

## Fiche compétences UE ISCO

### Scientific Machine Learning (dispensé en anglais)

#### 1. INFORMATIONS PRINCIPALES

|                                            |                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Crédits ECTS                               | 3                                                                                                                                 |
| Département                                | GI (principal), IM, GP, GB, GU                                                                                                    |
| Profil de formation (Ingénieur, Master...) | Master                                                                                                                            |
| Catégorie de l'UV (CS, TM, ...)            | CS/TM                                                                                                                             |
| Code de l'UV                               | ISCO                                                                                                                              |
| Niveau conseillé (TC, GX...)               | L3/M1                                                                                                                             |
| Prérequis                                  | Connaissances en algèbre linéaire matricielle, analyse, fonction de plusieurs variables, analyse numérique. Dans le Master : ISC3 |

|                         |                                          |
|-------------------------|------------------------------------------|
| Semestre d'enseignement | Automne (début novembre à début janvier) |
| Responsable automne     | Florian DE VUYST                         |
| Responsable printemps   |                                          |
| Intervenant(s)          | Florian DE VUYST                         |

|                          |                                                                                                              |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Volume horaire           | Cours : 16h, TD : 16h                                                                                        |
| Effectif total           | 24                                                                                                           |
| Nombre de groupes (TD)   | 3                                                                                                            |
| Conditions d'évaluation  | Travaux pratiques (TP), Examen médian (EM), Examen final (EF)                                                |
| Conditions d'attribution | Contrôle continu : 50 % (note > ou = à 10/20). Examen par soutenance orale final : 50 % (note > ou = à 6/20) |

|                                              |                                                                                                           |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ressources (logiciel, poste informatique...) | Anaconda, python/numpy, JAX, Jupyterlab                                                                   |
| Espace Moodle                                | <a href="https://moodle.utc.fr/course/view.php?id=2870">https://moodle.utc.fr/course/view.php?id=2870</a> |
| Libellé en Anglais                           | Scientific Machine Learning                                                                               |

## 2. DESCRIPTION

---

### Description brève de l'UV

*Présentez brièvement le thème de l'UV, cette présentation sera celle que les étudiants consulteront dans le catalogue des UV.*

Cette UE de M1 est une introduction/sensibilisation au « Scientific Machine Learning », branche de l'apprentissage machine appliquée à la modélisation numérique de problèmes multiphysiques en Science et Ingénierie.

L'UE couvre l'essentiel des notions clés du Scientific Machine learning : régression linéaire et non-linéaires, optimisation, régularisation d'un problème d'optimisation, réseaux de neurones artificiels et deep learning, apprentissage machine, réduction de dimensionnalité et réduction d'ordre, problèmes d'évolution, Neural ODE et états adjoints, résolution de problèmes non linéaires paramétrés, structures physiquement admissibles, réseaux de neurones informés par la physique (PINN).

L'UE propose aussi des tutoriels (notebooks jupyter) et des travaux pratiques de mise en œuvre en environnement python/Jupyterlab.

L'évaluation se fait par du contrôle continu (CC) et par l'étude d'un article scientifique parmi une sélection proposée, sur l'un des sujets vus dans le cours, avec réalisation d'un poster format A1 et soutenance orale devant poster. En tant qu'UE de la Mention ISC, le cours est dispensé en anglais.

### Mots-clés

*Les mots-clés permettent aux étudiants de mieux situer l'UE, c'est une source d'information complémentaire (en anglais) :*

- Linear and nonlinear regression, Gaussian regression
- Numerical optimization, Tykhonov regularization
- Artificial neural networks (ANN), deep learning (DL)
- Machine learning
- Dimensionality reduction, model order reduction
- Evolution problems, Neural ODEs
- Adjoint states
- Solution of parametrized problems
- Structure-preserving models
- Physics-informed neural networks

## 3. OBJECTIF DE FORMATION

---

*L'objectif de formation est la finalité de l'UV, c'est un « contrat » avec les étudiants. Il y a un seul objectif de formation par UV. La phrase doit répondre à la question : « A la fin de cette UE, qu'est-ce que l'étudiant sera capable de faire ».*

*L'objectif de formation doit être cohérent avec la ou les compétences qui lui sont rattachées dans les référentiels des départements.*

**À l'issue de l'enseignement, l'étudiant sera capable de :**

- Connaître les principales méthodes mathématiques et numériques d'apprentissage machine pour les problèmes numériques multiphysiques de l'ingénieur - Connaître les conditions d'application de ces méthodes et leurs limitations -- Savoir écrire les algorithmes associés à chaque méthode. Savoir programmer les principales méthodes dans un environnement tel que python/Jupyterlab – Avoir un regard critique sur les résultats – Avoir un premier « contact » avec un article de Recherche – Préparer un Poster et défendre oralement avec le Poster en support.

