

SCIENCES, TECHNOLOGIES, SANTÉ

# INGENIEUR SPÉCIALITÉ MATHEMATIQUES APPLIQUEES

Sciences pour l'ingénieur

 Niveau  
d'études  
visé  
**BAC+5** Durée  
année Composante  
**INSTITUT  
NATIONAL DES  
SCIENCES  
APPLIQUEES  
TOULOUSE**

## Présentation

### Objectifs

La spécialité Génie Mathématique et Modélisation de l'INSA a pour objectif de former des ingénieurs capables de gérer les aspects organisationnels, économiques, financiers, humains et techniques de projets pour leur modélisation jusqu'à leur résolution numérique puis leur valorisation. Les connaissances fondamentales en Mathématiques ainsi qu'opérationnelles dans le secteur d'application, les compétences en Informatique et l'expérience de la recherche, confèrent à ces jeunes ingénieurs une grande adaptabilité, une autonomie et une forte capacité d'innovation indispensables à des situations et entreprises en pleine mutation.

### Admissions

### Conditions d'accès

Plus de renseignement sur : <http://www.insa-toulouse.fr/fr/admissions.html>

[toulouse.fr/fr/admissions.html](http://toulouse.fr/fr/admissions.html) Plus de renseignements sur : <http://admission.groupe-insa.fr/candidater-linsa>

### Public cible

### Pré-requis nécessaires

### Pré-requis recommandés

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

 Toulouse

# Programme

## ANNEE 4 – MA

### 4e ANNEE MATHEMATIQUES APPLIQUEES

SEMESTRE 7\_4e ANNEE MA

### DOMAINE MATHEMATIQUES APPLIQUEES\_13 ECTS

Eléments de modélisation  
statistique

Optimisation

EDP2

Probabilités avancées

### DOMAINE TRANSVERSES\_10 ECTS

Calcul haute performance, Outils  
et méthodes de développement  
informatique

Qualité Santé et Environnement

Reading Seminar (ou CBL)

### DOMAINE HUMANITES – SEMESTRE 7\_7 ECTS

Finance

Stratégie d'entreprise responsable

LV2

APS (Activités physiques et  
sportives)

1 crédits

SEMESTRE 8\_4e ANNEE MA

### DOMAINE MAJEURES (Tronc Commun)\_12 ECTS

Machine learning

Signal

Projet Recherche Innovation

### DOMAINE MINEURES (Electifs Optionnels)\_10 ECTS

Eléments Finis et réduction de  
Modèles

Méthodes Mathématiques pour la  
Mécanique

55h

Analyse des données

Processus Stochastique

### DOMAINES HUMANITES – SEMESTRE 8\_8 ECTS

LV1

Prospective et imaginaires du  
futur

APS	Machine learning	4 crédits
PPI	Développer ses compétences managériales	4 crédits
	Formation en entreprise 2	12 crédits

## FORMATION PAR APPRENTISSAGE 4e ANNEE ModIA

SEMESTRE 7\_4e ANNEE ModIA

### Liste d'éléments pédagogiques

Modélisation et Calcul Scientifique 4 crédits

Éléments de modélisation statistique 3 crédits

Optimisation et optimisation Stochastique 4 crédits

Analyse des données 3 crédits 62h

Sciences Humaines S7 4 crédits 45h

Formation en entreprise 1 12 crédits Projet RI

SEMESTRE 8\_4e ANNEE ModIA

### Liste d'éléments pédagogiques

Traitements du Signal et Analyse Hilbertienne et Ondelettes 3 crédits 69h

Infrastructure pour le Cloud et le Big Data 3 crédits

Programmation fonctionnelle et Théorie des graphes 4 crédits

## ANNEE 5 – MA 5e ANNEE MATHEMATIQUES APPLIQUEES

SEMESTRE 9\_5e ANNEE MA

### DOMAINE MAJEURES (Tronc Commun)\_15 ECTS

Apprentissage en grande dimension et apprentissage profond 40h

Métamodélisation

Projet RI

### DOMAINE MINEURES (Electifs)\_9 ECTS

Image 36h

Assimilation de données

Mécanique Fluides et Structures 36h

IA Frameworks

Calcul Stochastique

Durée de vie

**DOMAINE HUMANITES – SEMESTRE  
9\_6 ECTS****Psychologie sociale et éthique****Management d'équipe****APS****PPI****SEMESTRE 10\_5e ANNEE MA****Liste d'éléments pédagogiques****Stage 4A****Stage 5A – PFE****FORMATION PAR APPRENTISSAGE 5e  
ANNEE ModIA****SEMESTRE 9\_5e ANNEE ModIA****Liste d'éléments pédagogiques****Statistique en grande dimension et Apprentissage profond**      3 crédits**Modélisation et éléments finis**      3 crédits**Métamodélisation et assimilation de données 1**      3 crédits**Processus de Poisson et**      4 crédits**applications****Sciences Humaines et Sociales**      3 crédits      41h**Formation en entreprise 3**      14 crédits**SEMESTRE 10\_5e ANNEE ModIA****Liste d'éléments pédagogiques****Métamodélisation et assimilation de données 2**      3 crédits**Calcul Scientifique Haute performance**      3 crédits**Apprentissage sous contraintes physiques**      3 crédits      59h**Systèmes de confiance**      3 crédits**Technologies pour l'Intelligence Artificielle (IAF)**      3 crédits**Formation en entreprise 4**      15 crédits

## Eléments de modélisation statistique

### Présentation

#### Description

Programme (contenu détaillé) :

- Tests non paramétriques : fonction de répartition empirique, test de Kolmogorov d'adéquation, tests de comparaison de deux échantillons (Kolmogorov-Smirnov et test de Wilcoxon), tests de normalité (Kolmogorov et Shapiro-Wilk),
- Tests du khi-deux d'ajustement, d'adéquation à une famille de loi, d'indépendance et d'homogénéité,
- Modèle linéaire : estimation des paramètres (modèle régulier et singulier sous contraintes d'identifiabilité), intervalle de confiance pour les paramètres, intervalle de confiance pour la réponse moyenne, intervalle de prédiction, test de Fisher de sous-modèle, sélection de variables.

Régression linéaire, ANOVA à un et deux facteurs, ANCOVA,

- Planification expérimentale : plans fractionnaires, continus et mixtes. Plans optimaux.
- Modèle linéaire généralisé : inférence statistique, sélection de variables.

Régression logistique, modèle log-linéaire.

modèle linéaire généralisé, et leur utilisation pour la modélisation statistique

L'étudiant devra être capable de :

- Choisir une procédure de test adaptée au problème posé
- Construire les tests statistiques non paramétriques pour l'ajustement, l'adéquation à une famille de lois, l'indépendance ou la comparaison de deux populations
- Choisir le bon type de modèle linéaire ou modèle linéaire généralisé adapté à un problème donné
- Estimer les paramètres d'un modèle linéaire et d'un modèle linéaire généralisé
- Utiliser des tests statistiques pour valider ou invalider des hypothèses sur les modèles linéaires et modèles linéaires généralisés
- Mettre en place une stratégie de sélection de variables
- Réaliser une analyse statistique complète sur des jeux de données réelles à l'aide d'un modèle linéaire et/ou d'un linéaire généralisé

### Pré-requis nécessaires

Probabilités et statistique (I2MIMT31)  
Statistique (I3MIMT15)

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- L'utilisation de tests statistiques pour l'ajustement, l'indépendance ou la comparaison de deux populations
- Les caractéristiques d'un modèle linéaire et d'un

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

## Optimisation

# Présentation

## Description

Programme (contenu détaillé) :

- Eléments d'analyse convexe: convexité, semi-continuité inférieure, notion de sous-différentiel, éléments d'analyse pour l'algorithmie (fonctions à gradient Lipschitz, forte convexité, conditionnement)
- Conditions d'optimalité (conditions de Karush Kuhn Tucker, conditions suffisantes de second ordre)
- Dualité Lagrangienne
- Algorithmes pour l'optimisation différentiable sans contrainte et lien avec les EDO : généralités sur les méthodes de descente, algorithmes du gradient, algorithmes de Newton et quasi-Newton. Etude de convergence et vitesse de convergence en fonction de la géométrie des fonctions à minimiser.
- Algorithmes pour l'optimisation différentiable avec contrainte : SQP, méthodes de pénalisation, Lagrangien augmenté.
- Optimisation convexe : comment la convexité permet d'améliorer les vitesses de convergence des algorithmes.
- Algorithmes inertIELS, accélération de Nesterov. Algorithmes de sous-gradient. Notion d'opérateur proximal, régularisation de Moreau, algorithmes proximaux. Méthodes de splitting: algorithme Forward Backward et accélération à la Nesterov (FISTA). Etude de convergence et vitesse de convergence sur la classe des fonctions convexes.

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Les conditions d'existence et d'unicité des solutions d'un problème d'optimisation (optimisation différentiable sous contrainte, optimisation convexe non différentiable).
- Les conditions d'optimalité: points de Karush Kuhn Tucker dans le cas différentiable avec contraintes, CNS d'optimalité en optimisation convexe sans contrainte.
- Le principe de la dualité: dualité Lagrangienne, dualité de Fenchel-Rockafellar
- Les algorithmes de type gradient et Newton, et leurs résultats de convergence, les algorithmes classiques de l'optimisation sous contrainte:
- Le principe général des algorithmes inertIELS: accélération des algorithmes de gradient, généralisation au cas composite.

L'étudiant.e devra être capable de :

- Interpréter le comportement d'un algorithme comme discréétisation d'un système dynamique.
- Identifier des classes de problèmes d'optimisation et proposer des algorithmes adaptés en fonction de la géométrie des fonctions à minimiser.
- Mettre en œuvre et calibrer numériquement ces algorithmes.

## Objectifs

## Pré-requis nécessaires

Bases du calcul différentiel et de l'algèbre linéaire.

Cours d'optimisation de 3ème année MIC

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

## EDP2

# Présentation

## Description

Modélisation par EDP (équations non linéaires et en une dimension d'espace)

1. Ecologie, Dynamique des populations, Epidémiologie (modèles de réaction-diffusion)
2. Trafic Routier, Ecologie (feux de forêt) (modèles de transport non linéaires)
3. Phénomènes ondulatoires (équations elliptiques)

Problèmes elliptiques : analyse et simulation

1. Formulation variationnelle : solutions faibles, dérivée faible, espaces de Sobolev
2. Méthode des éléments finis (en dimension 1 d'espace) : méthode de Galerkin, éléments P1 et P2, convergence et estimation d'erreur, propriétés qualitatives.

Problèmes hyperboliques : analyse et simulation

1. Méthode des caractéristiques, Solutions Faibles, chocs en temps fini, principe du maximum
2. Méthode des volumes finis (en dimension 1 d'espace) : schémas centrés, décentrés, principe du maximum discret, méthodes d'ordre 1 et 2.

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Les principaux modèles d'EDP pour la modélisation de phénomènes en biologie, épidémiologie, écologie,

physique et sciences de l'ingénieur.

- Les notions de dérivée faible et solutions faibles et les formulations variationnelles associées
- Les méthodes des éléments finis et des volumes finis : formulation, implémentation et convergence

L'étudiant.e devra être capable de :

- Écrire une formulation variationnelle d'un problème d'équations elliptiques
- Mettre en œuvre une méthode d'éléments finis en une dimension d'espace
- Resoudre des équations de transport scalaire par méthode des caractéristiques.
- Mettre en œuvre une méthode de volumes finis pour les équations hyperboliques en une dimension d'espace

Liste des compétences :

- 1\_1 Maîtriser les concepts mathématiques et les outils calculatoires de l'ingénieur
- 1\_3 Mettre en place un raisonnement scientifique rigoureux et développer la capacité d'abstraction
- 2\_1 Maîtriser les outils fondamentaux de l'ingénieur mathématicien
- 2\_2 Mettre en œuvre et valider des modèles mathématiques avancés et des solutions numériques adaptées
- 3\_1 Formuler et modéliser des problèmes notamment dans les systèmes complexes

## Pré-requis nécessaires

Cours Équations différentielles ordinaires : modélisation par EDO, existence de solutions, étude qualitative, simulation numérique (convergence, stabilité, ordre de convergence)

Cours Introduction EDP1 (équations linéaires, résolution

explicite, méthode des différences finies)

---

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

---

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

## Probabilités avancées

# Présentation

## Description

Programme (contenu détaillé) :

- Espérance conditionnelle, filtration, martingale, surmartingale et sous-martingale, théorèmes de décomposition de Doob, d'arrêt, variation quadratique, inégalités maximales, théorèmes de convergence, loi des grands nombres et théorème central limite pour les martingales, estimation paramétrique par maximum de vraisemblance dans des modèles markoviens.
- Présentation des algorithmes de type Robbins-Monro et liens avec résultats classiques (Loi des Grands Nombres), Lemme de Robbins-Siegmund, Théorèmes de convergence de Robbins-Monro, Applications à différents problèmes (algorithme du bandit, quantile, quantification, Régression linéaire en grande dimension).
- Estimation de paramètres dans un modèle ARMA Gaussien.
- Algorithmes Stochastiques de Robbins Monro

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Le conditionnement, la filtration de l'information, les propriétés principales des martingales ainsi que quelques-unes de ses utilisations en modélisation.
- La mise en oeuvre d'algorithmes stochastiques de type Robbins-Monro.

