



BIOLOGIE

Yves Mechulam

yves.mechulam@polytechnique.edu

Objectifs

Les sciences du vivant du XXI^e siècle bénéficient de deux avancées majeures :

la première est la mise à disposition d'outils pour le séquençage de nombreux génomes, ceux de microorganismes (bactéries, levures, etc.), celui de l'homme, ceux d'animaux utilisés comme modèles expérimentaux : souris, drosophile... et ceux de végétaux.

La deuxième est la mise au point d'outils analytiques et d'imagerie qui se sont développés à l'interface entre la biologie et d'autres disciplines : informatique, physique, chimie. Les progrès réalisés ont été tels qu'il est maintenant possible d'intégrer les aspects moléculaires de la biologie jusqu'à l'étude des écosystèmes, en passant par la cellule, l'organe et l'individu.

Le programme d'approfondissement en Biologie proposé ici regroupe deux thématiques, qui approfondissent chacune un aspect particulier de ces avancées.

Ainsi on distinguera : la génomique et ses conséquences « **Cellules, organismes,**

génomés, évolution » et les interfaces entre la biologie et les autres disciplines « **Biologie aux Interfaces** ». Chaque thématique permet aux élèves du cycle ingénieur et aux étudiants de M1 de se familiariser avec les avancées les plus récentes de la biologie, qui révolutionnent les sciences et techniques du vivant tout en les imposant parmi les sciences de l'ingénieur.

Les deux thématiques, formant le programme, partagent plusieurs modules destinés à prolonger les enseignements de biologie d'année 2.

Ainsi sont présentés les mécanismes du développement des organismes vivants, ainsi que les outils de thérapies géniques et cellulaires qui découlent de la compréhension de ces mécanismes. Les applications et perspectives de la génomique (science des génomes) sont également présentées.

On découvre comment les génomes sont cartographiés et séquencés, comment les

méthodes bioinformatiques permettent de convertir les données issues du séquençage en informations biologiquement pertinentes, et comment la génomique fonctionnelle permet la découverte des nombreux gènes impliqués dans les grandes fonctions physiologiques, chez l'homme comme dans le reste du règne vivant. Le système immunitaire et les pathologies associées sont également traités, ainsi que les applications thérapeutiques dans la lutte contre les maladies infectieuses.

Pour accompagner ces enseignements, les élèves sont invités à mettre en œuvre par eux-mêmes leurs connaissances, en réalisant un programme expérimental d'ingénierie génétique, comprenant éventuellement un volet d'imagerie quantitative. L'objectif de ces travaux expérimentaux est de confronter le futur ingénieur à quelques-unes des stratégies d'exploitation et de reprogrammation des propriétés du vivant et de ses constituants.

Au deuxième trimestre les deux thématiques divergent, avec, d'un premier côté, une focalisation sur la génomique, et d'un second côté, l'introduction d'enseignements d'interface avec d'autres disciplines.

Projet de 3A

Les projets seuls ou en binôme feront l'objet de discussions élèves-enseignants et seront associés l'un des modules suivis.

Le projet est facultatif et ne peut en général pas se substituer à un EA, sauf dans des situations particulières qui sont décrites dans les règles de choix.

Les projets proposés par le Département de Biologie seront accessibles dans le PA BioInformatique.

Le projet pourra se dérouler selon une des trois options suivantes :

• **Projet de recherche**

La première option consiste en une activité de recherche dans un laboratoire. Dans la plupart des projets de cette option, une partie production de données sera suivie d'une partie d'analyses et de modélisation.

Il s'agit d'une première initiation et prise de contact personnelle avec le monde de la recherche.

• **Projet bibliographique**

Cette option consiste à élaborer une recherche bibliographique approfondie sur un sujet précis en rapport avec un des cours de troisième année.

L'objectif est d'être capable de présenter cette thématique de façon synthétique, accessible et pédagogique sous forme d'une présentation de type cours associé à un document écrit.

• **Élaboration de projet**

Cette option consiste à élaborer une demande de financement pour un projet de recherche.

L'objectif sera de définir, sur une des thématiques proposées en troisième année, un projet scientifique novateur et ambitieux, de le rédiger et l'exposer à l'oral.

Pour toutes les options, les échanges entre enseignants du département et entre départements sont fortement souhaités. Toutes ces thématiques pourront aussi être développées dans des perspectives d'ingénieries allant de la mise au point de méthodes, d'outils, de logiciels, de bases de données, ou d'organismes génétiquement modifiés.

