

# CHIMIE PARISTECH - PSL

## Syllabus

### 1<sup>ère</sup> année du cycle ingénieur



**La première année** est dévolue à la formation de tronc commun pluridisciplinaire, pour apporter à l'élève-ingénieur un niveau de connaissances scientifiques complet dans le domaine des sciences de la matière et de ses transformations.

L'enseignement comprend des cours de base en mathématiques, physique, informatique, des cours orientés vers les fondements théoriques de la chimie (physicochimie, structure de la matière) et des cours de chimie organique et de chimie analytique. Les cours sont complétés par des travaux pratiques sur une journée destinés à enseigner les gestes de base de la chimie à commencer prioritairement par les règles de sécurité et la gestion des risques.

Les métiers de l'ingénieur sont introduits au travers de cours de management axés sur la découverte du monde de l'entreprise et au second semestre un projet transdisciplinaire permettant aux étudiants d'apprendre à gérer un travail en équipe sur une durée de six mois en sachant rendre compte à un client. En fin d'année, après les derniers examens qui ont lieu début mai, les élèves gèrent des travaux pratiques longs ou des projets en laboratoire de recherche.

L'année scolaire se termine avec un stage d'un ou deux mois.

| <b>Semestre 5</b>  | <b>Semestre 6</b>  |
|--|--|
| <p><b>Mathématiques et physique pour l'ingénieur (6 ECTS)</b><br/>                     Mathématiques appliquées pour l'ingénieur<br/>                     Mécanique quantique<br/>                     Informatique et programmation</p> <p><b>Chimie physique et analytique (6 ECTS)</b><br/>                     Physico-chimie et interfaces<br/>                     Formation expérimentale en chimie-physique et analytique</p> <p><b>Chimie moléculaire 1 (6 ECTS)</b><br/>                     Groupes Fonctionnels : Synthèse et Réactivité<br/>                     Élément de Spectroscopie pour la Chimie Moléculaire<br/>                     Risque chimique</p> <p><b>Structure de la matière (6 ECTS)</b><br/>                     Chimie du solide<br/>                     Cristallographie</p> <p><b>Connaissance de l'entreprise, langues et culture 1 (6 ECTS)</b><br/>                     Management Sciences Economiques et Sociales – connaissance de l'entreprise<br/>                     Anglais général, scientifique et professionnel<br/>                     Séminaires « inclusion-team building » et « RSE-Ingénieur responsable »</p> <p><b>Cours optionnels</b><br/>                     Sport<br/>                     Langue vivante 2</p> | <p><b>Matière et interactions (5 ECTS)</b><br/>                     Liaison chimique<br/>                     Interaction Rayonnement-Matière<br/>                     Formation Expérimentale Interaction Rayonnement Matière (spectroscopie et cristallographie)</p> <p><b>Chimie moléculaire 2 (5 ECTS)</b><br/>                     Groupes fonctionnels : synthèse et réactivité<br/>                     TP Projets<br/>                     Formation expérimentale en chimie moléculaire</p> <p><b>Procédés (5 ECTS)</b><br/>                     Génie chimique<br/>                     Méthodes numériques<br/>                     Formation Expérimentale en génie chimique</p> <p><b>Chimie analytique (5 ECTS)</b><br/>                     Chimie des solutions<br/>                     Méthodes séparatives<br/>                     Electrochimie<br/>                     Formation expérimentale Chimie Physique et analytique</p> <p><b>Connaissance de l'entreprise, langues et culture 2 (6 ECTS)</b><br/>                     Management sciences économiques et sociales – Connaissances de l'entreprise – Intro à l'économie et management de l'innovation<br/>                     Anglais général, scientifique et professionnel<br/>                     Projet transdisciplinaire<br/>                     Séminaires « Journées de l'innovation »</p> <p><b>Sensibilisation aux enjeux environnementaux sociétaux et professionnels (4 ECTS)</b><br/>                     Stage de découverte entreprise<br/>                     Formation à la transition écologique</p> <p><b>Cours optionnels</b><br/>                     Sport<br/>                     Langue vivante 2</p> |