L'étudiant devra être capable de :

- Calculer une espérance conditionnelle, montrer qu'un

processus aléatoire est une martingale, utiliser les théorèmes de décomposition de Doob, d'arrêt et de convergence des martingales, en particulier pour l'estimation paramétrique par maximum de vraisemblance.

- Construire et étudier la convergence d'algorithmes d'optimisation de type descente de gradient « randomisée », mettre en application sur des exemples (quantile, quantification optimale,...)

## Pré-requis nécessaires

Probabilités et statistiques (2MIC S4)

Probabilités et Analyse de Données (3MIC S5)

Compléments de probabilités (3MIC-MA S5)

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

 Toulouse

# Calcul haute performance, Outils et méthodes de développement informatique

## Présentation

### Description

Programme (contenu détaillé) :

HPC

- Calcul de valeurs propres pour des grands systèmes (2 CM, 1 TP)
- Architecture des machines : unités de calcul et typologie (CPU, GPU et autres), hiérarchie de la mémoire cache, réseaux d'interconnexion, principes de localité spatiale et temporelle, vectorisation, etc ...
- Parallélisation : degrés de parallélisme (loi d'Amdahl, scalabilité, etc.), paradigme à mémoire partagé avec OpenMP, paradigme à mémoire distribuée avec MPI, principes de réduction, de data race, etc ... (4 CM, 3 TP)

Outils et méthodes informatiques

- Outils et méthodes de développement informatique : projet souhaitablement interdisciplinaire mettant en œuvre une logique de gestion de projet informatique : méthodes et outils de gestion de projet agile, méthodes et outils de génie logiciel (conception et production orientée objet, algorithmique avancée), outils collaboratifs, outils d'aide à la programmation, outils d'intégration continue. L'acquisition des connaissances nécessaires à la mise en œuvre des outils et méthodes se fera en autoformation à travers une série de micromodules fournis (méthode agile, Monday, Teams, Trello, GitLab, Linter, Mattermost, Jira, etc.). (1TP, 1 projet tutoré)

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Concepts généraux de gestion de projet et de développement informatique collaboratif
- Concepts généraux du calcul haute performance avec techniques de parallélisation.
- L'approximation de Galerkin d'un problème aux valeurs propres, les espaces de Krylov et la procédé d'Arnoldi

L'étudiant.e devra être capable de :

- Structurer un projet de développement informatique selon ses principales dimensions et une méthode agile : organisation et comitologie, dimensionnement, planification, sprints et jalons principaux, chaîne d'outils de développement collaboratif et d'intégration continue, communication, documentation
- Connaitre le vocabulaire du calcul haute performance et de connaître les éléments de base de la parallélisation.
- Mettre en œuvre la méthode d'Arnoldi pour le calcul de valeurs propres extrêmes d'une matrice

### Pré-requis nécessaires

- Langages de programmation C et Python.
- Méthode de Krylov : Méthode de la puissance et méthode QR (2A)
- Informatique : algorithmique de base, langages de programmation

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

## Qualité Santé et Environnement

### Présentation

#### Description

Programme (contenu détaillé) :

- QSE spécifique : Maîtrise statistique des procédés (MSP) ; Notions de métrologie ; capacité d'un procédé ; cartes de contrôle ; le système MSP dans l'entreprise.
- Sécurité et santé au travail : notions de risques, évaluation, prévention, protection.
- Notions de sécurité informatique : bases de la cryptographie ; certificats électroniques ; protocole https ; signature digitale.

#### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Les principaux concepts et outils « qualité »
- Les principes et les enjeux de la santé et de la sécurité au travail
- Les principaux concepts de la sécurité informatique

L'étudiant.e devra être capable de :

- Intégrer les aspects Qualité, Sécurité, Environnement dans l'analyse des problèmes et le développement des solutions

cours de Probabilités et Statistique de 2MIC et le cours de Statistique inférentielle de 3MIC.

#### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

#### Infos pratiques

#### Lieu(x)

 Toulouse

#### Pré-requis nécessaires

Pour la partie maîtrise statistique des procédés, le

## Reading Seminar (ou CBL)

# Présentation

## Description

Programme (contenu détaillé) :

Au cours du Reading Seminar, les étudiant.e.s travailleront sur différentes ressources bibliographiques (articles de recherche, livres, ressources numériques) afin de préparer le projet Recherche Innovation du S8. Leur objectif sera de comprendre en profondeur certains résultats mathématiques ou de reproduire certaines expériences numériques proposées dans les articles. Ils produiront une synthèse expliquant leur travail de manière pédagogique et selon un cahier des charges précis (résumé, citations, éléments de preuves, énoncé de résultats, production de graphiques).

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Principes et fonctionnement d'un environnement de travail collaboratif
- Conduite de projet (PERT, GANTT, WBS)
- Autoévaluation des résultats obtenus en regard des objectifs.

L'étudiant.e devra être capable de :

- Produire une synthèse des résultats d'un article de recherche
- Effectuer une recherche bibliographique pertinente pour approfondir la compréhension d'un résultat mathématique (théorique ou numérique)
- Travailler de manière collaborative en petit groupe

- Utiliser les outils collaboratifs bibliographiques et numériques

L'étudiant devra être capable de :

- 1) Mettre en œuvre numériquement la FFT et comprendre le résultat d'une FFT.
- 2) Faire le traitement d'un signal ou d'une image via la FFT.

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

 Toulouse

## Finance

### Présentation

#### Description

Le diagnostic financier : Analyse du Bilan. Equilibre financier. Analyse du Compte de Résultat. La capacité d'autofinancement. Ratios.

Décision d'investissement : les Flux Nets de Trésorerie et critères de choix avec ou sans actualisation basés sur la rentabilité économique d'un investissement.

#### Objectifs

Être capable de porter un jugement critique sur la santé financière d'une entreprise et d'apprécier la rentabilité d'un investissement.

#### Pré-requis nécessaires

Cours de gestion financière de 3<sup>e</sup>A (connaissance des états financiers de l'entreprise, Bilan et compte de résultats)

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

 Toulouse

# Stratégie d'entreprise responsable

## Présentation

### Description

Les ressources du module de stratégie d'entreprise responsable sont 100% en ligne dans Moodle

Les grands axes étudiés sont les suivants :

Réflexion sur l'ingénieur de demain

Définitions, enjeux et limites de la stratégie d'entreprise conventionnelle

La connaissance des marchés

Concevoir et développer une offre durable

Construire une politique de prix juste

Élaborer une communication responsable et efficace

## Objectifs

A la fin de ce cours, les étudiants seront capable de :

- Réaliser un diagnostic du marché et de l'entreprise pour prendre des décisions et se fixer des objectifs stratégiques
- Mobiliser les connaissances sur le marché pour mettre

en œuvre un plan d'action stratégique responsable au regard des enjeux écologiques, économiques et sociaux.

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

 Toulouse

LV2

## Présentation

---

### Description

---

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

---

### Infos pratiques

---

#### Lieu(x)

 Toulouse

## APS (Activités physiques et sportives)



ECTS

1 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

Toulouse

## Machine learning

# Présentation

## Description

Programme (contenu détaillé):

- Introduction à l'apprentissage machine
- Estimation du risque (ou erreur de généralisation), Optimisation du compromis biais / variance
- Sélection de modèles et sélection de variables via des critères pénalisés : CP de Mallows, BIC, Ridge, Lasso
- Analyse discriminante linéaire et quadratique, k plus proches voisins.
- Arbres binaires de classification et de régression (CART)
- Agrégation d'arbres, forêts aléatoires
- Support Vector Machine et Support Vector Regression
- Réseaux de neurones, perceptron multicouches, algorithme de rétropropagation du gradient, algorithmes d'optimisation, introduction à l'apprentissage profond.
- Algorithmes de boosting
- Imputation de données manquantes.
- Biais des algorithmes
- Cadre juridique et impacts sociétaux de l'IA.

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Les propriétés des principales méthodes d'apprentissage et leurs limites.
- Le principe du compromis biais-variance, de la sélection de modèles

- Les algorithmes et les méthodes d'estimation d'un risque (validation croisée, bootstrap..)
- L'optimisation et l'implémentation des principales méthodes en R et Python (Scikit-learn).
- Les principes éthiques et juridiques de l'Intelligence Artificielle.

L'étudiant.e devra être capable de :

- Analyser des jeux de données issus de divers domaines (météorologie, industrie, IoT ...) avec les librairies de R et Python.
- Mettre en œuvre les principales méthodes et exécuter les algorithmes d'apprentissage suivants : analyse discriminante, k plus proches voisins, arbres de classification et de régression, forêts aléatoires, réseaux de neurones, SVM, boosting.
- Optimiser les valeurs des hyper-paramètres, automatiser la chaîne des traitements.
- Optimiser la gestion des données manquantes.
- Déceler les failles légales ou éthiques (biais, discrimination, opacité) des algorithmes d'apprentissage automatique.

## Pré-requis nécessaires

Éléments de Modélisation statistique

Introduction aux langages R et Python

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes :

examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit,  
évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

## Signal

# Présentation

## Description

Définition des espaces multirésolution, des bases d'ondelettes, des moments. Théorème de Mallat-Meyer, Théorème d'approximation des fonctions régulières par morceaux par des bases d'ondelettes orthogonales. Bases rondelettes en 1D et en 2D, algorithme de transformée en Ondelettes. Applications numériques à l'approximation au débitage d'images et à l'inpainting (reconstruction d'images à partir de contenus lacunaires).

## Objectifs

Les étudiants doivent comprendre ce qu'est la transformée en ondelettes d'un signal et d'une image. Ils doivent être capable d'implémenter de telles transformées en Python et appliquer ces transformées à des problèmes simples de traitement d'images comme le débruitage et l'inpainting. Ils doivent comprendre le théorème de Mallat Meyer, la définition du moment d'une ondelette et être capable d'utiliser une base d'ondelettes adaptée au problème qu'ils doivent résoudre.

hilbertienne.

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

 Toulouse

## Pré-requis nécessaires

Transformée de Fourier et série de Fourier, analyse

## Projet Recherche Innovation

### Présentation

L'étudiant travaillera sur un problème de mathématiques appliquées et mettra en oeuvre les quatre grandes compétences de l'ingénieur(e) mathématicien(ne):

- Reformuler un besoin utilisateur pour en produire un problème qu'on peut traiter mathématiquement
- Analyser et concevoir une solution implémentable numériquement au problème mathématique posé
- Implémenter la solution numérique pour en faire un démonstrateur
- Exploiter la solution technique et numérique pour produire un outil d'aide à la décision (une étude ou un code de calcul) répondant au besoin utilisateur

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Principes de la modélisation mathématique d'un problème applicatif en relation avec une autre discipline ou un secteur industriel particulier
- Autoévaluation des résultats obtenus en regard des objectifs.

L'étudiant.e devra être capable de :

- Interagir avec un spécialiste ou un ingénieur d'une autre discipline
- Organiser le travail collaboratif en petit groupe
- Définir le cadre et le cahier des charges d'un problème original de modélisation mathématique

- Conduire les recherches bibliographiques nécessaires à sa résolution
- Développer le modèle déterministe et / ou stochastique adapté à sa résolution
- Mettre en œuvre sa résolution numérique
- Rendre compte par écrit et à l'oral des résultats obtenus

### Pré-requis nécessaires

Mathématiques Appliquées L3/M1

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

 Toulouse

## Eléments Finis et réduction de Modèles

### Présentation

#### Description

- \* Analyse d'EDP elliptiques linéaires: solution faible vs solution forte, espaces de Sobolev, théorie de Lax-Milgram, estimations a-priori. Conditions aux bords. Lien avec minimisation de l'énergie (cas symétrique).
  - \* Principes de la méthode des Éléments Finis : discréétisation, approximation, structure de données, implémentation. Analyse d'erreur a-priori. Courbes de convergence, validation codes de calcul.
  - \* Modèles instationnaires: discréétisation spatio-temporelle.
  - \* Modèles non linéaires: linéarisation(s).
  - \* Terme de transport: stabilisation (SD, SUPG).
  - \* Reduction de modèles:
    - Cas linéaires: bases réduites POD.
    - Cas non linéaires: approches hybrides POD-Machine Learning.
- \* Multiples TP Python-FEniCS et FreeFEM++.