Le but du projet de 3^e année est de démarquer un projet personnel autour d'une thématique de recherche en biologie en mêlant réflexion, analyse bibliographique et/ou expériences et analyses de données. Le projet sera à réaliser seul ou en binôme (éventuellement plus mais il faudra alors une répartition très explicite des différentes tâches). Il sera à rattacher à un des enseignements de 3^e année que vous avez choisis afin que vous puissiez parler régulièrement de vos progrès et interrogations avec vos enseignants. Pour que ces projets soient couronnés de succès, il est nécessaire qu'il y ait un réel engagement de votre part, tant dans le temps de travail qui devra y être consacré dès les premières semaines, que dans l'ouverture d'esprit et la maturité dont vous devrez faire preuve,

pour récupérer des sources d'informations diverses auprès de vos enseignants mais aussi des enseignants d'autres départements ou de chercheurs de la région. C'est en faisant vivre votre projet que vous apprendrez le plus.

Une liste de projets et de sujets vous seront présentés lors de l'amphi 0 en septembre.

A l'issue de cette journée, chaque étudiant devra avoir défini un projet, un sujet et/ou choisi un enseignant référent. Les projets et sujets présentés restent ouverts, ils ont pour objectif de vous donner des points de départ et de vous exposer les différents champs d'expertise des enseignants du département de biologie. Libre à vous de faire évoluer ces projets ou de discuter avec les enseignants pour en faire émerger de nouveaux qui vous tiennent à cœur, notre seul objectif étant de nous assurer que ces projets soient cohérents et réalisables pour que vous puissiez vous y épanouir pleinement. Vous aurez également la possibilité de choisir une analyse d'article couplée à un module de P1, en particulier BIO571.

Voici quelques thèmes possibles :

- **Ecologie et Evolution** : Recueils et analyses de données écologiques et analyses de modèles populationnels.
- **Génomique, génétique, transcriptomique** : utilisation de la révolution du séquençage pour étudier des génomes bactériens, des microbiotes, des modulations de l'expression des gènes.

- Biologie cellulaire, Optique et analyse d'images: Utilisation de la révolution en imagerie pour étudier des phénomènes cellulaires et les modéliser.
- Chimie ParisTech,
- ENSTA Paris (Énergie et Environnement),
- ESPCI ParisTech (Bioingénierie),
- Mines ParisTech (Biotechnologie).

- Biomécanique et Biophysique multi-échelles.

- Biologie Synthétique et Systémique: Synthèse d'organismes modifiés, analyses de réseaux et bioinformatique, dossier éthique

Parcours Master IPP:

- Ingénierie et chimie des biomolécules

M2 autres universités:

(exemples: biologie, immunologie, pharmacologie, génétique, neurosciences, bioinformatique, physique et systèmes biologiques, etc.)

Prérequis: au moins un module de Biologie en deuxième année.

Études Doctorales:

Formation par et pour la recherche en biologie moléculaire, cellulaire, biotechnologie...

Prérequis par cours: indiqués sur synapses.

A l'Étranger:

Master (of Science): Bioengineering, Biomedical Engineering, Biochemistry, Environmental Engineering.

Les règles de choix des cours des Parcours Thématiques sont celles des Programmes d'Approfondissements (PA) de l'École polytechnique spécifiques à chaque parcours (voir fiches détaillées). Les cours seront dispensés en anglais ou en français, suivant la présence ou non d'étudiants non-francophones.

Attention:

Dans la plupart des universités anglo-saxonnes, les départements ne proposent que des PhD avec master intégré, pas de masters.

Formations de 4^e année conseillées

Responsable:

Thomas Simonson (T. 48 60):

thomas.simonson@polytechnique.edu

En France:

Écoles en partenariat:

- AgroParisTech (BIOTECH),

Débouchés

Métiers liés à l'ingénierie du vivant, par exemple dans les secteurs suivants:

- Recherche en sciences du vivant
- Biomédecine
- Pharmacie (thérapeutique, diagnostique, prophylactique)
- Cosmétologie
- Agroalimentaire, agrochimie.

Période 3

Stage de recherche en France ou à l'Étranger

BIO591 – Biologie et Écologie.

Biologie aux interfaces

Olivier Tenailon

olivier.tenailon@inserm.fr

26

Objectifs

Cette thématique illustre l'intérêt d'aborder la biologie sous un angle multidisciplinaire. La physique permet de comprendre les propriétés des polymères et des membranes biologiques, d'étudier les assemblages et processus biologiques, de manipuler des molécules uniques, d'effectuer des mesures de forces, etc. La chimie, quant à elle, permet d'étudier le fonctionnement des enzymes. Elle s'inspire du vivant pour inventer des médicaments plus spécifiques. La physique et la chimie du vivant s'appuient sur des approches prédictives reposant sur la modélisation des structures 3D et des fonctions des biomacromolécules.