#### **4. OBJECTIFS PEDAGOGIQUES**

*Les objectifs pédagogiques sont des étapes intermédiaires qui viennent préciser comment l'étudiant atteint l'objectif de formation.*

*Par exemple, on peut envisager que chaque séance corresponde à un objectif pédagogique, dans lequel la compétence ou la connaissance visée à la fin du cours est progressivement abordée puis complexifiée.*

*Attention : il ne s'agit pas du programme de connaissances, mais des acquis des étudiants.*

**L'étudiant sera capable de :**

1. Comprendre les bases du Machine Learning
2. Mettre en œuvre les outils du Scientific Machine Learning
3. Appliquer à des cas simples issus de la Mécanique et de la Physique
4. Faire une étude bibliographique
5. Etudier un article scientifique et restituer son contenu
6. Réaliser une présentation orale en anglais, avec un poster en support

#### **5. COMPETENCES**

*A remplir à partir du référentiel de compétences de votre département.*

**L'UV contribue aux compétences disciplinaires suivantes :**

##### **C1. Mettre en œuvre les usages avancés et spécialisés des outils numériques**

C1.1 Mettre en œuvre les outils de modélisation, prévision et optimisation

C1.2 Se servir de façon autonome des outils numériques avancés dans les domaines d'IA, robotique, automatique, mécatronique et mécanique

##### **C2. Utiliser la modélisation mathématique pour analyser et résoudre les problèmes de l'ingénierie des systèmes complexes**

C2.1 Utiliser la modélisation mathématique déterministe, stochastique et sous incertitude

## C2.3 Résoudre des problèmes d'optimisations

### C4. Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances

C4.1 Faire un état de l'art et analyser des articles scientifiques pour documenter un sujet en vue de leur exploitation

C4.2 Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances, par oral et par écrit, dans un contexte international et interculturel

## 6. PROGRAMME ET MODALITES PEDAGOGIQUES

### Contenu détaillé de l'UV (syllabus)

Contacter la CAP si cette notion de syllabus ne vous est pas familière ([cap@utc.fr](mailto:cap@utc.fr)).

| Séance n° | Titre                                                                        | Description | CM | TD  | TP  |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|-------------|----|-----|-----|
| 1         | Linear and nonlinear regression.<br>Gaussian regression                      |             | 1  | 0,5 | 0,5 |
| 2         | Introduction to numerical optimization                                       |             | 1  | 0,5 | 0,5 |
| 3         | Artificial neural networks (ANN)<br>Automatic Differentiation (AD). JAX      |             | 1  | 0,5 | 0,5 |
| 4         | Dimensionality reduction. SVD, greedy algorithm                              |             | 1  | 0,5 | 0,5 |
| 5         | Evolution problems. Dynamic Mode<br>Decomposition and extensions, Neural ODE |             | 1  | 0,5 | 0,5 |
| 6         | Structure-preserving Machine Learning                                        |             | 1  | 0,5 | 0,5 |
| 7         | Physics-informed Neural Networks (PINNs)                                     |             | 1  | 0,5 | 0,5 |

### Modalités pédagogiques

#### → Modalité dominante de l'UE :

- ☒ CM / TD / TP      ☐ Projet      ☐ SAé (Situation d'Apprentissage et d'Evaluation)
- ☐ Jeu sérieux      ☐ Approche par problème
- ☒ Autre : étude d'un article scientifique, réalisation d'un poster et défense orale

#### → Cours Magistraux (CM)

- ☒ CM expositif      ☐ CM participatif      ☐ CM interactif      ☐ CM classe inversée
- ☐ Autre :

#### → Travaux Dirigés (TD)

- ☒ Exercices      ☐ Etudes de cas      ☒ Approche par problème

☐ Projet ☐ Classe inversée ☐ Jeu sérieux

☐ Autre :

#### → Travaux Pratiques (TP)

☒ Exercices ☒ Etudes de cas ☐ Expérimentations ☐ Projet  
☐ Approche par problème ☐ Classe inversée ☐ Jeu sérieux  
☐ Autre :

#### Outils techniques utilisés

☒ Machine : ☒ Logiciel : Anaconda/Jupyterlab ☒ Langage : python  
☐ Autre :

#### Supports et ressources destinés aux étudiants

☒ Polycopié (en anglais) ☐ Ouvrage de références :  
☒ Diaporama ☐ Ressources web ☒ Plateforme Moodle  
☐ Articles ☐ Vidéos  
☒ Autre : Notebooks Jupyter (tutoriels, énoncés)

## 7. EVALUATION

#### Modalités d'évaluation

☒ Continu ☒ Médian ☒ Final

Commentaires :

#### Types d'évaluation

☐ Projet ☐ QCM ☐ Question de cours ☐ Épreuve de synthèse  
☒ Étude de cas ☒ Exercice ☒ Participation ☒ Exposé oral  
☐ Rapport ☐ Projet bibliographique ☐ Compte-rendu  
☐ Situation d'apprentissage et d'évaluation (SAÉ)  
☒ Autre : Evaluation continue de TP, article scientifique à analyser, poster de fin d'étude

#### Outils d'évaluation

☐ Barème détaillé ☒ Grille d'évaluation ☒ Grille critériée