#### Objectifs

L'étudiant devra être capable de :

- Écrire la forme variationnelle (faible) des modèles classiques d'EDP, et expliciter le lien avec l'énergie minimisée.
- Programmer un schéma Éléments Finis et les systèmes correspondants.
- Utiliser une bibliothèque de calcul Éléments Finis tel que FEniCS (Python) ou FreeFEM++.
- Simuler divers phénomènes classiques omni-présents en physique ou propagation d'information (diffusion,

convection, linéaire ou non).

#### Pré-requis nécessaires

Modèles d'EDP de base, analyse mathématique. Méthodes et analyse numérique de base.

#### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

#### Infos pratiques

##### Lieu(x)

 Toulouse

# Méthodes Mathématiques pour la Mécanique

 ECTS

 Volume horaire

55h

## Présentation

### Description

Programme (contenu détaillé) :

Notions fondamentales de mécanique des milieux continus : (5CM+4TD)

- Propriétés physiques des fluides et des solides.
- Formulations lagrangiennes et eulériennes
- Tenseur des déformations, des vitesses de déformation et des contraintes
- Établissement des équations générales de la dynamique d'un milieu continu déformable

Modélisation et calcul numérique en mécanique des fluides : (8CM+4TD+3TP)

- Dynamique des fluides visqueux incompressibles
- Dynamique des fluides parfaits incompressibles, écoulements potentiels
- Introduction à la méthode des volumes finis (MVF) pour les fluides visqueux incompressibles
- Mise en œuvre en PYTHON de la MVF sur un problème simple
- Utilisation du logiciel industriel FLUENT pour modéliser et calculer la solution de quelques problèmes 2D (cavité entraînée, écoulement autour d'un profil d'aile)

Modélisation et calcul numérique en mécanique des structures :

(5CM+2TD+5TP)

- Formulation variationnelle et lien avec la minimisation d'énergie pour le problème d'élasticité.

- Résolution numérique de l'élasticité par les éléments fins.

- Modélisation et calcul de problèmes élastiques en statique et en dynamique (2D et 3D) au travers d'un logiciel industriel de calcul de structures (ABAQUS).

- Couplage multi-échelle de modèles et de codes de calcul

- Élaboration de codes python pour le calcul de la concentration de contrainte et de la propagation locale d'une fissure dans un solide.

- Calcul de structures piloté par les données.

- Introduction du concept et application sur un exemple 2D de treillis.

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

Les notions essentielles permettant d'appréhender, du point de vue mathématique et numérique, et tout en sachant le sens physique de chaque terme, le système d'équations régissant le comportement d'un fluide et d'un solide déformable.

L'étudiant.e devra être capable de :

- Connaître les principaux modèles utilisés en mécanique de milieux continus.
- Calculer des solutions exactes de problèmes simples et savoir les interpréter physiquement.
- Évaluer des ordres de grandeur.

- Formuler et résoudre le problème de la dynamique d'un écoulement incompressible à l'aide de la méthode des volumes finis.
- Formuler et résoudre le problème de l'élasticité à l'aide la méthode des éléments finis.
- Utiliser un logiciel industriel pour modéliser et calculer le problème d'élasticité en statique et en dynamique, et quelques problèmes de mécanique des fluides, pour des écoulements incompressibles et compressibles.
- Écrire et implémenter une formulation mixte pour le couplage de domaines élastiques et de codes utilisés en mode boites noires.
- Appréhender le paradigme du calcul mécanique piloté par les données (sans modèle).

## Lieu(x)

 Toulouse

---

## Pré-requis nécessaires

Notions de base de :

- Mécanique du point (forces, lois de Newton, énergie cinétique, énergie potentielle)
- Cours modélisation par équations aux dérivées partielles de 4A (méthode des éléments finis en 1D, méthode des volumes finis en 1D)
- Cours d'analyse 1 et cours d'électrostatique (1A) : Calcul différentiel et intégral pour les fonctions de plusieurs variables (gradient, jacobienne, théorème d'Ostrogradsky ?)

---

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

---

## Infos pratiques

## Analyse des données

# Présentation

## Description

Programme (contenu détaillé) :

- Introduction à l'exploration de données.
- Syntaxe et objets de R et Python, écriture de fonctions, programmation objet et fonctionnelle (Python).
- Méthodes factorielles : rappel de l'analyse en composantes principales (ACP). Variantes de l'ACP pour les données qualitatives (analyse des correspondances), la classification supervisée (analyse linéaire discriminante), les données définies par des distances (positionnement multidimensionnel), le passage au non-linéaire (ACP à noyau).
- Méthodes de clustering : rappel des méthodes de base (k-means, classification hiérarchique). Modèles de mélange et algorithme EM. Découpe en communauté ou clustering de graphes.
- Factorisation non négative de matrices et introduction aux méthodes de recommandation

- Interprétation statistique des différents types de représentations graphiques en analyse factorielle et classification.

L'étudiant.e devra être capable de :

- Gérer des jeux de données avec R et Python
- Conduire l'analyse exploratoire de données : méthodes uni, bi et multivariées (ACP, AFCM, AFD, NMF, modèles de mélange,...) adaptées à la structure des données.
- Déceler des structures particulières dans des jeux de données complexes et en faire l'interprétation.

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Organisation et préparation des données avec R et Python. Syntaxe des langages R et Python, fonctions de leurs principales librairies ;
- Exploration statistique de données multidimensionnelles, réduction de dimension et classification automatique avec R, Python.

## Pré-requis nécessaires

Algèbre linéaire : diagonalisation de matrices, décomposition en valeurs singulières  
Analyse en composantes principales  
Clustering : méthode k-means et clustering hiérarchique

## Evaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

## Lieu(x)

 Toulouse

# Processus Stochastique

## Présentation

### Description

Programme (contenu détaillé) :

#### Séries temporelles

- Introduction et Analyse descriptive : Décomposition d'une série temporelle, Estimation et élimination de la tendance et de la saisonnalité
- Modélisation aléatoire des séries temporelles : processus stochastique, processus du second ordre, stationnarité, fonction d'autocovariance et d'autocorrélation
- Statistique des processus stationnaires du second ordre : Estimation des moments, prévision linéaire optimale, autocorrélation partielle, Test de blancheur des résidus.
- ARMA and ARIMA Models : polynômes en séries en B et inversion, Processus AR, Processus MA, processus ARMA et ARIMA.

Les TP seront effectués avec le logiciel R

Processus de Poisson et application à la fiabilité et à l'actuariat:

#### 1ère partie : Fondations théoriques

- Lois de probabilités en fiabilité, taux de hasard, loi sans mémoire
- Introduction aux processus de Poisson homogènes : définitions, propriétés fondamentales et méthodes de simulations
- Statistique inférentielle pour les processus de Poisson homogènes (vraisemblance, estimation ponctuelle, intervalles de confiance et tests sur l'intensité)
- Introduction aux processus de Poisson inhomogènes : définition, constructions, propriétés fondamentale, méthodes de simulations et vraisemblance

#### 2ème partie : Approfondissement par projets

Application et illustration des différents aspects des processus de Poisson sur des données réelles et/ou simulées en fiabilité ou en actuariat (ex: modèle de Cramér-Lundberg)

Le TP et les projets seront également effectués avec le logiciel R

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

#### Séries temporelles

- Tendance et saisonnalité d'une série temporelle
- Définitions et propriétés des processus stationnaires
- L'autocovariogramme et les autocorrélogrammes (total et partiel) d'un processus stationnaire
- Les modèles ARMA et ARIMA

Processus de Poisson et application à la fiabilité et à l'actuariat

- Définition et propriétés de base des processus de Poisson homogènes et inhomogènes
- Statistique inférentielle pour les processus de Poisson homogènes

L'étudiant.e devra être capable de :

#### Séries temporelles

- Estimer ou éliminer la tendance et/ou la saisonnalité sur une série temporelle
- Etudier la stationnarité d'une série temporelle
- Calculer et estimer l'autocovariogramme et les autocorrélogrammes (total et partiel) d'un processus stationnaire
- Etudier et/ou ajuster un modèle ARMA (ou ARIMA) sur une série temporelle stationnaire

- Mener une prévision linéaire optimale sur un processus stationnaire de type ARMA
- Mettre en pratique à l'aide du logiciel R

Processus de Poisson et application à la fiabilité et à l'actuariat

- Connaître et avoir compris les fondamentaux de la théorie des processus de Poisson (homogène ou inhomogène)
- Estimer l'intensité d'un processus de Poisson homogène et construire des intervalles de confiance et des tests pour cette intensité (en théorie et en pratique à l'aide du logiciel R)
- Simuler un processus de Poisson (homogène et inhomogène) par différentes méthodes
- Modéliser la récurrence des pannes en fiabilité, ou des sinistres en actuariat, à l'aide de processus de Poisson

---

## Pré-requis nécessaires

- Probabilités et Statistique (2MIC)
- Probabilités et Analyse de données (3MIC)
- Statistique inférentielle (3MIC)
- Éléments de modélisation statistique (4MA)

---

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

---

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

LV1

## Présentation

### Description

- Pratique individuelle : chaque étudiant(e) construit son projet de formation, en lien avec la structure d'enseignement artistique de son choix.
- Pratique collective : les étudiant(e)s participent à des ateliers proposés dans le cadre des filières musique, danse et théâtre, encadrés par des artistes professionnels et en relation étroite avec la création et la diffusion.
- Parcours pour la Découverte Artistique et Culturelle : les étudiant(e)s assistent à plusieurs événements culturels (spectacle, concert, exposition,...) encadrés par deux temps : celui de la préparation, en amont, grâce à des rencontres avec des artistes ou des techniciens, des conférences, l'accès à des répétitions et celui de l'échange après l'événement pour exprimer et partager le ressenti avec l'ensemble du groupe.

### Objectifs

Mener de front des études d'ingénieur et une pratique artistique individuelle et collective

### Pré-requis nécessaires

Admission dans une des trois filières artistiques :

- Musique : justifier a minima de 5 ans de pratique instrumentale ou vocale régulière et d'une autonomie suffisante pour participer aux différents projets collectifs
- Danse et Théâtre : pas de prérequis

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

 Toulouse

## Prospective et imaginaires du futur

### Présentation

#### Description

Le programme est construit autour d'un projet mené en groupe par les étudiants. A partir d'un sujet de prospective, les étudiants organisent et participent à des ateliers de prospective. Ils produisent ensuite plusieurs scénarios, qu'ils soumettent à la discussion à l'occasion d'un forum de prospective. Les débats engendrés les accompagnent dans la formulation de leurs préconisations.

Des TD complémentaires enrichissent la réflexion des étudiants, avec des apports sur les récits et les imaginaires, l'éthique et la philosophie, ainsi que la géopolitique et l'interculturel.

#### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra être capable de

- s'engager dans une démarche prospective, dans une approche complexe et systémique
- mener une réflexion éthique, critique et réflexive, adaptée à la démarche prospective
- développer une communication professionnelle

#### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

 Toulouse

## APS

## Présentation

## Description

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

## Lieu(x)

 Toulouse

## PPI

## Présentation

### Description

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

 Toulouse

# Modélisation et Calcul Scientifique



ECTS

4 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

Programme:

Partie 1 : Rappels de calcul différentiel – CM : 2,5h, TD : 1,25h

- DL d'une fonction de plusieurs variables, gradient, matrice jacobienne, matrice hessienne, opérateur Laplacien ...
- Dérivation des fonctions composées
- Formule de Green-Ostrogradsky, intégration par partie pour les fonctions de plusieurs variables

Partie 2 : Equations différentielles (EDO) – CM : 3,75h - TD : 3,75h - TP : 7,5 h

- Exemples de problèmes de physique, biologie, économie.. modélisés par des edo ou des systèmes d'edo
- Notions théoriques essentielles sur les edo : existence et unicité locale et globale, stabilité
- Méthodes numériques pour les edo : méthodes de Runge-Kutta, méthodes multipas, cas des systèmes raides

Partie 3 : Equations aux dérivées partielles (EDP) – CM : 17,5h – TD : 7,5 h – TP : 12,5 h

- Exemples de problèmes de physique, biologie, économie.. modélisés par des edp ou des systèmes d'edp (linéaires et non-linéaires)
- Classification et notions théoriques essentielles sur les EDP linéaires du 1er et du 2nd ordre en espace et en temps : existence, unicité, estimation d'énergie,

principe du maximum, valeur propre, mode propre, solution exacte par la méthode de Green et la méthode de décomposition modale

- Introduction aux méthodes de Différences Finies et Volumes Finis sur quelques problèmes modèles. Applications à travers des TP

Partie 4 : Projet sur la résolution numérique d'un modèle EDP. TD : 1,25h, TP : 5h

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Comment modéliser un problème de physique, biologie, économie, etc. par un système d'edo ou d'edp
- Comment résoudre numériquement un tel problème dans des cas simples

L'étudiant devra être capable de :

- de modéliser un problème via des edo ou des edp
- de classer les problèmes selon leur structure mathématique et de choisir les méthodes de résolution numérique appropriées
- de mettre en œuvre (en PYTHON ou JULIA) ces méthodes numériques

### Pré-requis nécessaires

Cours d'analyse et d'algèbre linéaire de premier cycle.