Possibilité de prendre une année césure

**SEMESTRE 5**

|  |   |                   |           |                |  |
|--|---|-------------------|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S5</b>   | <b>MH11ES.MAI Mathématiques appliquées pour l'ingénieur</b><br><i>Mots clés : algèbre, transformée de Fourier, statistiques</i> |                   |           |                |  |
| Responsable : Frédéric Wiame, Maître de conférences<br>frederic.wiame@chimieparistech.psl.eu   |   |                   |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>  | <i>Cours</i>  | <i>TD</i><br>24 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : Examen écrit</i> |
| <p><b>Descriptif :</b></p> <p>Le cours de mathématiques s'inscrit dans le parcours pédagogique de Chimie Paris en fournissant aux élèves les notions essentielles de mathématiques leur permettant d'appréhender les cours et TP de 1ère année (Physique I : mécanique quantique, Physique II : interaction rayonnement-matière, TP IRM et Matériaux, ...). Il s'agit donc d'un enseignement à but appliqué pour lequel la mise en pratique des notions introduites est primordiale.</p> <p>Le cours se divise en trois parties :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Mathématiques appliquées à la mécanique quantique où l'on introduit la notion d'espace de Hilbert, la notation de Dirac, le calcul des grandeurs dans un espace vectoriel complexe, et leur application dans le cadre de la théorie de la mesure en mécanique quantique.</li> <li>2) Mathématiques appliquées au traitement du signal où l'on discutera de l'utilisation des transformées de Fourier comme outils de traitement et d'analyse.</li> <li>3) Mathématiques appliquées à l'analyse de données où l'on s'intéressera aux notions de probabilités, statistiques et distributions. Des concepts essentiels tels que la moyenne, l'écart-type et la méthode de régression linéaire seront introduits et appliqués aux calculs d'incertitudes et à l'analyse de données.</li> </ol> |   |                   |           |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b></p> <p>A l'issue du cours les étudiants devront être capables :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- d'utiliser le formalisme de Dirac et le calcul dans un espace de Hilbert dans le cadre d'un problème de physique ou chimie quantique,</li> <li>- d'analyser et de traiter un signal en utilisant les propriétés de la transformation de Fourier et de la distribution de Dirac,</li> <li>- d'évaluer les incertitudes sur des grandeurs mesurées et calculées et d'utiliser les méthodes d'analyse de données pour juger de la pertinence d'un modèle.</li> </ul>  |   |                   |           |                |  |
| <p><b>Pré-requis :</b></p> <p>Algèbre : espaces vectoriels de dimension finie (définition, bases, produit scalaire et norme dans un espace euclidien, espace dual et base duale, forme linéaire), algèbre matricielle (matrice, opérations sur les matrices, déterminants, matrice d'une application linéaire, diagonalisation, matrice de changement de bases).</p> <p>Analyse : intégration, intégration par parties, primitives usuelles.</p> <p>Probabilités : notion d'évènement, probabilité d'un évènement, évènements indépendants, probabilités conditionnelles, théorème de Bayes, formule des probabilités totales, densité de probabilité.</p>   |   |                   |           |                |  |
| <p><b>Langue du cours :</b> français</p> <p><b>Documents, lien :</b> Poly, diapos, corrigés, questionnaires en ligne<br/><a href="https://moodle.psl.eu/course/view.php?id=14878">https://moodle.psl.eu/course/view.php?id=14878</a></p>   |   |                   |           |                |  |

