Jussieu, 15-25, 1er étage, bureau 1.07 - tél. : 01 44 27 51 14

Responsable pédagogique pour les apprentis : Nathalie Obert-Ben Taieb

[nobert@cfa-sciences.fr](mailto:nobert@cfa-sciences.fr)

Secrétariat CFA des Sciences, Tel 01 44 27 71 40