Notions de base de Physique  
Langage PYTHON

---

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

---

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

# Éléments de modélisation statistique



ECTS

3 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

- Tests non paramétriques : fonction de répartition empirique, test de Kolmogorov d'adéquation, tests de comparaison de deux échantillons (Kolmogorov-Smirnov et test de Wilcoxon), tests de normalité (Kolmogorov et Shapiro-Wilk)
  - Tests du khi-deux d'ajustement, d'adéquation à une famille de loi, d'indépendance et d'homogénéité
  - Modèle linéaire : estimation des paramètres (modèle régulier et singulier sous contraintes d'identifiabilité), intervalle de confiance pour les paramètres, intervalle de confiance pour la réponse moyenne, intervalle de prédiction, test de Fisher de sous-modèle, sélection de variables. Régression linéaire, ANOVA à un et deux facteurs, ANCOVA
  - Modèle linéaire généralisé : inférence statistique, sélection de variables
- Régression logistique, modèle loglinéaire

Les TP et le projet seront effectués avec le logiciel R.

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Le principe des tests statistiques non paramétriques pour l'ajustement, l'adéquation à une famille de lois,

l'indépendance ou la comparaison de deux populations  
-Les caractéristiques d'un modèle linéaire et d'un modèle linéaire généralisé, et leur utilisation pour la modélisation statistique

L'étudiant devra être capable de :

- Choisir une procédure de test adaptée au problème posé
- Construire les tests statistiques non paramétriques pour l'ajustement, l'adéquation à une famille de lois, l'indépendance ou la comparaison de deux populations
- Choisir le bon type de modèle linéaire ou modèle linéaire généralisé adapté à un problème donné
- Estimer les paramètres d'un modèle linéaire et d'un modèle linéaire généralisé
- Utiliser des tests statistiques pour valider ou invalider des hypothèses sur les modèles linéaires et modèles linéaires généralisés
- Mettre en place une stratégie de sélection de variables
- Réaliser une analyse statistique complète sur des jeux de données réelles à l'aide d'un modèle linéaire et/ou d'un linéaire généralisé

### Pré-requis nécessaires

Probabilités de base : variables aléatoires, lois usuelles, espérance, variance, fonction de répartition, théorèmes limites, vecteurs gaussiens.

Statistique inférentielle: estimateurs des moments et maximum de vraisemblance, intervalles de confiance et tests paramétriques sur la moyenne et la variance pour une population gaussienne et non gaussienne

Bases sur le logiciel R

---

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

---

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

# Optimisation et optimisation Stochastique

 ECTS  
4 crédits

 Volume horaire

## Présentation

### Description

Nous discuterons sur tous les algorithmes des problèmes de complexité : Coût de calcul d'une itération et nombre d'itérations pour arriver à une précision cible.

Le cours se détaille en trois grands thèmes :

L'optimisation non-convexe et différentiable (25 h)

-Globalisation des méthodes (Wolfe)

-Équations du premier ordre : Théorie de KKT

-Méthodes d'ordre 2 : L-BFGS

-Méthodes de gradient projeté

Optimisation stochastique (10 h)

-Optimisation par Batch / Epoch

-Momentum

Optimisation convexe non-lisse (15 h)

-Théorie du sous-gradient, transformée Legendre.

-Algorithmes proximaux (Splitting et Acceleration)

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

-Les outils mathématiques théoriques permettant de

caractériser les minima (ou maxima) locaux et/ou globaux d'une fonction à valeur réelle, avec la prise en compte éventuelle de contraintes sur l'espace des états,

-Les différentes méthodes du premier ordre pour l'optimisation,

-Le calcul du sous-différentiel d'un fonction convexe, et le cas échéant d'un sous-gradient,

-Le calcul de complexité d'un algorithme d'optimisation.

L'étudiant devra être capable de :

-Modéliser et résoudre numériquement un problème d'optimisation avec / sans contrainte.

### Pré-requis nécessaires

Algèbre linéaire ; Calcul différentiel ; Optimisation sans contrainte, Algorithmes de Newton et Gaussi-Newton.

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

## Lieu(x)

 Toulouse

# Analyse des données



ECTS

3 crédits



Volume horaire

62h

## Présentation

### Description

Programme (contenu détaillé) :

- Introduction à l'exploration de données.
- Programmation en R et rédaction d'un rapport avec Rmarkdown
- Méthodes factorielles : rappel de l'analyse en composantes principales (ACP). Variantes de l'ACP pour les données qualitatives (analyse des correspondances), la classification supervisée (analyse linéaire discriminante), les données définies par des distances (positionnement multidimensionnel)
- Méthodes de clustering : K-means et ses variantes, classification hiérarchique, DBSCAN, modèles de mélange et algorithme EM.

L'étudiant devra être capable de :

- Conduire une analyse exploratoire sur un jeu de données avec le logiciel R et rédiger un rapport avec Rmarkdown
- Savoir expliquer et appliquer les méthodes factorielles PCA, MCA, MFA, MDS, LDA
- Savoir expliquer et appliquer les méthodes de clustering Kmeans et ses variantes, classification hiérarchique, DBSCAN et les modèles de mélange.

### Pré-requis nécessaires

Statistiques : statistiques descriptives.  
Probabilités : vecteurs aléatoires, loi de probabilité, formule de Bayes, loi normale multidimensionnelle.  
Algèbre: espaces vectoriels, espaces euclidiens, calcul matriciel, diagonalisation de matrices.  
Géométrie/mécanique : barycentre, inertie, formule de Huygens.

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Exploration statistique de données multidimensionnelles, réduction de dimension et classification non supervisée avec R.
- Interprétation statistique des différents types de représentations graphiques en analyse factorielle et clustering.

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

## Lieu(x)

 Toulouse

## Sciences Humaines S7



ECTS

4 crédits



Volume horaire

45h

## Présentation

### Description

#### Anglais

- Analyse de résumés/articles scientifiques provenant de revues sur l'intelligence artificielle et les mathématiques afin de comprendre la structure et le contenu des résumés/articles, ainsi que les caractéristiques stylistiques/linguistiques de l'anglais scientifique.
- Analyse de posters scientifiques des projets de mathématiques pour comprendre ce qui fait un poster efficace. Les apprentis appliquent ces lignes directrices à leurs propres affiches.
- Révision des compétences de présentation, la prononciation et l'utilisation du vocabulaire technique.
- Compréhension écrite et expression orale à partir de documents (articles, podcasts, vidéos, etc.) relatifs aux enjeux éthiques des applications de l'IA.

#### Droit

- Organisation judiciaire française
- Présentation des principes et des règles de droit régissant les entreprises individuelles et sociétaires.
- Étude de la notion juridique de responsabilité tant civile que pénale.
- Appliquer les règles présentées en cours et résoudre des situations juridiques simples.
- Prendre en compte des paramètres juridiques dans les fonctions d'ingénieur.

#### PPI

- Brainstorming pour définir les compétences clés de

#### l'ingénieur

- État des lieux dans une perspective de stage
- Création du portrait-robot de l'ingénieur que je souhaite devenir
- Présentation du e-portfolio de compétences
- Auto-évaluation de mes compétences
- Co-construction d'un plan d'actions pour gagner en compétences

## Objectifs

#### Anglais

- Sensibiliser aux publications scientifiques.
- Acquérir des connaissances sur les principales caractéristiques stylistiques et linguistiques de l'anglais scientifique et les appliquer.
- Apprendre et appliquer le vocabulaire technique lié aux cours sur l'intelligence artificielle et la modélisation.
- Définir les parties d'un résumé scientifique et écrire un résumé selon les conventions en vigueur.
- Concevoir et présenter un poster scientifique en rapport avec leurs activités techniques dans leurs entreprises.
- Comprendre les enjeux éthiques liés à son domaine.

#### Droit

- Connaitre l'organisation judiciaire française et les principes fondamentaux qui régissent le système judiciaire
- Connaitre les structures juridiques d'entreprise leur fonctionnement
- Appréhender la notion de risque et les responsabilités qui en découlent

## PPI

- Définir les compétences clés de l'ingénieur dans une vision systémique
  - Définir les compétences clés de l'ingénieur au regard de mon propre projet
  - Identifier les compétences attendues, à apporter et à améliorer en stage en entreprise en 4ème année
  - Illustrer mes compétences et expériences associées
- 

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

## Formation en entreprise 1



ECTS

12 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

Toulouse

# Traitement du Signal et Analyse Hilbertienne et Ondelettes

 ECTS  
3 crédits

 Volume horaire  
69h

## Présentation

### Description

#### I Analyse Hilbertienne

- Espaces de Hilbert, Exemples d'espaces de Hilbert :  $L^2$ ,  $L^2$  à poids
- Approximation : bases hilbertiennes, polynomes orthogonaux.
- Projection sur un convexe, Convergence faible.
- Analyse de Fourier et aspects algorithmique (FFT, Fourier à fenêtre, échantillonnage) : application au traitement du son, traitement des images.

#### II Ondelettes

- Ondelettes de Haar/Analyse MultiRésolution
- Autres types d'ondelettes (1d, 2d) : application au traitement du son et des images
- Transformée en ondelettes, lien coefficient/régularité

-Ondelettes : ondelettes de Haar, lien coefficient régularité

-Approximation de fonctions dans les espaces de Hilbert

L'étudiant devra être capable de :

- Donner des exemples d'espaces de Hilbert
- Exhiber des bases hilbertiennes
- Faire l'analyse de Fourier d'un signal mono et bidimensionnel
- Utiliser et analyser les résultats de la FFT
- Utiliser et analyser les résultats d'une transformée en ondelette
- Comprendre la décomposition d'une fonction selon une base d'ondelette.

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Analyse Hilbertienne : définition, bases hilbertiennes, projection sur un convexe, analyse de Fourier.

## Pré-requis nécessaires

Python: librairie de base numpy, scipy, matplotlib  
Analyse de Fourier Analysis: Séries de Fourier  
Transformée de Fourier, espace  $L^2$ .

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

# Infrastructure pour le Cloud et le Big Data



ECTS

3 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

Le but est d'introduire aux étudiants les technologies logicielles permettant le déploiement et l'exécution de calculs dans des infrastructures de type cluster (grappes de machines). De telles infrastructures sont très largement utilisées dans les domaines du cloud computing où des datacenters permettent l'hébergement externalisés de services, du big data et du machine learning pour le traitement et l'exploitation de grands volumes de données.

La première partie aborde les concepts et outils liés au cloud computing tels que la virtualisation (KVM), les conteneurs (Docker), les outils d'administration (OpenStack, Kubertenes) et les principaux services fournis par les opérateurs du cloud (AWS).

La seconde partie aborde les concepts et outils liés au big data tels que le traitement parallèle de données massives (Hadoop, Spark) et le traitement temps réel de données (Spark-streaming, Storm).

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Concepts généraux des infrastructures de calcul du cloud et du big data

- Principes des infrastructures virtualisées
- Les services du cloud
- Les outils d'utilisation des infrastructures du cloud
- Principes des plate-formes de traitement big data (map-reduce, chaînes de filtrages)
- Les environnements de traitement big data (Hadoop, Spark, Storm)

L'étudiant devra être capable de :

- Utiliser des plate-formes de virtualisation
- Utiliser des plate-formes de cloud
- Programmer des applications big data
- Exécuter des applications big data dans une infrastructure de calcul

### Pré-requis nécessaires

Algorithmique, programmation en Java, environnement Linux (commandes shell).

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

## Lieu(x)

 Toulouse

# Programmation fonctionnelle et Théorie des graphes



ECTS

4 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

- Programmation fonctionnelle :
  - o Fonction et composition de fonctions
  - o Types inductifs
  - o Filtrage
  - o Ordre supérieur
  - o Itérateur
  
- Théorie des graphes :
  - o Définitions et Concepts élémentaires
  - o Connexité
  - o Graphes Eulériens et Hamiltoniens
  - o Planarité et Coloration
  - o Structures de données
  - o Algorithmes de parcours

### Objectifs

Cette UE comporte deux matières liées au développement de logiciels complexes :

- Programmation fonctionnelle : Les applications de collecte d'informations et de calcul sur les réseaux à grande distance ne peuvent pas être programmées sur le modèle classique de la mémoire partagée (état centralisé visible de manière cohérente par l'ensemble des composants de l'application). La programmation fonctionnelle s'appuie sur le modèle « sans état » des

fonctions mathématiques pour éviter ces goulots d'étranglement.

