

CHIMIE AUX INTERFACES / CHEMISTRY AND INTERFACES

Responsables Grégory Nocton et Thierry Gacoin

gregory.nocton@polytechnique.edu - thierry.gacoin@polytechnique.edu

Contexte et objectifs

Comment les sciences chimiques peuvent-elles répondre aux grands défis sociétaux ; en santé et en bio-ingénierie, pour l'environnement autour d'énergies propres, sûres et efficaces, pour le développement de technologies quantiques et de matériaux sobres et innovants ?

A l'origine, la chimie est une science naturelle. Elle est l'étude de la matière, d'abord visible, celles des minéraux, des métaux, des substances organiques, puis à une échelle microscopique avec des outils de microscopie et de spectroscopie ainsi que des outils théoriques, largement développés ces dernières années. Etudier la chimie, c'est chercher à comprendre comment la matière se transforme, chercher à fabriquer des produits innovants ou des produits connus avec des méthodes plus sobres en énergie, en limitant les déchets ou en les réutilisant. C'est aussi comprendre la relation structure/propriétés. Pourquoi telle molécule naturelle possède des propriétés thérapeutiques alors que telle autre est un perturbateur endocrinien ? Comment alléger les matériaux magnétiques contenus dans les turbines d'éoliennes ? C'est aussi stocker l'énergie dans des batteries performantes et recyclables et développer des catalyseurs durables pour la production d'hydrogène.

L'ensemble de ce programme d'approfondissement s'adresse ainsi à tous les élèves ingénieurs ayant décidé de construire leur parcours professionnel autour de ces grands défis modernes pour lesquels la chimie est au cœur du jeu avec des interfaces assumées avec la biologie, l'énergie, les sciences de l'environnement, la physique et la mécanique.

Le parcours est construit pour proposer une très large palette de débouchés possibles qu'ils soient dans le monde industriel, dans les corps des ponts eaux et forêt et de la direction générale de l'armement ainsi que dans le monde académique.

Période 1 –

La première partie du programme d'approfondissement « Chimie aux interfaces » comprend des cours de base qui approfondissent des aspects de la chimie proposés en seconde année et en abordent de nouveaux. L'objectif est de donner un ensemble solide de connaissances de base en chimie qui permettra aux étudiants de poursuivre dans tous les sous-parcours proposés en seconde période. A ce titre, les cours obligatoires de noyaux et électrons en chimie moderne et de chimie du solide introduisent la spectroscopie RMN et l'électrochimie ainsi que les connaissances fondamentales de la chimie des phases condensées. Un cours obligatoire supplémentaire est laissé au choix des étudiants afin de compléter leur formation de base avec soit un cours axé sur la

chimie moléculaire, chimie organique et organométallique, soit un cours de physique des électrons dans la phase condensée, soit sur les surfaces molles.

Dans le cadre des enseignements d'approfondissement, il est proposé aux étudiants de choisir une unité de projet expérimentale (PREX) ou un cours aux interfaces d'autres départements (physique, biologie). Compte tenu du caractère expérimental de la chimie (même pour la chimie théorique), il est fortement conseillé aux étudiants de choisir un EA expérimental sur une des deux périodes. Pour ceux-ci, chaque étudiant effectue un travail de recherche avec un chercheur référent sur un thème en développement dans son laboratoire.

En addition à ces éléments, le programme d'approfondissement propose un cours de remise à niveaux en chimie organique et inorganique pour les élèves qui en ressentiraient le besoin.

De plus, un projet tutoré facultatif est proposé (projet de 3A). L'objectif pour les élèves ingénieurs est de s'impliquer plus en profondeur dans un projet de recherche avec l'aide d'un tuteur au sein du centre de recherche. Ce projet s'étale sur les deux périodes et peut être couplé aux EA expérimentales. Ce projet peut éventuellement remplacer un module de cours ou un PREX supplémentaire.

Période 2 –

L'enseignement dispensé en période 2 contient un dernier cours obligatoire de base sur la modélisation moléculaire, puis le programme se divise en sous-parcours que les étudiants doivent sélectionner :

- chimie pour la biologie et la santé,
- chimie durable pour l'énergie, l'environnement
- matériaux innovants pour la technologie.

Chaque sous-parcours nécessite le choix de deux cours et d'un EA. Les cours sont souvent mutualisés avec d'autres programmes d'approfondissement, en énergie, biologie, science et défis de l'environnement et physique et permettent aux élèves ingénieurs de débiter une spécialisation dans un des grands domaines d'avenir de la chimie.

Parmi les choix des EA, les EA expérimentaux sont proposés dans chaque sous-parcours et le projet tutoré se poursuit sur la seconde période.

Les stages de recherche s'articulent autour des trois sous parcours proposés mais pourront être choisis en dehors de la thématique du sous-parcours suivi par l'élève ingénieur.

Débouchés

En France

Ecoles : Chimie ParisTech, ENSTA ParisTech (génie des procédés – environnement), IFP School (Advanced Technology in Petrochemicals – Polymers and Plastics), Mines

ParisTech (développement industriel des procédés avancés)

Master 2 : Dans le domaine de la chimie des matériaux ou de la chimie moléculaire

- Material chemistry and interfaces (IPP)
- Molecular chemistry and interfaces (IPP)

Dans le domaine de la science des matériaux

- Sciences des Matériaux et Nano-Objets (SMNO) – Sorbonne Université, l'ESPCI, Chimie ParisTech et les écoles Normales Supérieures (Ulm et Paris-Saclay).