|   |                      |  |           |                |  |
|---|----------------------|--|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S5</b>  | <b>MH11ES.MQ</b>     | <b>Mécanique Quantique</b><br><i>Mots clés : concepts fondamentaux de la physique quantique, systèmes quantiques modèles</i> |           |                |  |
| Responsable : Laurent Binet, Professeur, , Chimie ParisTech-PSL<br>laurent.binet@chimieparistech.psl.eu   |                      |  |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i><br>12 h | <i>TD</i><br>12 h  | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : examen écrit</i> |
| <b>Descriptif :</b><br>Ce cours vise à donner aux étudiants les outils conceptuels nécessaires pour aborder les futures innovations technologiques dans lesquelles la chimie jouera un rôle majeur (ex. technologies quantiques), pour comprendre les propriétés fonctionnelles des molécules et des matériaux et s'appropriier les méthodes de pointe d'étude de la matière, en particulier les spectroscopies. Sont ainsi introduits les postulats de la mécanique quantique, les relations de Heisenberg, les outils mathématiques, les principaux systèmes modèles (puits et marche de potentiel, oscillateur harmonique et atome d'hydrogène), les moments cinétiques et les propriétés quantiques des particules indiscernables.  |                      |  |           |                |  |
| <b>Acquis d'apprentissage :</b><br>L'étudiant devra être capable:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>- D'expliciter les différences conceptuelles entre la physique classique et la physique quantique.</li> <li>- D'utiliser le formalisme mathématique de la physique quantique.</li> <li>- D'appliquer les postulats de la physique quantique dans un problème de physique quantique.</li> <li>- De définir les caractéristiques et les propriétés des systèmes modèles.</li> <li>- De ramener un système complexe à un système modèle par le biais d'approximations.</li> <li>- De mobiliser ses connaissances pour résoudre un problème complexe et / ou transverse (AAG1).</li> </ul>  |                      |  |           |                |  |
| <b>Pré-requis :</b><br>Physique classique : impulsion, moment cinétique, énergie cinétique et énergie potentielle, lois de Newton, lois de conservation de l'énergie et du moment cinétique pour un système isolé, théorème du moment cinétique, dynamique d'un système de 2 particules en interaction, champ électrique et énergie potentielle électrostatique d'une charge ponctuelle, champ magnétique et courants microscopiques, ondes planes, vecteur d'onde.<br><br>Mathématiques : calculs avec des nombres complexes, algèbre dans un espace de Hilbert (calcul de produits scalaires, notation de Dirac, bases discrètes ou continues, produit tensoriel, opérateurs linéaires, valeurs propres et vecteurs propres, calculs matriciels, diagonalisation), transformation de Fourier, distribution de Dirac, équations différentielles linéaires du 1 <sup>er</sup> et du 2 <sup>nd</sup> ordre à coefficients constants, dérivées partielles de fonctions de plusieurs variables, Laplacien, gradient, coordonnées cartésiennes et sphériques. |                      |  |           |                |  |
| <b>Langue du cours :</b> français (anglais sur demande)<br><b>Documents, lien :</b> <a href="https://moodle.psl.eu/">https://moodle.psl.eu/</a>   |                      |  |           |                |  |

|   |   |                   |           |                |   |
|---|---|-------------------|-----------|----------------|---|
| <b>1A<br/>S5</b>  | <b>MH11ES.IP Informatique et programmation</b><br><i>Mots clés : programmation, C</i> |                   |           |                |   |
| Responsable : Julien Ciaffi<br>julien.ciaffi@chimieparistech.psl.eu   |   |                   |           |                |   |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i>  | <i>TD</i><br>26 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : Evaluation sur ordinateur</i> |
| <p><b>Descriptif :</b></p> <p>Ce module vise à former l'élève ingénieur aux concepts de base de la programmation, et de le rendre apte à construire de façon autonome une application en utilisant des algorithmes simples et connus. Le langage de programmation utilisé est le C, langage fondamental dans les domaines industriels et académiques. Celui-ci permet d'introduire des aspects fondamentaux en programmation tels que le choix de représentations appropriées des données en mémoire, les notions de précision numérique, l'exploitation à bon escient des résultats de calculs numériques ou encore la structure ou la logique d'un programme lors de la construction d'une application permettant de répondre à un problème donné.</p> <p>Une attention particulière est portée sur l'efficacité, la qualité et les limites des solutions informatiques, afin de rendre l'élève ingénieur apte à dialoguer avec les informaticiens de sa future entreprise ou de son futur laboratoire, et de lever l'aspect boîte noire généralement associé à l'informatique.</p> <p>La formation est basée sur des séances cours/TD, en s'appuyant sur des exemples majoritairement pris dans le domaine de la chimie en utilisant le logiciel libre Code::Blocks, facilement installable sur tout ordinateur personnel.</p> |   |                   |           |                |   |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b></p> <p>L'étudiant devra être capable :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- d'analyser un problème et le traduire dans un langage de programmation généraliste</li> <li>- d'imaginer et de concevoir une application utilisant une structure modulaire et une représentation appropriée des données en mémoire</li> <li>- d'évaluer, de contrôler et de valider des algorithmes et des programmes</li> </ul>   |   |                   |           |                |   |
| <p><b>Pré-requis :</b></p> <p>Aucun</p>   |   |                   |           |                |   |
| <p><b>Langue du cours :</b> français</p> <p><b>Documents, lien :</b> polycopié, documents de TDs, documents supplémentaires</p>   |   |                   |           |                |   |