- Théorie des graphes : Les graphes sont des objets mathématiques permettant de modéliser de nombreux problèmes faisant intervenir des données complexes. De nombreux algorithmes et structures de données spécialisés ont été conçus pour les représenter et les exploiter efficacement.

### Pré-requis nécessaires

Utilisation des systèmes informatiques  
Programmation impérative

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

Toulouse

# Machine learning



ECTS

4 crédits



Volume horaire

## Présentation

## Description

## Objectifs

- Sélection de modèles / variables, pénalisation (ridge, lasso, etc.).
- Clustering : modèles de mélange, algorithme EM.
- Méthodes à noyaux (SVM, ACP spectral, etc.).
- Boosting. Xgboost.
- Réseaux de neurones (introduction).
- Apprentissage par renforcement.
- Biais dans les algorithmes et éthique des données.

Remarque : les réseaux de neurones seront approfondis dans l'UF dédiée à l'apprentissage profond. En particulier les réseaux de neurones convolutionnels ne sont pas abordés ici.

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

Toulouse

## Pré-requis nécessaires

- Cours « Science des données »
- Cours « Modèle linéaire généralisé »

# Développer ses compétences managériales

 ECTS  
4 crédits

 Volume horaire

## Présentation

### Description

#### Anglais

- Rédiger un reaction paper (commentaire argumenté), selon les conventions en vigueur, sur un sujet d'actualité.
- Organiser et participer à des debates (joutes oratoires), selon les conventions en vigueur, sur des sujets d'actualité.

#### Management Stratégique

- Analyse des théories managériales ; Porter 5 force analysis, PESTEL analysis, Value Chain analysis, Hofstede cultural dimension, product lifecycle analysis, Kraljic analysis, etc.
- Recherche indépendante, rédaction de 'micro-thèses' et proposition de solutions, restitution sous forme de présentations en groupe.

#### Finance

Jeu sérieux « Challenge » : un jeu ludique de mise en situation sous forme de challenges.

- Niveau avancé axé sur la finance dans le cadre de l'entrepreneuriat, du développement durable et de l'analyse du cycle de vie.
- Identification du rôle de la finance dans les entreprises et dans la prise de décision.
- Prise en compte des paramètres financiers dans les entreprises.
- Analyse et identification du concept de l'actualisation.

### Objectifs

Anglais : Développer son éloquence et ses compétences en communication écrite, orale, en interaction et médiation.

Management Stratégique : Comprendre les enjeux managériaux et développement de la capacité de prise de décision du point de vue des managers.

Finance : Acquérir des connaissances financières avancées liées à l'entrepreneuriat, au développement durable et à l'analyse du cycle de vie ; Identifier le rôle de la finance dans les opérations commerciales et la prise de décision stratégique ; Appliquer efficacement les paramètres financiers dans les processus de gestion et de décision des entreprises.

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

 Toulouse

## Formation en entreprise 2



ECTS

12 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

Toulouse

# Apprentissage en grande dimension et apprentissage profond

 ECTS

 Volume horaire  
40h

## Présentation

### Description

Programme (contenu détaillé) :

Ce cours est dédié aux méthodes d'apprentissage profond pour le traitement de données complexes telles que des signaux, des images ou des données séquentielles (séries temporelles ou données textuelles).

- \* Réseaux de neurones convolutionnels : couche convolutionnelle, pooling, dropout, architecture des réseaux convolutionnels (ResNet, Inception), transfert d'apprentissage, applications à la classification de signaux et d'images et à la détection d'objets.
- \* Encoder-décoder, Auto-encoder variationnels, apprentissage auto-supervisé, apprentissage contrastif, tâches prétexte.
- \* Réseaux récurrents (RNN, LSTM) pour l'analyse de données séquentielles.
- \* Transformers pour le traitement du langage naturel.

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- L'utilisation des algorithmes d'apprentissage profond (réseaux de neurones convolutionnels) pour la classification de données complexes (signaux, images) en grande dimension avec estimation de l'erreur de prédiction
- Les principaux algorithmes de classification de signaux ou d'images
- Les méthodes de réduction de dimension pour des données complexes
- Les réseaux de neurones récurrents pour l'étude de données séquentielles
- L'utilisation des réseaux convolutionnels pour la détection d'objets dans des images
- Les transformers et leur application au traitement du langage naturel.

L'étudiant.e devra être capable de :

- Ajuster des réseaux de neurones profonds pour la classification de signaux ou d'images.
- Utiliser des réseaux de neurones récurrents et des transformers pour le traitement du langage naturel.
- Mettre en œuvre et optimiser les algorithmes d'apprentissage profond sur des données réelles à l'aide de bibliothèques Python.
- Mener des expériences afin de comparer une série de modèles et en choisir le plus approprié pour une tâche donnée.
- Choisir et interpréter les métriques les plus courantes afin d'évaluer les différentes architectures de réseaux de neurones.

### Pré-requis nécessaires

Éléments de Modélisation statistique  
Machine Learning  
Introduction aux logiciels R et Python

---

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

---

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

## Métamodélisation

# Présentation

## Description

Programme (contenu détaillé) :

- \* Introduction : analyse de grands codes de calculs, métamodélisation. Exemples.
- \* Modélisation par processus gaussiens (PG) et krigage. a) Vision probabiliste et fonctionnelle (RKHS) du problème d'approximation. b) Simulation de PG. c) Personnalisation de noyaux de covariance. PG informé par la physique.
- \* Planification d'expériences numériques. a) Plans initiaux : focus sur les plans remplissant l'espace. b) Méthodes adaptatives. Exemple de l'optimisation bayésienne.
- \* Quantification d'incertitudes. a) Propagation d'incertitudes. b) Analyse de sensibilité globale : focus sur la décomposition ANOVA (décomposition de Sobol-Hoeffding)
- \* Étude de cas.

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- \* La métamodélisation pour optimiser / quantifier les incertitudes d'un grand code de calcul, avec un budget de calcul limité
- \* Les processus gaussiens
- \* La personnalisation de noyaux de covariances pour intégrer des informations métier
- \* La planification d'expériences numériques

- \* L'analyse de sensibilité globale

L'étudiant.e devra être capable :

Au plan théorique, de faire des calculs pour :

- \* noyaux de covariance et processus gaussiens
- \* décomposition ANOVA, indices de Sobol

En pratique, de mettre en œuvre la démarche complète d'analyse d'un code de calcul :

- \* planification d'expériences,
- \* construction / évaluation d'un métamodèle,
- \* application à l'optimisation / quantification d'incertitude

## Pré-requis nécessaires

Vecteurs gaussiens (Compléments de probabilités, PO 3MIC)

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

 Toulouse

## Projet RI

# Présentation

## Description

L'étudiant travaillera sur un problème de mathématiques appliquées et mettra en oeuvre les quatre grandes compétences de l'ingénieur(e) mathématicien(ne):

- Reformuler un besoin utilisateur pour en produire un problème qu'on peut traiter mathématiquement
- Analyser et concevoir une solution implémentable numériquement au problème mathématique posé
- Implémenter la solution numérique pour en faire un démonstrateur
- Exploiter la solution technique et numérique pour produire un outil d'aide à la décision (une étude ou un code de calcul) répondant au besoin utilisateur

## Objectifs

L'étudiant.e devra être capable de :

- Interagir avec un spécialiste ou un ingénieur d'une autre discipline
- Organiser le travail collaboratif en petit groupe
- Définir le cadre et le cahier des charges d'un problème original de modélisation mathématique
- Conduire les recherches bibliographiques nécessaires à sa résolution
- Développer le modèle déterministe et / ou stochastique adapté à sa résolution
- Mettre en œuvre sa résolution numérique
- Rendre compte par écrit et à l'oral des résultats obtenus

Liste des compétences :

- 1\_3 Mettre en place un raisonnement scientifique rigoureux et développer la capacité d'abstraction
- 1\_6 Avoir la capacité de trouver l'information pertinente, de l'évaluer et de l'exploiter
- 2\_2 Mettre en œuvre et valider des modèles mathématiques avancés et des solutions numériques adaptées
- 3\_2 Résoudre, de manière analytique ou systémique, un problème posé (décomposer, hiérarchiser, mobiliser des ressources...)
- 3\_3 Être capable d'utiliser des outils numériques génériques (ENT, programmation, travail collaboratif...)
- 4\_1 Maîtriser la communication écrite et orale en entreprise (rapports; compte rendus, synthèse, présentations orales....) en plusieurs langues

## Pré-requis nécessaires

Mathématiques Appliquées L3/M1-M2

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

## Lieu(x)

 Toulouse

## Image

 ECTS

 Volume horaire  
36h

## Présentation

### Description

Programme (contenu détaillé) :

Rappels sur les algorithmes d'optimisation dans un cadre non différentiable (FB et FISTA)  
Introduction au transport optimal : application au transfert de style et de couleur.  
Introduction à l'utilisation des VAE pour le débruitage et l'inpainting.  
Méthodes Plug and Play et Algorithme Unrolling : application à la reconstruction d'images.  
Modèles de diffusion et flow Matching.

déconvolution, l'inpainting, la génération d'images.  
Comprendre l'intérêt du couplage entre les algorithmes d'optimisation et les réseaux de neurones

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

Modéliser d'un problème de traitement d'image sous forme de problème d'optimisation.  
Comprendre les notions d'opérateurs proximaux, de vitesse de convergence d'algorithme.

Comprendre et savoir utiliser les différentes algorithmes d'optimisation convexe.  
Savoir utiliser des réseaux de neurones pour réaliser différentes tâches de traitement des images tels que le transfert de couleur et transfert de style, la

### Pré-requis nécessaires

- Bases de l'algèbre linéaire.
- Principaux algorithmes et principes d'optimisation
- Notions élémentaires en probabilités et statistiques
- Bases en programmation

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

 Toulouse

## Assimilation de données

# Présentation

## Description

-Outils de base pour résoudre les problèmes inverses (avec exemples) : moindres carrés (linéaires, non linéaires), régularisation.

-Principes de l'assimilation de données (variationnelle, séquentielle).

-Analyse bayésienne.

-Équivalences entre le filtre BLUE-Kalman, le MAP et l'assimilation variationnelle dans le cas linéaire-quadratique-gaussien.

-Application à l'identification de modèles en mécanique expérimentale : (i) calcul des mesures à partir de l'enregistrement d'images et (ii) assimilation de données pour calibrer les lois constitutives.

-Contrôle optimal des EDO. Cas linéaire-quadratique, principe du maximum, hamiltonien.

Petit TP : contrôle optimal de la trajectoire d'un véhicule.

-Contrôle optimal des EDP. Calcul du gradient, modèle adjoint, système d'optimalité.

-Assimilation variationnelle des données (cas stationnaire et instationnaire). Algorithmes (3D-VAR, 4D-Var, variantes).

- Exemples, aspects pratiques.

- AD par réseaux neuronaux informatisés par la physique (PINN).

- TP : estimation de la bathymétrie d'une rivière à partir de mesures de la surface de l'eau (problème issu de l'hydrologie spatiale).

Modèles de circulation océanique

-Equations de la mécanique des fluides en géosciences, Solutions d'équilibre

-Equations en eaux peu profondes: dérivation, étude de la propagation des ondes. Applications: ondes de gravité, ondes de Poincaré, ondes de Kelvin

-Equations quasi-géostrophiques: dérivation, propagation des ondes. Applications: Gulf Stream, ondes de Rossby.

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

-Les outils de base pour analyser et résoudre des problèmes inverses.

- Comment fusionner les mesures (ensembles de données) et des modèles basés sur des EDP.

- Mettre en place le contrôle optimal d'un système (sur base d'EDOs et EDPs).

- Calculer le gradient d'une sortie de modèle (fonction coût) dans des cas de grande dimension (méthode de l'adjoint).

- Mettre en place un algorithme de type contrôle pour identifier les paramètres incertains et/ou calibrer un modèle (assimilation variationnelle, 4D-Var).

- Expliquer les liens et les différences entre l'assimilation variationnelle des données, les filtres (Kalman, etc.) et les estimations bayésiennes.
- Expliquer ce qu'est un réseau neuronal informatisé par la physique (PINN).
- Ecrire l'adimensionnement d'un système d'EDP, et maîtriser l'usage des unités présentes dans un système d'EDP
- Mener une étude de la dynamique d'un système d'EDP linéarisé à l'aide de calculs de relations de dispersion

L'étudiant.e devra être capable de :

- Mettre en place la chaîne complète pour réaliser l'identification des paramètres ou la calibration d'un modèle par assimilation variationnelle des données (4D-Var).
- Mettre en place un PINN pour atteindre les mêmes objectifs que ci-dessus.

## Infos pratiques

### Lieu(x)

 Toulouse

## Pré-requis nécessaires

Calcul différentiel, optimisation numérique, bases de l'analyse fonctionnelle et des modèles de mécaniques, modèles classiques d'EDP (formes faibles et schémas EF sont un plus), programmation Python.