Dans le domaine de la physique des matériaux (pour les élèves ayant acquis une compétence élargie en physique) :

- Nanosciences, Master de Paris-Saclay
- ICFP – Concepts fondamentaux de la physique – Quantum physics: From atoms to solids, Master de Paris-Saclay/ENS

M2 (autres universités):

- Chimie, Génie chimiques, chimie des matériaux, chimie du solide, nanomatériaux, matériaux fonctionnels

A l'étranger

De nombreux programmes Masters sont accessibles dans différents domaines. Parfois, des compétences élargies sont nécessaires, notamment en physique. Des exemples représentatifs sont donnés ci-dessous:

- Master of Chemical Sciences, Biochemistry, Chemical Engineering (EPFL, Berkeley, UC San Diego), Environmental Engineering.
- Material Science and Engineering : TU Delft (Pays Bas), Nanyang Technological University, National University Singapore (Singapour), EPFL (Suisse), Cambridge, Imperial College (Grande Bretagne), Berkeley, Cornell, Stanford, North Western University, MIT (USA)...
- Physics : FU Berlin, KIT, LMU Munich (Allemagne), ETH Zurich (Suisse)

Métiers

Ce programme vise à donner une culture de base dans le domaine de la chimie moléculaire ou des matériaux, et prépare à des carrières très diverses dans les corps de l'État, les cabinets de conseil et d'ingénierie, en recherche académique en université et organismes de recherche fondamentale (CNRS, INRA) ou appliquée (CEA) et comme cadre de l'industrie (PME, grandes entreprises publiques ou privées, R&D industrielle). Il permet aussi d'envisager l'entrepreneuriat dans des domaines multiples de la santé, pour l'environnement, l'énergie, le recyclage, les matériaux intelligents associé à du machine learning...

Prérequis

Avoir validé au moins un cours de Chimie en année 2 : CHI421, CHI431 ou CH451

COMPOSITION DU PROGRAMME

- **Période 1**

- **2 cours obligatoires**

- CHI551 – Electrons and nuclei in modern chemistry.
 - CHI554 – Solid State Chemistry.

- **1 cours au choix parmi:**

- CHI552 – Methods in Organic and Organometallic Chemistry.
 - PHY552A – Quantum Physics of Electrons in Solids.
 - PHY557 – Surfaces Molles.

- **1 cours facultatif**

- CHI553 – Refresher Course in Organic and Inorganic Chemistry.

- **1 EA au choix parmi:**

(Un EA « Experimental Project » sera obligatoirement choisi en P1 (CHI572) ou en P2 (CHI583A/B/C))

- CHI572 – Experimental Project.
 - PHY570 – Materials Design.

- **1 projet tutoré facultatif**

(Projet à définir avec les enseignants lors de l'amphi de démarrage du PA. De préférence, ce projet s'étale sur les 2 périodes (avec CHI512 en P2) et est couplé aux PREX CHI572-CHI583A/B/C. Il peut remplacer un module d'enseignement. Il est encadré par un tuteur)

- CHI511 – Tutored Project in Chemistry.

- **Période 2**

- **1 cours obligatoire**

- CHI563 – Molecular Modeling.

- **1 projet tutoré facultatif**

(De préférence le projet s'étale sur les 2 périodes (avec CHI511 en P1) et est couplé aux PREX CHI572-CHI583A/B/C. Il peut remplacer un module d'enseignement. Il est encadré par un tuteur)

- CHI512 – Tutored Project in Chemistry.

1 sous-parcours au choix

○ Biology and Health

2 cours obligatoires

- CHI569 – Medicinal Inorganic Chemistry: Using Metal Complexes in Medicine.
- CHI561 – Total Synthesis.

1 EA au choix parmi:

(Un EA « Experimental Project » sera obligatoirement choisi en P1 (CHI572) ou en P2 (CHI583A/B/C))

- CHI583A – Experimental Project in Chemistry for Biology and Health
- BIO/MEC580 – Projet en modélisation des systèmes vivants.

○ Energy and Sustainable Development

2 cours au choix parmi:

- CHI562 – Sustainable Chemistry
- CHI565 – Environmental Chemistry
- PHY563 – Materials Science for Energy Conversion and Storages

1 EA au choix parmi:

(Un EA « Experimental Project » sera obligatoirement choisi en P1 (CHI572) ou en P2 (CHI583A/B/C))

- CHI583B – Experimental Project in Energy and Sustainable Development
- CHI564 – Chemical Engineering
- PHY589 – Laboratory Course in Photovoltaics

○ Innovative Materials for Technology

2 cours obligatoires

- PHY563 – Materials Science for Energy Conversion and Storage
- PHY564B – Nanomaterials: Electronic and Energy Applications

1 EA au choix parmi:

(Un EA « Experimental Project » sera obligatoirement choisi en P1 (CHI572) ou en P2 (CHI583A/B/C))

- CHI583C – Experimental Project in Materials for Technology
- PHY582 – Current Trends in Materials Science
- PHY589 – Laboratory Course in Photovoltaics

● Période 3

Stage de recherche

- CHI591 – Chemistry for Biology and Health
- CHI592 – Chemistry for Energy and Sustainable Development
- CHI593 – Innovative Materials for Technology