

3VS1040 - Modélisation et méthodes numériques appliquées au vivant

Responsables : **Véronique LE CHEVALIER** , **Emmanuel ODIC**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **50**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **28**

Année académique : **2024-2025**

Présentation, objectifs généraux du cours :

L'objectif est d'assimiler la démarche de modélisation au travers notamment d'exemples de différents types de modèles tirés de divers domaines d'application (épidémiologie, génétique, écologie, médecine, biologie végétale, bioprocédés, etc.) et de maîtriser les différentes méthodes mathématiques associées. Ces méthodes sont génériques mais les spécificités des processus du vivant (complexité, variabilité, redondance, etc.) imposent certaines précautions avec lesquelles les élèves pourront se familiariser grâce à un projet de modélisation « fil rouge » qui permettra de les mettre en pratique.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence) :

SD9

Prérequis :

Cours 1A de Modélisation (Représentations et analyse des modèles) : notions de base concernant l'analyse des systèmes dynamiques, l'estimation paramétrique, l'analyse d'incertitude et de sensibilité

Cours 1A de Statistiques et Machine Learning : estimation paramétrique.

Plan détaillé du cours (contenu) :

- Initiation et pratique du langage R
- Séance de pré-requis pour les étudiants du M2 PBA (et FreeMoov, optionnels)
- Principes généraux et spécificités de la modélisation dans le domaine des sciences du vivant
- 1ère partie : deux paradigmes de modèles : (1) systèmes d'équations différentielles ordinaires non linéaires, avec illustration sur des modèles de bioréacteurs, et schémas numériques pour leur résolution ; (2) Automates cellulaires avec illustration sur des modèles de prolifération et déplacement de cellules
- 2ème partie : méthodes d'analyse et d'évaluation des modèles : (1) Analyse d'incertitude (de type A ou B, principe du maximum d'entropie de Shannon) et de sensibilité (indices SRC, indices de Sobol basés sur la décomposition de la variance, méthode FAST) ; (2) Estimation paramétrique de modèles dynamiques non linéaires, sélection de modèles (critères pénalisés, validation croisée), identifiabilité structurelle et pratique, rappels sur les méthodes d'optimisation pour la minimisation des critères issus du problème d'estimation (optimisation continue et description de deux algorithmes heuristiques issus de la biologie : algorithme génétique et optimisation par essaim particulaire).
- 3ème partie : Passage d'un modèle déterministe à un modèle stochastique, algorithme de Gillespie.

Déroulement, organisation du cours :

Les séances comprennent généralement une partie de cours, un TD (comportant généralement des parties analytiques sur papier et des exercices sur ordinateur pour l'application directe des notions vues en cours sur des exemples simples), un temps pour la mise en application sur le projet "fil-rouge".

Ce projet est choisi en début de cours et consiste en l'analyse d'un article issu de la littérature scientifique : l'étudiant doit implémenter le ou les modèles présentés et y appliquer l'ensemble des méthodes vues en cours, au fur et à mesure de son avancement. Il doit également trouver et présenter un 2ème article présentant soit un autre modèle du même système biologique soit une revue de différentes approches de modélisation dans le domaine qu'il a choisi. Les sujets des projets sont de difficultés variables ce qui permet un ajustement du niveau d'ambition en fonction du niveau initial de l'étudiant.

Organisation de l'évaluation :

- rapport du projet et soutenance orale facultative (50%)
- examen écrit de 1h30, seul document autorisé : 1 feuille A4 manuscrite recto-verso (50%)

Moyens :

- Equipe d'enseignants
- Poly de cours
- Supports de TD/TPs
- Sujets de projets
- quelques vidéos-résumés pour certains chapitres.

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

A l'issue de ce cours, les élèves seront capables de:

- pour un système ou un phénomène donné, proposer un modèle adéquat en termes de variables descriptives, échelles de temps/espace, type (déterministe/stochastique, continu/discret, etc) au regard des objectifs visés
- mettre en oeuvre la boucle méthodologique d'analyse et d'évaluation des modèles construits, en prenant en compte les spécificités des systèmes vivants, parmi lesquelles on peut citer une faible standardisation des modèles, des phénomènes extrêmement complexes, des systèmes peu ou partiellement observables, une variabilité très importante.

Description des compétences acquises à l'issue du cours :

- C1. Analyze, design and build complex systems with scientific, technological, human and economic components
- C2. Develop in-depth competence in a scientific or sectoral field and a family of professions

Bibliographie :

polycopié