

# CPES 3A – Parcours Sciences

## Voie « Modélisation du vivant »

Après deux ans de formation pluridisciplinaire en sciences, la voie Modélisation du Vivant vise à donner les outils de base pour aller vers la biologie quantitative (que ce soit aux échelles moléculaires, écologiques ou encore évolutives), de la bio-informatique et des mathématiques appliquées à la biologie ou plus largement vers toutes les formes des approches modernes de la biologie qui font appel à ces disciplines. Ainsi, la 3<sup>ème</sup> année de la voie Modélisation du Vivant s'appuie sur une solide formation en biologie (équivalent 10h hebdomadaires), en mathématiques (équivalent 6h hebdomadaires) et en informatique (équivalent 3h hebdomadaires) combinant à la fois des enseignements théoriques mais aussi pratiques (travaux pratiques à la paillasse et sur ordinateur). De plus, ces différents enseignements s'appuient sur le bagage pluridisciplinaire des deux premières années (notamment en physique et géosciences). Enfin, ils seront complétés par des cours d'Anglais mais aussi des projets tutorés ayant pour vocation de former nos futurs étudiant(e)s à leur intégration dans leurs futurs masters et écoles mais aussi dans leur future vie professionnelle (rédaction de CV, lettre de motivation mais aussi initiation au travail de recherche par des projets personnels et travaux pratiques).

### Emploi du temps

	Horaire hebdomadaire Semestre 1	Horaire hebdomadaire Semestre 2
<b>Enseignements fondamentaux</b>		
Biodiversité 1 : dynamique évolutive et quantification	3	
Santé commune 1 : physiologie et santé des organismes	3	
Physique du vivant	3	
Biodiversité 2 : observation et évaluation de la biodiversité		3
Santé commune 2 : santé des organismes et liens avec les écosystèmes		3
Utilisation de l'IA en biologie		3
Algorithmique	2	
Introduction à l'utilisation de R	2	
Modélisation informatique		2
Biostatistiques	4	
Introduction aux systèmes dynamiques	2	2
Données et IA		4
<b>Projets</b>		
Projet en modélisation du développement des organismes vivants	Une semaine (19 h)	

Projet en analyse des données biologiques		Une semaine (19 h)
<b>Stage</b>		
Stage		7 semaines
<b>Tronc commun</b>		
Langue étrangère	2	2
Projet tutoré : maturation de son projet personnel et professionnel	2	
Projet tutoré : introduction à la recherche en biologie		Une semaine (34 h)
<b>Options</b>		
Microéconomie	2	2
Géochimie environnementale	2	
Histoire de l'économie environnementale	2	2
Changement climatique et transition énergétique		1
Ressources du sous-sol		1

## Présentation détaillée des cours en Biologie

### Enseignements fondamentaux

#### **Biodiversité 1 : dynamique évolutive et quantification – 34h – 4 ECTS**

Ce cours propose d'aborder les grands principes évolutifs pour réfléchir à la biodiversité présente et passée. Après une introduction d'histoire des sciences, les concepts de crises biologiques (avec une réflexion sur l'état actuel de la biodiversité), d'extinction et spéciation (avec leurs conséquences génétiques et démographiques) seront étudiés ainsi que des exemples d'évolution particulière (domestication). Cette UE sera également le moment de l'introduction théorique et pratique de la phylogénie comme démarche pour comprendre et décrire la dynamique évolutive et de la modélisation pour décrire l'évolution des caractères.

En plus des cours magistraux et travaux dirigés, l'UE s'appuiera sur 3 séances de quatre heures de travaux pratiques (domestication, modélisation et phylogénie).

Elle sera également l'occasion d'un travail de lecture et analyse d'un article original de biologie qui se clôturera par une présentation orale.

Les compétences pratiques visées sont donc notamment :

- lire un article scientifique original
- interpréter des figures d'articles originaux
- réaliser des présentations orales
- réaliser des alignements de séquences et des phylogénies simples, lire les arbres phylogénétiques
- réaliser des exercices simples de modélisation

Le cours s'étale sur 17 séances de 2h. L'évaluation portera sur les aspects pratiques (exercices en salle), la présentation de l'analyse bibliographique et sur un examen testant connaissances et capacités d'analyse de résultats.

#### **Santé commune 1 : physiologie et santé des organismes – 34h – 4 ECTS**

Le cours "Santé Commune 1" propose une introduction pluridisciplinaire aux concepts fondamentaux de la santé globale.

Le programme de cours couvre des thèmes variés tels que la biologie cellulaire et moléculaire, l'infectiologie, la cancérologie et la biotechnologie associée aux questions de santé.

Ce cours permettra d'aborder les mécanismes moléculaires à la base de la pathophysiologie.