Les recherches menées aux interfaces de la biologie et des autres disciplines débouchent sur des applications multiples: les concepts de la physique des polymères et des colloïdes aident à diriger les chemins des molécules administrées comme médicaments, la microfluidique joue un rôle essentiel dans le développement de nouvelles méthodes d'analyse biologique et de diagnostic.

Cette thématique s'adresse aux étudiants intéressés par une activité future en ingénierie du vivant, dans les domaines pharmaceutique (thérapeutique, diagnostique et prophylactique); biomédical, agrochimique; cosmétique, ou encore dans les sciences de l'environnement. Cette nouvelle ingénierie s'appuie très largement sur des connaissances pluridisciplinaires combinant biologie, chimie, informatique, physique et mécanique. Selon les choix de cours, chaque élève pourra mettre l'accent sur l'ingénierie biomécanique, l'ingénierie biophysique et biophotonique ou encore sur l'ingénierie biologique, génique et cellulaire. Cette thématique s'adresse aussi à des étudiants intéressés par une formation par la recherche.

Prérequis:

Au moins un module de Biologie en année 2.

Règle de choix

- Pour chacune des périodes P1 et P2, il faut choisir trois cours et un EA. Il est possible d'ajouter un projet 3A, après

discussion avec les enseignants lors de l'amphi de démarrage du PA (cf. ci-dessus).

- Période 3 : stage de recherche en France ou à l'étranger.

Formations de 4^e année conseillées

Responsable :

Thomas Simonson (T. 48 60)

thomas.simonson@polytechnique.edu

En France :

Écoles en partenariat :

- AgroParisTech (BIOTECH),
- Chimie ParisTech,
- ENSTA Paris (Énergie et Environnement),
- ESPCI ParisTech (Bioingénierie),
- Mines ParisTech (Biotechnologie).

Parcours Master IPP :

- Ingénierie et chimie des biomolécules

M2 autres universités :

(exemples : biologie, immunologie, pharmacologie, génétique, neurosciences,

bioinformatique, physique et systèmes biologiques, etc.)

Études Doctorales :

Formation par et pour la recherche en biologie moléculaire, cellulaire, biotechnologie...

A l'Étranger :

Master of Science : Bioengineering, Biomedical Engineering, Biochemistry, Environmental Engineering.

Attention : dans la plupart des universités anglosaxonnes, les départements ne proposent que des PhD avec master intégré, pas de masters.

Débouchés

Métiers liés à l'ingénierie du vivant, par exemple dans les secteurs suivants :

- Recherche en sciences du vivant.
- Biomédecine.
- Pharmacie (thérapeutique, diagnostique, prophylactique).
- Cosmétologie.
- Agroalimentaire, agrochimie.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Les cours seront dispensés en anglais ou en français suivant la présence ou non d'étudiants non-francophones.

Période 1

3 cours au choix

BIO551 – Immunologie et agents infectieux

BIO553 – Biotechnologies pour la médecine et l'agriculture

BIO556 – Genomes: Diversity, Environment and Human Health

BIO557 – Neurosciences

PHY552B – Physics of biological systems: from molecules to microns

1 EA au choix

BIO571A – Travaux expérimentaux de génie génétique

BIO571B – Travaux expérimentaux en imagerie quantitative

BIO572 – Reconstitution personnalisée du processus tumoral

Période 1 ou Périodes 1 et 2

Projet à définir selon l'une des trois options avec les enseignants lors de l'amphi de démarrage du PA: P1 ou P1 et 2.

Le projet BIO511 est facultatif et ne se substitue pas à un EA de P1. La continuation d'un projet BIO511 en deuxième période peut se substituer à un EA de P2. BIO572 peut se poursuivre en P2 (BIO572B) mais est alors un cours supplémentaire qui ne se substitue pas à un EA.

