

CHIMIE AUX INTERFACES/ CHEMISTRY AND INTERFACES

Grégory Nocton
gregory.nocton@polytechnique.edu

Thierry Gacoïn
thierry.gacoïn@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.

Étudier 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 phy-

sique 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 les 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 expérimental

(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.

Les élèves de 3A/M1 ont également la possibilité de choisir un module appelé « Module de Recherche en laboratoire - Labwork program in chemical science », en période 1 (CHI511) et/ou en période 2 (CHI512). Ce module est à destination d'élèves particulièrement motivés par la recherche, en leur laissant la possibilité d'accéder à un laboratoire où ils pourront, quand ils le voudront, venir travailler sous la responsabilité d'un tuteur et sous réserve de l'accord du directeur d'unité. Ci-dessous quelques règles concernant l'organisation de ces projets.

Note sur le Module de Recherche en laboratoire – Labwork program in chemical science.

- Les élèves ne peuvent valider ce module que sous réserve d'avoir trouvé par eux même un tuteur au sein des laboratoires et après validation des responsables du module et du directeur et d'unité qui fixera les règles d'accès.
- Le module peut être choisi en période 1, en période 2, ou bien sur les deux périodes. Dans ce dernier cas, le sujet peut être le même, ou différent sur les deux périodes.
- Le Module se substitue aux modules de projets expérimentaux PREX (CHI512 en P1 et CHI583A/B/C en P2). L'évaluation du module se fait sous le même format que les PREX avec en plus un entretien avec le tuteur et les responsables de PA.
- En comparaison des PREX, le module requière un investissement significativement plus important, à l'appréciation du tuteur mais au minimum l'équivalent de 6 heures supplémentaires par semaine en plus de la demi-journée du mardi dédiée aux PREX, éventuellement fractionnées sur l'ensemble de la semaine.

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 Module de Recherche en Laboratoire 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

Écoles:

Chimie ParisTech, ENSTA Paris (génie des procédés – environnement), IFP School (Advanced Technology in Petrochemicals – Polymers and Plastics), Mines ParisTech (développement industriel des procédés avancés)

Master:

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'ES-PCI, 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

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

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...

COMPOSITION DU PROGRAMME

Période 1

2 cours obligatoires

CHI551 – Electrons et noyaux en chimie moderne – *Electrons and nuclei in modern chemistry*

CHI554 – Chimie du solide – *Solid State Chemistry*

1 cours au choix parmi

CHI552 – Méthodes en chimie organique et organométalliqueorganomé-
tallique – *Methods in Organic and Organometallic Chemistry*

PHY552A – Physique quantique des électrons dans les solides
Quantum Physics of Electrons in Solids

PHY557 – Surfaces Molles – *Soft Surfaces*

1 cours facultatif

CHI553 – Eléments essentiels en chimie moléculaire – *Essentials in Molecu-
lar Chemistry*

1 EA au choix parmi

CHI572 – Projet expérimental – *Experimental Project*

CHI511 – Module de recherche en laboratoire I – *Labwork Program in Chemi-
cal Sciences I*

PHY570 – Materials Design

[Un EA « Projet Expérimental » ou « Module de Recherche en Laboratoire » (CHI511/
CHI512) sera obligatoirement choisi en P1 (CHI572) ou en P2 (CHI583A/B/C)]

Période 2

1 cours obligatoire

CHI563 – Modélisation moléculaire – *Molecular Modeling*

Biologie et santé *Biology and Health*

Bastien Nay

1 sous-parcours au choix

Période 1

2 cours obligatoires

BIO/CHI567 – Sciences du médicament – *Drug Science*

CHI561 – Synthèse totale – *Total Synthesis*

1 EA obligatoire

(Un EA « *Experimental Project* » ou « *Labwork program in chemical science* » (CHI511/
CHI512) sera obligatoirement choisi en P1 (CHI572) ou en P2 (CHI583A/B/C))

Période 2

1 cours obligatoire

CHI583A – Experimental Project in Chemistry for Biology and Health.

Responsable : Bastien Nay et Corinne Gosmini. Créneau C7 (mardi après-midi)

BIO/MEC580 – Projet en modélisation des systèmes vivants.

Responsable : Arezki Boudaoud. Créneau C7 (mardi après-midi)

CHI512 – Module de recherche en laboratoire II

Labwork program in chemical science II.

Responsable : Grégory Nocton et Thierry Gacoïn (attention, voir note en fin de document)

Période 3

CHI591 – Chemistry for Biology and Health

CHI592 – Chemistry for Energy and Sustainable Development

CHI593 – Innovative Materials for Technology

Energie et développement durable *Energy and Sustainable Development*

Cédric Tard

2 cours au choix parmi

CHI562 – Chimie durable – *Sustainable Chemistry*

CHI565 – Chimie environnementale – *Environmental Chemistry*

PHY563 – Science des matériaux pour la conversion et le stockage de l'énergie – *Materials Science for Energy Conversion and Storages*

1 EA au choix parmi

CHI583B – Projet Expérimental en Energie et Développement Durable – *Experimental Project in Energy and Sustainable Development*

CHI512 – Module de recherche en laboratoire II – *Labwork Program in Chemical Sciences II*

CHI564 – Chimie Industrielle – *Chemical Engineering*

PHY589 – Cours de Laboratoire en Photovoltaïques – *Laboratory Course in Photovoltaics*

[Un EA « Projet Expérimental » ou « Module de Recherche en Laboratoire » (CHI511/CHI512) sera obligatoirement choisi en P1 (CHI572) ou en P2 (CHI583A/B/C)].

Période 3

CHI591 – Chemistry for Biology and Health

CHI592 – Chemistry for Energy and Sustainable Development

CHI593 – Innovative Materials for Technology

Matériaux technologiques innovants *Innovative Materials for Technology*

Thierry Gacoin

2 cours au choix parmi

PHY563 – Science des matériaux pour la conversion et le stockage de l'énergie – *Materials Science for Energy Conversion and Storage*

PHY564B – Nanomatériaux : Applications électronique et énergie – *Nanomaterials: Electronic and Energy Applications*

1 EA au choix parmi

[Un EA « Projet Expérimental » ou « Module de Recherche en Laboratoire » (CHI511/CHI512) sera obligatoirement choisi en P1 (CHI572) ou en P2 (CHI583A/B/C)].

CHI583C – Projet Expérimental Matériaux pour la Technologie – *Experimental Project in Materials for Technology*

CHI512 – Module de Recherche en Laboratoire II – *Labwork program in chemical science II*

PHY582 – Current Trends in Materials Science

PHY589 – Cours de Laboratoire en Photovoltaïques – *Laboratory Course in Photovoltaics*

Période 3

Stages de recherche - Internships (Responsable: Grégory Nocton)

CHI591 – Chimie pour la Biologie et la Santé – *Chemistry for Biology and Health*

CHI592 – Chimie pour l'Énergie et le Développement Durable – *Chemistry for Energy and Sustainable Development*

CHI593 – Matériaux innovants pour la Technologie – *Innovative Materials for Technology*