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

# Mécanique Fluide et Structures



ECTS



Volume horaire

36h

## Présentation

### Description

Programme (contenu détaillé) :

#### Partie 1 : Mécanique des fluides

- CM 1-3: Equations de la dynamique des fluides parfaits compressibles : établissement des équations, ondes acoustiques, ondes de choc, relations de Rankine-Hugoniot, conditions aux limites, pression totale et température totale
- TD 1 : Ondes acoustiques dans un gaz parfait
- TD 2 : Tuyère de Laval & Application à la propulsion fusée
- CM 4-6 : Principes généraux de la méthode des volumes finis pour la mécanique des fluides compressibles. Problème de Riemann (cas linéaire, cas de la dynamique des gaz parfaits). Solveurs de Riemann approchés
- TD 3 : Préparation au TP Volumes Finis
- TP 1-2 : Programmation sous PYTHON de la méthode des volumes finis appliquées aux équations de la dynamique des gaz parfaits

#### Partie 2 : Mécanique des structures

Modélisation numérique des structures minces (6,25h : 3CM + 2TD)

- Construction d'un modèle poutre à partir de l'élasticité solide 3D
- Formulation variationnelle, lien avec la minimisation d'énergie et résolution par la méthode des éléments finis.

Lien CAO-calcul (9,25h : 3CM + 1TD + 2TP)

- Notions de base de représentation des géométries en CAO.
- Analyse isogéométrique : éléments finis splines.
- Application pour le calcul de modèles de poutre.

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

Quelques modélisations avancées en mécaniques des fluides et des structures permettant d'aller vers des applications complexes telles que :

- Décrire la dynamique des fluides compressibles
- Comprendre ce qu'est une onde de choc, une onde de détente, une onde acoustique dans un fluide
- Le calcul de structures de type coque
- L'utilisation des données de la CAO pour le calcul de structures

L'étudiant.e devra être capable de:

- Résoudre de façon approchée un problème de Riemann
- Connaître et savoir appliquer la méthode des volumes finis pour calculer la solution numérique des équations de la dynamique des fluides parfaits compressibles
- Formuler et résoudre par la méthode des éléments finis des modèles de poutres.
- Appréhender une technique de calcul avancée basée sur la représentation géométrique en CAO (éléments finis isogéométriques NURBS)

---

## Pré-requis nécessaires

Ce cours vient compléter et approfondir les notions de base du cours de S8 intitulé : « Modèles et méthodes numériques pour la mécanique des fluides et des structures ». La maîtrise des bases du cours de S8 comme pré-requis est donc fortement conseillé.

---

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

---

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

## IA Frameworks

# Présentation

## Description

Programme (contenu détaillé) :

Ce cours vise à familiariser les étudiants avec les différents outils et applications du machine learning qu'ils seront amenés à utiliser dans leur carrière professionnelle. Les participants auront l'opportunité de développer leurs compétences en matière de partage de code et de déploiement de modèles entraînés en production.

- Introduction à Pytorch
- Introduction à Git
- Mise en production avec Docker
- Traitement du langage
- Systèmes de recommandations
- Détection d'anomalies
- Prédiction conforme
- Interprétabilité en machine learning

En somme, ce cours permettra aux étudiants de développer une expertise technique dans le domaine du machine learning, ainsi que les compétences nécessaires pour utiliser ces outils dans un contexte professionnel. Les connaissances acquises seront applicables dans de nombreuses industries et aideront les étudiants à répondre aux besoins de leurs futurs employeurs en matière de développement et de mise en œuvre de solutions basées sur le machine learning.

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Apprentissage automatique
- Écriture de scripts Python
- Utilisation de Git
- Utilisation de Docker
- Systèmes de recommandation
- Détection d'anomalies
- Prediction conforme
- Traitement automatique du langage
- Méthodes d'attributions

L'étudiant.e devra être capable de :

- Écrire des scripts pour entraîner des systèmes de décision
- Déployer ses modèles dans un environnement de production
- Construire des systèmes de recommandation intelligents.
- Traiter de la donnée textuelle.
- Utiliser des techniques d'interprétation des décisions fournies par les systèmes de machine learning.

## Pré-requis nécessaires

Apprentissage Machine, Deep Learning  
Langages, Python

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

# Calcul Stochastique

## Présentation

### Description

Programme (contenu détaillé) :

- Processus stochastiques à temps continu et martingales. Introduction aux temps d'arrêts.
- Construction du mouvement brownien et de l'intégrale stochastique puis dérivation de la formule d'Itô.
- Introduction aux équations différentielles stochastiques (EDS) puis dérivation des équations de Fokker-Planck.
- Résolution d'une équation parabolique à l'aide d'une solution d'EDS.
- Résolution d'un problème de Dirichlet à l'aide du mouvement brownien.
- Théorème de Girsanov.
- Ergodicité des processus de Markov.
- Estimation par maximum de vraisemblance de paramètres issus d'une EDS.

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant(e) devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Le mouvement brownien ainsi que l'intégrale de Wiener et la formule d'Itô.
- La relation entre une équation différentielle stochastique et son équation de Fokker-Planck.
- La formulation d'une solution d'EDP parabolique ou elliptique à l'aide d'un processus stochastique bien choisi.
- L'estimation par maximum de vraisemblance de paramètres dans une équation différentielle

stochastique.

L'étudiant(e) devra être capable de :

- Faire du calcul stochastique en mettant en œuvre la formule d'Itô.
- Mettre en œuvre numériquement la résolution d'une équation parabolique ou elliptique à l'aide d'une méthode probabiliste basée sur des solutions d'équations différentielles stochastiques.
- Utiliser le théorème de Girsanov combiné aux résultats d'ergodicité des processus de Markov afin d'estimer des paramètres par maximum de vraisemblance dans des équations différentielles stochastiques.

### Pré-requis nécessaires

Compléments de probabilités (3A), Probabilités avancées (4A).

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

### Lieu(x)

 Toulouse

## Durée de vie

# Présentation

## Description

Programme (contenu détaillé) :

- Les distributions de survie : fonctions spécifiques, lois usuelles pour les durées
- La notion de censure et troncature
- Estimation paramétrique
- Estimation non paramétrique de la fonction de survie et de la fonction de risque (Kaplan-Meier, Nelson-Aalen)
- Adéquation à une loi de probabilité et comparaison de la survie de deux ou plusieurs groupes
- Modèles de régression paramétriques
- Le modèle semi-paramétrique de Cox : estimation et validation du modèle
- Applications dans le domaine de la fiabilité ou de la Survie

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- les lois de probabilités usuelles pour modéliser des durées de vie
- la notion de censure et de troncation dans les données
- l'estimation paramétrique, non paramétrique et semi-paramétrique d'une fonction de survie

L'étudiant.e devra être capable de :

- analyser statistiquement des données censurées à droite avec le logiciel R
- estimer une fonction de survie par des approches paramétriques, non paramétriques et semi-paramétriques
- tester l'adéquation à une loi ou l'égalité de deux distributions de survie pour des données censurées
- modéliser et tester l'effet de covariables su

## Pré-requis nécessaires

- Statistique inférentielle (PO 3MIC)
- Éléments de Modélisation Statistique (4MA)

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

 Toulouse

# Psychologie sociale et éthique

## Présentation

### Description

Le regard psychosocial : notions clefs de la psychologie sociale dont la dynamique de groupe, les processus de décision, la gestion de conflits, l'influence sociale, les stéréotypes, les conditions de soumission à l'autorité, les minorités actives, les risques psycho-sociaux (RPS) et qualité de vie au travail (QVT). En somme, ces notions seront travaillées avec des exemples concrets et avec des mises en situation professionnelle et interculturelle dans une démarche éthique de l'ingénierie du XXI<sup>e</sup> siècle et des enjeux socio-écologiques.

### Objectifs

Analyser des situations de groupe avec des concepts issus de la psychologie sociale

Comprendre les relations interpersonnelles en situation professionnelle et interculturelle

Approfondir la réflexion sur les enjeux socio-écologiques dans son parcours professionnel

Identifier les dimensions éthiques de ces situations et savoir argumenter sa position

Aiguiser l'esprit critique, le décentrement et la

réflexivité sur soi : la métacognition

### Pré-requis nécessaires

Aucun

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

 Toulouse

## Management d'équipe

### Présentation

### Description

Tous les thèmes autour du Management d'équipe : recrutement, motivation au travail, rémunération globale, appréciation des salariés, modalités d'encadrement (leadership), gestion des conflits, relations professionnelles (dialogue social), flexibilité des Ressources Humaines et contrats de travail, formation, gestion des emplois et des compétences, gestion des carrières.

évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

 Toulouse

### Objectifs

L'étudiant devra être capable de :

- Repérer et comprendre des informations liées aux ressources humaines au sein d'une entreprise
- Analyser une situation de management d'équipe en référence à un cadre théorique
- Formuler et argumenter des solutions managériales

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit,

## APS

## Présentation

## Description

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

## Lieu(x)

 Toulouse

## PPI

## Présentation

### Description

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

 Toulouse

## Stage 4A

# Présentation

 Toulouse

## Description

le stage doit durer entre 8 et 16 semaines  
il peut s'effectuer en France ou à l'étranger, en entreprise ou en laboratoire  
Les missions de l'étudiant doivent être en relation avec les enseignements dispensés

## Objectifs

Les objectifs du stage 4A sont :

- d'acquérir une première expérience en milieu professionnel (entreprise ou laboratoire) sur un rôle ingénieur.
- de mettre en pratique les enseignements reçus
- de produire un travail scientifique

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

## Lieu(x)

## Stage 5A – PFE

### Présentation

Toulouse

### Description

Stage de 16 à 26 semaines dans une entreprise

### Objectifs

Le but de ce stage est de se positionner en tant qu'ingénieur en activité et de valider les compétences acquises pendant le cursus scolaire. Pour cela, l'étudiant développera une thématique particulière pendant la durée du stage, qui fera l'objet d'un mémoire.

La problématique sera définie d'un commun accord avec l'entreprise et le tuteur INSA.

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)



# Statistique en grande dimension et Apprentissage profond

 ECTS  
3 crédits

 Volume horaire

## Présentation

### Description

Ce cours est dédié aux méthodes d'apprentissage et en particulier les méthodes d'apprentissage profond, pour le traitement de données en grande dimension telles que des images par exemple.

\* Réseaux de neurones et introduction à l'apprentissage profond: définition des réseaux de neurones, fonctions d'activation, perceptron multicouches, algorithme de rétropropagation du gradient, algorithmes d'optimisation, régularisation.

\* Réseaux de neurones convolutionnels : couche convolutionnelle, pooling, dropout, architecture des réseaux convolutionnels (ResNet, Inception), transfert d'apprentissage, applications à la classification d'images, la détection d'objet, la segmentation d'image, l'estimation de posture, etc.

\* Réseaux de neurones récurrents : modélisation de séquences, neurone récurrent, rétropropagation à travers le temps, LSTM et GRU, applications au traitement du langage naturel et au traitement des signaux audio et vidéo

\* Réseaux de neurones et 3D : réseaux convolutifs 3D pour le traitement des données volumétriques (ex: IRM), réseaux PointNet et PointNet++ pour le traitement des nuages de points 3D (ex: LIDAR).

\* Apprentissage profond non-supervisé et modèles génératifs : Autoencodeurs, Auto-encodeurs variationnels (VAE) , Réseaux Génératifs Antagonistes (GAN)

\* Décomposition fonctionnelle sur des bases de Spline, Fourier , ondelettes ou ACP fonctionnelle Functional decomposition on splines, Fourier or wavelets bases: splines cubiques, critère des moindres carrés pénalisés, bases de Fourier, bases d'ondelettes, application en régression non paramétrique, estimateurs linéaires et non linéaires par seuillage, liens avec la méthode LASSO. ACP fonctionnelle.

\* Détection d'anomalies : Principaux algorithmes : One Class SVM, Random Forest, Isolation Forest, Local Outlier Factor. Applications à la détection d'anomalies pour des données fonctionnelles.

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts):

\* L'utilisation des algorithmes d'apprentissage profond pour la classification de données complexes en grande dimension avec estimation de l'erreur de prédiction

\* Les principaux algorithmes de classification de media ou d'images

\* Les méthodes de réduction de dimension

\* Les algorithmes de détection d'anomalies

\* Les applications des méthodes d'apprentissage profond sur des jeux de données réelles

L'étudiant devra être capable de :

\* Ajuster des réseaux de neurones profonds pour la classification ou la régression de media ou d'images.

\* Appliquer des algorithmes de détection d'anomalies.

\* Mettre en œuvre les algorithmes d'apprentissage profond sur des données réelles à l'aide de librairies Python.