Les compétences pratiques visées sont notamment :

Le cours sera complété par une analyse d'article et un travail par projet sur le thème de la vaccination pour comprendre les enjeux scientifiques et sociétaux de ce sujet.

- s'interroger sur une question scientifique ayant des enjeux sociétaux et argumenter sur cette question
- réaliser des présentations orales
- lire un article scientifique original
- interpréter des figures d'articles
- réaliser des manipulations simples mais actuelles en biologie cellulaire (ex FACS).

Le cours s'étale sur 17 séances de 2h. L'évaluation portera sur la réalisation d'un diaporama en vue d'une présentation orale, et sur un examen testant connaissances et capacités d'analyse de résultats.

### **Physique du vivant – 34h – 4 ECTS**

Le cours Physique du vivant a un double objectif : D'une part, enseigner les concepts physiques fondamentaux utiles pour la compréhension des systèmes vivants (énergétique, diffusion, osmose, mécanique des fluides), et d'autre part, donner une culture scientifique sur les enjeux modernes à l'interface entre physique et biologie (ordre de grandeurs, morphogenèse, matière active, mouvements collectifs).

Les compétences acquises seront à la fois théoriques et expérimentales (avec 3 TP longs de 4h)

Le cours s'étale sur 17 séances de 2h avec équipartition entre cours magistraux, TD et TP.

L'évaluation portera à la fois sur la réalisation d'un compte-rendu de TP et sur un examen visant à tester les connaissances et capacités d'analyse et de mise en pratique des outils physiques dans le contexte de l'étude du vivant.

### **Biodiversité 2 : observation et évaluation de la biodiversité – 34h – 4 ECTS**

Ce cours vise à approfondir l'observation de la biodiversité actuelle et les processus de sa dynamique. Ainsi, des approches pratiques d'observation de la biodiversité en milieu urbain mais aussi un travail pratique sur les analyses d'analyse d'ADN environnemental seront complétées par des cours sur la plasticité développementale en lien avec l'environnement notamment mais aussi une introduction aux approches eco-evo-devo et au fonctionnement des écosystèmes. Un travail bibliographique permettra aux étudiants d'entrée dans la description argumentée des changements globaux en lien avec l'analyse de la biodiversité.

Les principales compétences visées sont :

- comprendre le fonctionnement de certaines techniques de relevé faunistiques et floristiques.
- réaliser quelques analyses simples sous R sur des données de séquençage d'ADN environnemental.
- lire une revue scientifique et s'en servir pour rechercher des articles utiles pour répondre à une question précise.
- réaliser une présentation orale.

Le cours se déroulera sur 17 séances de 2h. L'évaluation portera à la fois sur des compétences pratiques en TP, sur les capacités de présentation orale et sur un examen testant connaissances et capacités d'analyse de résultats.

### **Santé commune 2 : santé des organismes et liens avec les écosystèmes – 34h – 4 ECTS**

Ce cours vise à élargir la question de la physiologie et de la santé à des échelles dépassant celle de l'individu en se centrant sur trois thèmes : la nutrition, le microbiote et l'épidémiologie/l'émergence de maladies infectieuses. Un travail de bibliographie associé au cours Biodiversité 2 permettra de discuter les liens entre santé et changements globaux.

Les principales compétences visées sont :

- comprendre les liens entre individus, populations et écosystèmes autour de thèmes touchant à la santé
- lire une revue scientifique et s'en servir pour rechercher des articles utiles pour répondre à une question précise.
- réaliser une présentation orale.

Le cours se déroulera sur 17 séances de 2h. L'évaluation portera à la fois sur des compétences pratiques en TP, sur les capacités de présentation orale et sur un examen testant connaissances et capacités d'analyse de résultats.

## **Projets**

### **Projet en modélisation du développement des organismes vivants – 19h – 4 ECTS**

Formaliser un modèle mathématique pour répondre à une question biologique (choix des paramètres, définition du modèle, méthode de résolution).

Découverte d'exemples de biologie du développement selon les choix des étudiants.

Implémenter un modèle mathématique en utilisant Python.

Réaliser un code simple et l'annoter.

Critiquer un modèle (le sien) par rapport aux données biologiques.

Réaliser une présentation orale simple.

Les modalités du projet sont les suivantes :

Encadrement pluridisciplinaire : 10h de biologie / 3h d'informatique / 6h de mathématiques

L'évaluation des étudiants s'appuie sur le rendu écrit du code annoté et d'une soutenance orale par groupe de projet.

### **Projet en analyse des données biologiques – 19h – 2 ECTS**

Comprendre les objectifs, la réalisation et les limites d'une expérience de séquençage ARN pour répondre à une question biologique précise (choix des échantillons, contrôles, organisation du traitement des données).