|  |  |                   |           |                |  |
|--|--|-------------------|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S5</b>   | <b>MH11ES.PCI Physico-chimie et interfaces</b><br><i>Mots clés : mélange, idéalité, non idéalité des systèmes physico-chimiques, interfaces et colloïdes</i> |                   |           |                |  |
| Responsable : Virginie LAIR Professeur<br>virginie.lair@chimieparistech.psl.eu   |  |                   |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>  | <i>Cours</i><br>12 h   | <i>TD</i><br>12 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : contrôle terminal écrit et petits tests d'évaluation en ligne (CC)</i> |
| <p><b>Descriptif :</b></p> <p>Le cours de Physico-Chimie et Interfaces propose aux étudiants-ingénieurs des outils pour caractériser les phénomènes qui se produisent au cœur des réactions chimiques et prédire leur comportement. Il constitue une base indispensable pour la compréhension des propriétés de mélange et d'interactions aussi bien pour un spécialiste en matériaux, en biochimie ou en génie chimique.</p> <p>A partir des notions thermodynamique connues (enthalpie, enthalpie libre, entropie, potentiel chimique, grandeurs molaires,...), l'étudiant sera capable de mettre en relation des propriétés a priori indépendantes et d'exprimer les effets de variables intensives telles que la température et la pression. Ces notions seront mis en application pour les gaz, les solutions ioniques ainsi que pour les mélanges binaires (liquide/gaz) en insistant sur la notion d'idéalité et de non idéalité. Nous verrons comment, à partir de lois modèles d'idéalité, développer des modèles valables pour des comportements réels (modèles de van der Waals, Debye-Huckel, solutions régulières par exemple). La notion d'activité et de coefficients d'activité sera au cœur de cette partie tout en s'appuyant sur des applications concrètes de mesures et de détermination. L'application à la détermination de masse molaire de macro molécules sera illustrée en utilisant les propriétés colligatives.</p> <p>Ensuite, nous introduirons les phénomènes thermodynamiques au niveau des interfaces, en particulier pour des surfaces liquides. Les notions de base indispensables à la compréhension des phénomènes interfaciaux seront décrits, expliqués et illustrés (tension de surface, capillarité, angle de contact et adsorption). Les tensioactifs et leurs propriétés seront également décrits, en insistant sur les applications en émulsion. Puis, les bases thermodynamiques et cinétiques de la stabilité des colloïdes seront également présentées, en illustrant les phénomènes par des exemples de la vie courantes, d'imagerie médicale, ou d'application environnementales et industriels. Cette partie constitue la base indispensable à l'étude de la matière molle.</p> |  |                   |           |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir et identifier les paramètres d'un système gazeux, ioniques, binaire, à partir de notions de thermodynamique.</li> <li>- Analyser et construire un modèle par comparaison de ses prévisions aux résultats expérimentaux ou à un comportement idéal.</li> <li>- Evaluer les limites de validité des modèles sélectionnés</li> <li>- Identifier et décrire les phénomènes aux interfaces.</li> <li>- Expliquer et apprécier la notion de métastabilité (ex des émulsions et colloïdes).</li> </ul>  |  |                   |           |                |  |
| <b>Pré-requis :</b> les principes de la thermodynamique, équilibre chimique, chimie des solutions idéales  |  |                   |           |                |  |
| <p><b>Langue du cours :</b> français</p> <p><b>Documents, lien :</b> quelques supports en pdf et photocopiés d'exercices, plateforme Moodle</p>  |  |                   |           |                |  |