---

## Pré-requis nécessaires

Modélisation statistique

Exploration et logiciels statistiques

---

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

---

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

# Modélisation et éléments finis



ECTS

3 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

Partie 1 : Analyse mathématique et principes de la méthode EF

CM : 10h, TD : 7,5h TP: 7,5h

- Analyse (EDP elliptiques linéaires): solutions faibles, espaces de Sobolev  $H_m$ , théorie de Lax-Milgram.
- Principe des EF : discrétisation, approximation, implémentation, estimations d'erreur a-priori.
- Courbes de convergence, validation codes de calcul. TP (Python-Fenics ou Julia) programmation algorithme d'assemblage.

Partie 2 : Modélisation et compléments EF

CM : 10h, TD : 5h, TP: 10h

- Modélisation par EF (TP FreeFEM++ ou Python-Fenics).

Ex : écoulements géophysiques - hydraulique spatiale (ondes diffusantes : convection - diffusion non linéaire).

- Compléments méthode EF

Terme de transport et stabilisation (ex : SUPG)

Termes non linéaires et linéarisations.

Raffinement de maillage - concept de estimateurs a-posteriori. TP Python-Fenics.

- Modèles réduits POD

Stratégie offline - online. TP Python-Fenics.

Partie 3 : Couplages de modèles et de codes de calcul.

CM : 7,5h TD : 3,75h TP :5h

- Application de la modélisation EF au problème de l'élasticité

- Couplage faible de domaines élastiques (pénalisation, mortar, Nitsche)
- Notion d'interface non-conforme entre les domaines
- Résolution itérative non-intrusive du couplage.
- TP Python : calcul de la propagation d'une fissure avec utilisation de codes en boîtes noires.

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Comment modéliser et calculer par la méthode des éléments finis des systèmes classiques d'EDP.

L'étudiant devra être capable de :

- Écrire la forme variationnelle (faible) des modèles classiques d'EDP, et expliciter le lien avec l'énergie minimisée (cas symétrique).
- Appréhender l'analyse mathématique des modèles classiques d'EDP.
- Modéliser et calculer par la méthode des éléments finis divers phénomènes classiques (diffusion, convection, élasticité, etc.) omniprésents en physique, processus.
- Utiliser une bibliothèque de calcul éléments finis telle que Fenics (Python).
- Mettre en place des techniques de calcul avancées dans le cas d'une modélisation à grand nombre de degrés de liberté (réduction de modèle, couplage de modèles et codes de calcul).

---

## Pré-requis nécessaires

Modèles d'EDP de base, analyse mathématique,  
Méthodes d'analyse numériques de base.

---

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

# Métamodélisation et assimilation de données 1



ECTS

3 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

#### Métamodélisation

- \* Introduction : exemples d'applications
- \* Deux métamodèles célèbres : polynômes de chaos, processus gaussiens (krigeage)
- \* Simulation de processus gaussiens non conditionnels / conditionnels
- \* Prise en compte d'information métier et personnalisation de noyaux de covariance
- \* Optimisation assistée par métamodèle (optimisation bayésienne)
- \* Planification d'expériences numériques : focus sur les plans remplissant l'espace
- \* Analyse de sensibilité globale : focus sur la décomposition ANOVA (décomposition de Sobol)
- \* Application industrielle : quantification d'incertitudes.

#### Assimilation de données : approche séquentielle et ensembliste

- \* Introduction. Préliminaires (statistiques, conditionnement), méthodes Bayésiennes.
- \* Estimation séquentielle et filtre de Kalman. Formalisation statistique pour un système dynamique observé, transfert d'optimalité et lien avec l'approche variationnelle, filtrage et lissage, filtre racine carrées et erreurs numériques, réduction de la dimension et filtres réduits.
- \* Estimation ensembliste. Erreur d'échantillonnage, dérivation des principaux filtre/lisseurs stochastiques (EnKF) et déterministes (ETKF). Hyperparamètres (inflation, localisation).

### Objectifs

Découvrir et utiliser les méthodes à noyaux pour la modélisation, l'optimisation et la quantification d'incertitudes de phénomènes complexes (métamodélisation) et l'adaptation des modèles en temps réel (assimilation de données). Cette UE, au contenu plutôt théorique, sera complétée au second semestre par une deuxième partie, davantage dédiée aux applications.

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

Toulouse

# Processus de Poisson et applications



ECTS

4 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

Programme (contenu détaillé) :

- Modélisation de la récurrence des pannes en Fiabilité ou des sinistres en Actuariat : définition et construction d'un processus de Poisson (homogène ou non homogène) ou de renouvellement, statistique inférentielle pour les processus de Poisson homogènes (estimation ponctuelle, intervalles de confiance et tests sur l'intensité).

- Mathématiques et Apprentissage pour l'actuariat : étude des processus de Poisson composés et du modèle de Cramér-Lundberg, mesures de risques, algorithmes d'apprentissage pour les problèmes de tarification et de provisionnement. Introduction à la méthode de Monte-Carlo.

- Approfondissement par projet (au choix parmi les exemples ci-dessous, pouvant évoluer) :

a) Statistique pour la fiabilité des systèmes réparables : test d'homogénéité, Statistique inférentielle pour le processus de Weibull.

b) Actuariat : modèles de type Cramér-Lundberg, processus de Hawkes et produits dérivés en assurance.

- Communiquer la science en anglais :

Pour se préparer à la soutenance de leur projet qui sera en anglais, les cours d'anglais comprendront :

- Exercices individuels et en groupe sur l'anglais scientifique et le langage lié à leur projet, y compris la

prononciation du vocabulaire clé, le langage informel et formel.

- Revue des techniques de présentations (aussi pour un public spécialisé et non spécialisé).
- Des réunions avec chaque groupe pour communiquer l'état d'avancement de leur recherche, leurs réalisations, les problèmes rencontrés et les prochaines étapes.
- Répétitions pour les soutenances : retour de l'enseignant

Pour préparer le rapport en anglais :

- Analyser des publications scientifiques dans leur domaine de recherche.
- Feedback des enseignants sur les versions préliminaires du rapport.

### Objectifs

L'étudiant devra être capable de :

- Modéliser la récurrence des pannes en Fiabilité ou des sinistres en Actuariat à l'aide de processus de Poisson.
- Être capable de calculer ou d'approximer la probabilité de ruine associée à un contrat d'assurance vie ou non vie. Utiliser des méthodes d'apprentissage en actuariat.
- Connaître les fondements théoriques et être capable de mettre en place la méthode de Monte-Carlo ainsi que ses limites d'utilisation.

- Repérer les spécificités linguistiques, en anglais, utilisée dans des contextes scientifiques, et savoir présenter leur travail oralement et par écrit en suivant

ce style scientifique.

- Écrire un rapport scientifique en anglais dans sa spécialité en respectant les conventions appropriées.
- Présenter le travail sur projet oralement en anglais et dialoguer sur les éléments clés du projet d'une manière structurée.
- Sélectionner les informations significatives adaptées à son interlocuteur ou son public
- Expliquer des concepts scientifiques et techniques complexes à l'adresse d'un public non spécialiste
- Adapter son expression à des présentations formelles et informelles

---

## Pré-requis nécessaires

- Analyse de données (3MIC)
- Compléments de probabilités (3MIC)
- Statistique inférentielle (3MIC)
- Éléments de modélisation statistique (ModIA S7)

---

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

## Sciences Humaines et Sociales



ECTS

3 crédits



Volume horaire

41h

## Présentation

### Description

Cette UF se compose de 3 parties : "Management d'équipe", "Psychologie Sociale et éthique" et PPI.

"Management d'équipe" et "Psychologie Sociale et éthique" travaillent sur le groupe/équipe comme objet d'analyse.

PPI travaille sur la projection et la posture professionnelles.

Programme:

- Notion de groupe, processus de décision, conflits, autorité, minorités actives, influences.
- Analyse des emplois, recrutement et GPEC, motivation au travail, rémunération, appréciation des salariés, formation, gestion des carrières, relations professionnelles, flexibilité des RH et contrats de travail.
- Échanges avec des professionnels.

### Objectifs

L'étudiant devra être capable de :

- Analyser des situations de groupe avec des concepts issus de la psychologie sociale
- Identifier les dimensions éthiques de ces situations et prendre position

- Introduction à l'éthique numérique
- Repérer et comprendre des informations liées aux RH éventuellement dans un contexte d'IA
- Analyser une situation de management d'équipe en référence à un cadre théorique
- Formuler et argumenter des solutions managériales éventuellement en contexte d'IA
- Valider son projet professionnel, construire une stratégie et s'entraîner pour trouver un emploi

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

### Infos pratiques

#### Lieu(x)

Toulouse

## Formation en entreprise 3



ECTS

14 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

Identique fiche "Formation en entreprise 1"

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

Toulouse

# Métamodélisation et assimilation de données 2

 ECTS  
3 crédits

 Volume horaire

## Présentation

### Description

Programme (contenu détaillé) :

Partie 1. Assimilation de données : approche variationnelle  
CM : 14h, TD : 5,25h TP : 17,5h

-Outils de base pour résoudre les problèmes inverses (avec exemples) : moindres carrés (linéaires, non linéaires), régularisation.

-Principes de l'assimilation de données (variationnelle, séquentielle).

-Analyse bayésienne.

-Équivalences entre le filtre BLUE-Kalman, le MAP et l'assimilation variationnelle dans le cas linéaire-quadratique-gaussien.

-Application à l'identification de modèles en mécanique expérimentale : (i) calcul des mesures à partir de l'enregistrement d'images et (ii) assimilation de données pour calibrer les lois constitutives.

-Contrôle optimal des EDO. Cas linéaire-quadratique, principe du maximum, hamiltonien.

Petit TP : contrôle optimal de la trajectoire d'un véhicule.

-Contrôle optimal des EDP. Calcul du gradient, modèle adjoint, système d'optimalité.

-Assimilation variationnelle des données (cas stationnaire et instationnaire). Algorithmes (3D-VAR, 4D-Var, variantes).

- Exemples, aspects pratiques.

- AD par réseaux neuronaux informatisés par la physique (PINN).

- TP : estimation de la bathymétrie d'une rivière à partir

de mesures de la surface de l'eau (problème issu de l'hydrologie spatiale).

Partie 2. Approche multifidélité'

CM : 5,25h, TD : 7h, TP : 1,75h

- Estimateurs Monte Carlo

- Outils d'analyse des estimateurs (erreur quadratique moyenne, biais, variance)

- Enjeux de l'estimation de statistiques de la sortie d'un simulateur haute fidélité (coût de calcul vs précision)

- Principes des approches multifidélité, exemples de simulateurs basse fidélité

- Méthode statistique des variables de contrôle

- Adaptation pour l'estimation multifidélité

- Allocation optimale (au sens de la variance) des échantillons sur les différents niveaux de fidélité.

Partie 3. Métamodélisation : étude de cas

CM : 0 h, TD : 0 h TP : 14 h

- Etant donnés des simulateurs de différentes physiques, construire des modèles de substitution du système couplé ou des modèles de substitution de chaque discipline.

- Sélectionner le meilleur modèle de substitution selon des métriques de validation.

- Utiliser ces modèles de substitution pour un problème d'optimisation multidisciplinaire et interpréter les résultats.

- Utiliser ces modèles de substitution pour un problème d'analyse de sensibilité et interpréter les résultats.

- Utiliser ces modèles de substitution pour un problème d'optimisation multidisciplinaire sous incertitudes et interpréter les résultats.

## Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

### Partie 1 – AD Variationnelle

- Les outils de base pour analyser et résoudre des problèmes inverses.
- Comment fusionner les mesures (ensembles de données) et des modèles basés sur des EDP.
- Expliquer les liens et les différences entre l'assimilation variationnelle des données, les filtres (Kalman, etc.) et les estimations bayésiennes.
- Expliquer ce qu'est un réseau neuronal informatisé par la physique (PINN).
- Mettre en place le contrôle optimal d'un système (sur base d'EDOs et EDPs).
- Calculer le gradient d'une sortie de modèle (fonction coût) dans des cas de grande dimension (méthode de l'adjoint).
- Mettre en place un algorithme de type contrôle pour identifier les paramètres incertains et/ou calibrer un modèle (assimilation variationnelle, 4D-Var).

### Partie 2. Approche multifidélité

- Les outils d'analyse d'estimateurs statistiques (erreur quadratique moyenne, biais, variance)
- Les enjeux des méthodes multifidélité dans un contexte de simulation numérique
- Des exemples de simulateurs basse fidélité (discrétisation dégradée, physique simplifiée, précision arithmétique réduite, modèle réduit / métamodèle, etc.)
- La technique des variables de contrôle pour la réduction de la variance d'estimateurs Monte Carlo et leur généralisation (variables de contrôle approchées) pour l'estimation statistique multifidélité.

### Partie 3. Méfamodélisation : étude de cas

- Connaitre, construire et valider des modèles de substitution de modèles numériques coûteux.
- Connaitre, réaliser et interpréter les résultats d'une analyse de sensibilité pour des problèmes sous incertitudes.
- Utiliser des modèles de substitution pour des problèmes d'optimisation avec ou sans incertitudes.