Exploiter les résultats d'un séquençage ARN simple en produisant des représentations graphiques des résultats, à l'aide de code (Python, R) ou d'outils informatiques en ligne (Galaxy).

Produire une réflexion argumentée sur les résultats obtenus sous forme des graphiques produits lors de l'analyse et d'une présentation orale.

Les modalités du projet sont les suivantes :

Encadrement pluridisciplinaire : 10h de biologie / 3h d'informatique / 6h de mathématiques

L'évaluation des étudiants s'appuie sur le rendu des graphes légendés et d'une présentation orale individuelle.

### **Projet tutoré d'initiation à la recherche – 34h – 2,5 ECTS**

Ce projet se présentera sous la forme d'une semaine complète de TP qui permettra aux étudiants de s'immerger dans le travail de paillasse et d'analyse mais aussi d'apprendre à organiser son temps dans un travail de groupe (binôme ou trinôme).

Objectifs de l'UE en terme de connaissances :

Bases du développement de la racine d'*Arabidopsis thaliana* (contrôle par l'auxine, transport de l'auxine, gravitropisme...).

Méthodes classiques de biologie moléculaire (PCR, extraction d'ADN et ARN), d'imagerie (optique et confocale) et d'analyse d'images (suivi dans le temps, analyse avec ImageJ).

Objectifs de l'UE en terme de compétences : Organisation du temps de travail à la paillasse et pour l'analyse (analyse d'images en particulier). Travail en groupe. Rédaction d'un compte-rendu de Travaux Pratiques.

## **Présentation détaillée des cours en mathématiques**

### **Biostatistiques – 34h – 4 ECTS**

- Séances 1-7 :

Introduction, notion d'échantillon et de distribution empirique, moment empirique.

Construction de diagramme, de boxplot, fonction de répartition.

Modèle aléatoire et estimation. Notion de concentration, Loi des grands nombres, TCL, estimation des paramètres. Intervalle de confiance.

Introduction aux tests statistiques. Erreur de première espèce, puissance d'un test. Test paramétrique.

- Séance 8 : Test du  $\chi^2$ . Adéquation à une loi & indépendance.

- Séance 9 : TD test.

- Séance 10 : Test de Kolmogorov-Smirnov.

- Séance 11 : TP Test  $\chi^2$  & Kolmogorov-Smirnov.

- Séance 12 : ANOVA (1).

- Séance 13 : ANOVA (2) + Exercices.

- Séance 14 : TP ANOVA.

### **Introduction aux systèmes dynamiques – 20h – 3 ECTS**

Systèmes dynamiques de dimension 1 : stabilité des points fixes et linéarisation. Approche numérique en Python.

### **Utilisation de l'IA en biologie – 34h – 4 ECTS**

Le cours IA et Biologie, proposé au deuxième semestre de la CPES3A, a pour objectifs de présenter les bases neurologiques de l'apprentissage de façon à réfléchir à leur transfert vers les applications informatiques pour développer des modèles d'intelligences artificielles (et technologies adjacentes)

type *machine learning*), ainsi que les applications des modèles d'intelligence artificielle dans différents domaines de la biologie.

Elle consistera en quelques heures de cours et TD reprenant des bases de neurosciences et s'appuyant dessus pour développer sur les mécanismes d'apprentissage humains. L'UE s'articulera ensuite principalement sur des séances de pratique permettant la prise en main de modèles d'IA pour des applications en biologie (analyse d'image, médecine personnalisée...).

Les principales compétences visées sont donc :

- faire le lien entre apprentissage humain et IA.
- utilisation pratique de différents outils d'IA ou de machine learning en biologie

Le cours se déroulera sur 17 séances de 2h. L'évaluation portera à la fois sur des compétences pratiques en TP et sur un examen testant connaissances et capacités d'analyse de résultats.

Détail de la programmation

- Séance 1 : Présentation générale de l'apprentissage automatique. Données. Apprentissage supervisé et non-supervisé. Méthodologie du ML
- Séance 2 : Apprentissage non supervisé : réduction de dimension
- Séance 3 : Apprentissage non supervisé : clustering
- Séance 4 : Apprentissage supervisé : régression linéaire
- Séance 5 : Régression linéaire pénalisée : LASSO , Ridge
- Séance 6 : Régression logistique
- Séance 7 : Premières méthodes non-linéaires : plus proches voisins, arbres de décision
- Séance 8 : Bagging, boosting, random forests
- Séance 9 : Optimisation ; Support Vector Machines
- Séance 10 : Apprentissage à noyau
- Séance 11 : Réseaux de neurones 1
- Séance 12 : Réseaux de neurones 2

### **Introduction aux systèmes dynamiques – 20h – 3 ECTS**

Systèmes dynamiques de dimension 2 : linéarisation, stabilité, bifurcation. Approche numérique en Python.