BIO511 – Projet de Biologie

Période 2

3 cours au choix

BIO565 – Biophotonique et applications

CHI/BIO567 – Sciences du médicament

PHY565 – Physics of living systems: polymers, membranes and active matter

1 EA au choix

BIO583 – Sciences des données en imagerie biologique

BIO/INF588 – Projet en bioinformatique

BIO/MEC580 – Projet en modélisation des systèmes vivants

MEC/BIO586 – Biomechanics in health and disease

Période 3

Stage de recherche

BIO591 – Biologie et Écologie

Cellules, Organismes, Génomomes, Évolution

Yves Mechulam

yves.mechulam@polytechnique.edu

30

Objectifs

Cette thématique donne les clés nécessaires à l'exploitation des connaissances issues du séquençage des génomes et à la mise en œuvre des nouvelles applications du génie génétique : dans les thérapies et les biotechnologies. Les bases moléculaires qui sous-tendent la diversité génétique et son évolution dans le monde vivant y sont présentées ainsi que les relations entre l'Homme et son écosystème.

L'arrivée de la biologie dans l'ère post-génomique renforce les connaissances fondamentales et fournit des angles d'attaque, impensables hier, pour la protection et la valorisation de notre environnement.

Les retombées des sciences des génomes sont illustrées, non seulement dans le domaine thérapeutique, mais également dans ceux de la biodiversité et de l'ingénierie du vivant.

Cette thématique s'adresse aux étudiants intéressés par les aspects fondamentaux et

appliqués de l'ingénierie du vivant (biomédecine, pharmacie, agrochimie, agroalimentaire, environnement, etc.)

Prérequis

Au moins un module de Biologie en année 2.

Règles de choix

- Pour chacune des périodes P1 et P2, il faut choisir trois cours et un EA. Il est possible d'ajouter un projet 3A, après discussion avec les enseignants lors de l'amphi de démarrage du PA (cf. ci-dessus).
- Période 3 : stage de recherche en France ou à l'étranger.

Formations de 4^e année conseillées

Responsable :

Thomas Simonson (T. 48 60) :

thomas.simonson@polytechnique.edu

En France :

Écoles en partenariat :

- AgroParisTech (BIOTECH),
- Chimie ParisTech,
- ENSTA Paris (Énergie et Environnement),
- ESPCI ParisTech (Bioingénierie),
- Mines ParisTech (Biotechnologie).

Parcours Master IPP :

- Ingénierie et chimie des biomolécules

M2 autres universités :

(exemples : biologie, immunologie, pharmacologie, génétique, neurosciences, bioinformatique, physique et systèmes biologiques, etc.)

Études Doctorales

Formation par et pour la recherche en biologie moléculaire, cellulaire, biotechnologie...

A l'Étranger

Master of Science : Bioengineering, Biomedical Engineering, Biochemistry, Environmental Engineering.

Attention :

Dans la plupart des universités anglo-saxonnes, les départements ne proposent que des PhD avec master intégré, pas de masters.

Débouchés

Métiers liés à l'ingénierie du vivant, par exemple dans les secteurs suivants :

- Recherche en sciences du vivant.
- Biomédecine.
- Pharmacie (thérapeutique, diagnostique, prophylactique).
- Cosmétologie.
- Agroalimentaire, agrochimie.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Les cours seront dispensés en anglais ou en français suivant la présence ou non d'étudiants non-francophones.

Période 1

3 cours au choix

BIO551 – Immunologie et agents infectieux

BIO553 – Biotechnologies pour la médecine et l'agriculture

BIO555 – Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes

BIO556 – Genomes : Diversity, Environment and Human Health

BIO557 – Neurosciences

1 EA au choix

BIO571A – Travaux expérimentaux de génie génétique

BIO571B – Travaux expérimentaux en imagerie quantitative

BIO572 – Reconstitution personnalisée du processus tumoral

Période 1 ou Périodes 1 et 2

Projet à définir selon l'une des trois options avec les enseignants lors de l'amphi de démarrage du PA : P1 ou P1 et 2.

Le projet BIO511 est facultatif et ne se substitue pas à un EA de P1. La continuation d'un projet BIO511 en deuxième période peut se substituer à un EA de P2. BIO572 peut se poursuivre en P2 (BIO572B) mais est alors un cours supplémentaire qui ne se substitue pas à un EA.

BIO511 – Projet de Biologie

Période 2

3 cours au choix

BIO562 – Biologie des systèmes moléculaires

BIO563 – Epigénétique et ARN non-codant

BIO565 – Biophotonique et applications

CHI/BIO567 – Sciences du médicament

1 EA au choix

BIO583 – Sciences des données en imagerie biologique

BIO/INF588 – Projet en bioinformatique

BIO/MEC580 – Projet en modélisation des systèmes vivants

Période 3

Stage de recherche

BIO591 – Biologie et Écologie