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

### Partie 1 – AD Variationnelle

- Les outils de base pour analyser et résoudre des problèmes inverses.
- Comment fusionner les mesures (ensembles de données) et des modèles basés sur des EDP.
- Expliquer les liens et les différences entre l'assimilation variationnelle des données, les filtres (Kalman, etc.) et les estimations bayésiennes.
- Expliquer ce qu'est un réseau neuronal informatisé par la physique (PINN).
- Mettre en place le contrôle optimal d'un système (sur base d'EDOs et EDPs).
- Calculer le gradient d'une sortie de modèle (fonction coût) dans des cas de grande dimension (méthode de l'adjoint).
- Mettre en place un algorithme de type contrôle pour identifier les paramètres incertains et/ou calibrer un modèle (assimilation variationnelle, 4D-Var).

### Partie 2. Approche multifidélité

- Les outils d'analyse d'estimateurs statistiques (erreur quadratique moyenne, biais, variance)
- Les enjeux des méthodes multifidélité dans un contexte de simulation numérique
- Des exemples de simulateurs basse fidélité (discrétisation dégradée, physique simplifiée, précision arithmétique réduite, modèle réduit / métamodèle, etc.)
- La technique des variables de contrôle pour la réduction de la variance d'estimateurs Monte Carlo et leur généralisation (variables de contrôle approchées) pour l'estimation statistique multifidélité.

### Partie 3. Méfamodélisation : étude de cas

- Connaitre, construire et valider des modèles de substitution de modèles numériques coûteux.
- Connaitre, réaliser et interpréter les résultats d'une analyse de sensibilité pour des problèmes sous incertitudes.
- Utiliser des modèles de substitution pour des problèmes d'optimisation avec ou sans incertitudes.

L'étudiant devra être capable de :

#### Partie 1

- Mettre en place la chaîne complète pour réaliser

l'identification des paramètres ou la calibration d'un modèle par assimilation variationnelle des données (4D-Var).

- Mettre en place un PINN pour atteindre les mêmes objectifs que ci-dessus.

#### Partie 2

- Étant donnés des simulateurs de différentes fidélités, mettre en œuvre une méthode multifidélité d'estimation de l'espérance de la sortie du simulateur haute fidélité
- Mettre en œuvre les indicateurs a priori de réduction de variance attendue
- Dans un cadre académique, les comparer à la réduction de variance effectivement obtenue

#### Partie 3

- Étant donnés des simulateurs de différentes physiques, construire des modèles de substitution du système couplé ou des modèles de substitution de chaque discipline.
- Sélectionner le meilleur modèle de substitution selon des métriques de validation.
- Utiliser ces modèles de substitution pour un problème d'optimisation multidisciplinaire et interpréter les résultats.
- Utiliser ces modèles de substitution pour un problème d'analyse de sensibilité et interpréter les résultats.
- Utiliser ces modèles de substitution pour un problème d'optimisation multidisciplinaire sous incertitudes et interpréter les résultats. At the end of this module, the student will have understood and be able to explain (main concepts).

## Pré-requis nécessaires

Bases des probabilités et statistiques, bases d'apprentissage automatique.

Programmation Python.

Calcul différentiel, optimisation numérique, bases de l'analyse fonctionnelle et des modèles de mécaniques, modèles classiques d'EDP (formes faibles et schémas EF sont un plus).

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

 Toulouse

# Calcul Scientifique Haute performance



ECTS

3 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

- \* méthode d'arnoldi pour construire les espaces de Krylov, solveur gmres,
- \* solveur de lanczos, lien avec le gradient conjugué
- \* déflation et extraction d'informations spectrales (deflated CG, vecteurs de Ritz), séquence de systèmes linéaires, techniques pour le calcul des valeurs/vecteurs propres
- \* méthodes de décomposition de domaine (de Schwarz, de P.-L. Lions), étude théorique 1D et 2D, application au calcul parallèle
- \* méthodes multigrille géométrique, propriété de lissage, schéma V et FMG
- \* équivalence entre matrice creuse et graphe. Concept de remplissage et dépendances entre inconnus d'un problème creux (arbre d'élimination). Permutations de matrices permettant de réduire le remplissage. Complexité opératoire. Exploitation du parallélisme dans la factorisation de matrices creuses,
- \* architecture des supercalculateurs modernes (processeurs multi-coeurs, multiprocesseurs ou noeuds SMP et NUMA, accélérateurs GPU, réseaux d'interconnexion). Classification de Flynn. Hiérarchie des mémoires caches. Principes de localité spatiale et temporelle. Programmation parallèle en OpenMP: régions parallèles, directives de synchronisation, boucles parallèles, situations de compétition et tâches. Programmation parallèle en MPI: communications point à point et collectives, opérations de réduction et éventuellement optimisations. Analyse des performances: loi d'Amdahl, scalabilité forte et faible,

modèle roof-line et calcul du chemin critique.

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- \* le principe des méthodes de Krylov, leur utilisation pour résoudre des systèmes linéaires ou calculer des valeurs et vecteurs propres,
- \* la notion de préconditionnement, la construction et l'utilisation des préconditionneurs,
- \* théorie et concepts de base des méthodes directes pour systèmes linéaires creux. Complexité opératoire et parallélisme des méthodes directes,
- \* les notions de base de l'architecture des calculateurs parallèles, les modèles de programmation pour systèmes à mémoire partagée (OpenMP) et distribuée (MPI) et les concepts et méthodes de base pour analyser les performances d'un algorithme ou code parallèle (loi d'Amdahl, hiérarchie de la mémoire cache, principes de localité spatiale et temporelle, modèle roofline, calcul du chemin critique et scalabilité forte et faible).

L'étudiant devra être capable de :

- \* d'évaluer les coûts (flops/mémoire) des différentes méthodes présentées,
- \* d'analyser l'influence des préconditionneurs,
- \* d'utiliser des langages haut-niveau pour la discrétisation d'équations aux dérivées partielles,
- \* de coder les solveurs, de paralléliser des codes simples suivant le standard le plus adéquat ainsi que de

les exécuter sur les ressources appropriées,  
\* d'analyser l'efficacité d'une méthode vis à vis de la complexité opératoire, du temps de calcul et de l'empreinte mémoire utilisée dans une perspective de calcul haute performance.

---

## Pré-requis nécessaires

\* cours d'Algèbre Linéaire ou de Calcul Scientifique, notamment les méthodes de factorisation LU ou Cholesky  
\* Notions de base de l'architecture des calculateurs et des langages de programmation impératifs

---

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

---

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

# Apprentissage sous contraintes physiques



ECTS

3 crédits



Volume horaire

59h

## Présentation

### Description

Programme (contenu détaillé) :

- Méthodes de résolutions d'EDP à base de ML : approche data based, approche basée sur une discréétisation en grande dimension, principales structures de réseaux de Neurones, techniques de stabilisation en temps, augmentation de données, échantillonnage de la physique, méthodes basées sur la conservation de l'énergie totale
- Ré-écriture des méthodes pour l'assimilation de données en termes d'algorithme de réseau récurrents à mémoire. Méthodes bayésiennes-variationnelles (BV) basées sur les divergences de KL, de Jordan, de Wassertein.
- Amélioration (précision, vitesse) de techniques de discréétisation usuelles par ML et réduction d'espace par espaces latents variationnels.

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Principales approches pour résoudre des problèmes non stationnaires (EDP et assimilation de données) par

techniques de machine learning (discréétisation adaptées)

- Nécessité de la prise en compte de contraintes physiques dans les méthodes usuelles de ML (création d'observables), impact de architectures de réseaux
- Prise en compte algorithmique de la grande taille (utilisation d'espace latent, efficacité des calculs sur architecture dédiées, effet de la non linéarité)
- L'apport éventuel du ML dans les méthodes de résolution des EDP

L'étudiant devra être capable de :

- Résoudre des EDP modèle et de quantifier la précision des résultats.
- Analyser les performances, faire des implantations efficaces pour résoudre ces problèmes
- Mettre en place un système d'Assimilation de Données basé sur du ML, en partant d'une modélisation d'un système sous forme d'équation différentielle et d'un système d'observation
- Critiquer les hypothèses et les résultats, synthétiser les conclusions essentielles.

### Pré-requis nécessaires

Algèbre linéaire numérique pour la grande taille, estimation statistique, optimisation différentiable non-convexe, résolution numérique des EDP, assimilation de données, réseaux de neurones profonds

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

# Systèmes de confiance



ECTS

3 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

- Génie du Logiciel et des Systèmes
  - o Processus, Méthodes et Outils
  - o Méthodes Agiles
  - o Vérification et Validation
  - o Certification et Qualification
  - o Sûreté de fonctionnement
  - o Développement Dirigé par les Tests
  - o Développement Dirigé par les Modèles
  
- Modélisation, Résolution, Preuve
  - o Logique des propositions et des prédictats
  - o Termes et Induction structurelle
  - o Logique de Hoare
  - o Preuves de programme
  - o Logique modale
  - o Logique floue et probabiliste
  - o Programmation Logique Contrainte
  - o Résolution SAT/SMT

Cette UE comporte deux matières qui contribuent à améliorer la qualité des logiciels et la confiance que l'on peut leur accorder.

- Génie du Logiciel et des Systèmes introduit les éléments fondamentaux qui permettent de construire des systèmes à logiciel prépondérant de confiance. Nous donnerons une part importante à l'ingénierie dirigée par les modèles qui s'appuie sur l'analyse de la structure des informations métiers et la construction d'outils dédiés à chaque métier exploitant des logiciels.

- Modélisation, Résolution et Preuve introduit les éléments de mathématique discrète qui permettent de modéliser rigoureusement les exigences des systèmes logiciels et d'apporter des preuves formelles de correction de leur comportement. Ces éléments sont également à la base de l'intelligence artificielle symbolique essentielle à la représentation des connaissances, à la structuration de l'information, et à l'explication des décisions prises par des systèmes. Nous montrerons également comment ces outils peuvent être exploités pour l'optimisation discrète.

Cette UE aborde à la fois les formalismes et méthodes théoriques et leur mise en pratique dans des outils représentatifs.

### Objectifs

Les logiciels jouent un rôle essentiel dans la plupart des secteurs de l'économie, dont les systèmes critiques (transports, santé, économie) dans lesquels les défaillances peuvent avoir un impact sur la vie humaine directement ou indirectement.

### Pré-requis nécessaires

- Utilisation des outils informatique
- Programmation
- Algèbre générale élémentaire

---

## Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

---

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

# Technologies pour l'Intelligence Artificielle (IAF)



ECTS

3 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

Programme (contenu détaillé) :

Ce cours vise à familiariser les étudiants avec les différents outils et applications du machine learning qu'ils seront amenés à utiliser dans leur carrière professionnelle. Les participants auront l'opportunité de développer leurs compétences en matière de partage de code et de déploiement de modèles entraînés en production.

- Introduction à Pytorch
- Introduction à Git
- Mise en production avec Docker
- Traitement du langage
- Systèmes de recommandations
- Interprétabilité en machine learning

En somme, ce cours permettra aux étudiants de développer une expertise technique dans le domaine du machine learning, ainsi que les compétences nécessaires pour utiliser ces outils dans un contexte professionnel. Les connaissances acquises seront applicables dans de nombreuses industries et aideront les étudiants à répondre aux besoins de leurs futurs employeurs en matière de développement et de mise en œuvre de solutions basées sur le machine learning.

### Objectifs

A la fin de ce module, l'étudiant.e devra avoir compris et pourra expliquer (principaux concepts) :

- Apprentissage automatique
- Écriture de scripts Python
- Utilisation de Git
- Utilisation de Docker
- Systèmes de recommandation
- Détection d'anomalies
- Prédiction conforme
- Traitement automatique du langage
- Méthodes d'attribution

L'étudiant.e devra être capable de :

- Écrire des scripts pour entraîner des systèmes de décision
- Déployer ses modèles dans un environnement de production
- Construire des systèmes de recommandation intelligents.
- Traiter de la donnée textuelle.
- Utiliser des techniques d'interprétation des décisions fournies par les systèmes de machine learning.

### Pré-requis nécessaires

Apprentissage Machine, Apprentissage Profond  
Langage Python

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

---

### Lieu(x)

 Toulouse

## Formation en entreprise 4



ECTS

15 crédits



Volume horaire

## Présentation

### Description

Identique à fiche "Formation en entreprise 1"

### Évaluation

L'évaluation des acquis d'apprentissage est réalisée en continu tout le long du semestre. En fonction des enseignements, elle peut prendre différentes formes : examen écrit, oral, compte-rendu, rapport écrit, évaluation par les pairs...

## Infos pratiques

### Lieu(x)

Toulouse