|   |                                 |  |                     |                |   |
|---|---------------------------------|--|---------------------|----------------|---|
| <b>1A<br/>SS56</b>  | <b>MH11FECP<br/>et MH12FECP</b> | <b>Formation expérimentale en chimie-physique et analytique</b><br><i>Mots clés : Chimie physique et analytique, électrochimie et méthodes séparatives</i> |                     |                |   |
| Responsable : Laura Trapiella, Maître de conférences<br>laura.trapiella@chimieparistech.psl.eu  |                                 |  |                     |                |   |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i>                    | <i>TD</i>  | <i>TP</i><br>67.5 h | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : Examen pratique, rapport bibliographique, compte-rendus expérimentaux, exposés oraux, investissement journalier</i> |
| <p><b>Descriptif :</b><br/> Les travaux pratiques de ce module sont en harmonie avec les cours de physico-chimie et interfaces, chimie des milieux réactionnels, électrochimie et méthodes séparatives. Ils permettent d'illustrer et de mettre en pratique les notions théoriques de cours ainsi que d'appréhender leurs domaines d'application dans l'industrie. Un premier volet concerne l'analyse de traces / ultratrace en lien avec les domaines du contrôle de qualité, du contrôle de procédés industriels et de la protection de l'environnement : méthodes d'extraction liquide/liquide de cations métalliques (aval du cycle nucléaire et en hydrometallurgie) ; méthodes séparatives (chromatographie ionique, chromatographie liquide haute performance, électrophorèse capillaire) pour la détermination et la quantification de polluants inorganiques ou organiques ; méthodes électrochimiques (électrodes sélectives) pour la détermination et la quantification de polluants dans des matrices environnementales (eaux, sols) ainsi que pour la décontamination (ultrafiltration). Un deuxième volet concerne les études aux interfaces pour mieux appréhender la synthèse et la caractérisation de nouveaux matériaux et les procédés employant des interfaces : synthèse de matériaux par voie électrochimique (électrodépôt) ; caractérisation électrocinétique de membranes et application à l'électrodialyse (purification de l'eau) ; thermodynamique des surfaces (tension de surface, angle de contact) pour la caractérisation d'une formulation de détergents et de surfaces fonctionnalisées (design de pare-brises, par exemple) ; caractérisation de milieux complexes (électrode à hydrogène, densimètre, spectroscopie UV-visible, voltampérométrie cyclique) pour la compréhension et la prédiction des phénomènes dans les procédés industriels mettant en œuvre des milieux hydro-organiques et micellaires, des procédés catalytiques...</p> |                                 |  |                     |                |   |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b><br/> A l'issue de cette formation pratique, les étudiants seront capables de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivre les règles d'hygiène et de sécurité</li> <li>- acquérir les bases pratiques en laboratoire</li> <li>- Tenir à jour un cahier de laboratoire</li> <li>- Analyser, exploiter et critiquer leurs résultats expérimentaux</li> <li>- Utiliser les notions de cours adéquates</li> <li>- Rédiger un compte-rendu expérimental</li> <li>- Faire un exposé oral de leurs résultats devant un auditoire initié</li> <li>- Chercher et trouver des données de la littérature</li> </ul>  |                                 |  |                     |                |   |
| <p><b>Pré-requis :</b><br/> Thermodynamique des solutions et des interfaces</p>   |                                 |  |                     |                |   |
| <p><b>Langue du cours :</b> français<br/> <b>Documents, lien :</b> polycopier, QCM d'autoévaluation, tutoriaux pour la prise en main des appareils et de leurs logiciels de pilotage</p>  |                                 |  |                     |                |   |

|   |   |                   |           |                |  |
|---|---|-------------------|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S5</b>  | <b>MH11ES.SR      Groupes Fonctionnels : Synthèse et Réactivité</b><br><i>Mots clés :</i> |                   |           |                |  |
| Responsable : : Sylvain Darses<br>sylvain.darses@chimieparistech.psl.eu   |   |                   |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i><br>12 h  | <i>TD</i><br>12 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : Examen écrit</i> |
| <b>Descriptif :</b><br>Le module MH11ES.SR « Groupes fonctionnels : synthèse et réactivité » aborde la chimie des composés carbonés au travers de l'étude des réactions caractéristiques des principaux groupes fonctionnels. Dans cette première partie d'un enseignement dispensé sur deux semestres, seront principalement abordées la formation et la réactivité des liaisons carbone-carbone : liaison chimique, hybridation, dérivés halogénés (substitution, élimination, ...), alcènes et alcynes (addition, oxydation, ...), diènes (cycloaddition-[4+2], ...), aromatiques (substitution électrophile, réduction, réactivité en position benzylique, ...), alcools (activation, protection, oxydation,...), amines (formation, protection). |   |                   |           |                |  |
| <b>Acquis d'apprentissage :</b><br>A l'issue du module MH11ES.SR, les étudiants auront acquis quelques bases essentielles en chimie organique et pourront appréhender la réalisation de synthèses simples. Ils seront en possession des outils nécessaires à la compréhension et l'analyse des mécanismes et de la réactivité des molécules, leur permettant d'approfondir leurs connaissances avec le module MH12ER.SR.  |   |                   |           |                |  |
| <b>Pré-requis :</b><br>Notions de chimie organique  |   |                   |           |                |  |
| <b>Langue du cours :</b> français<br><b>Documents, lien :</b> Polycopié   |   |                   |           |                |  |

|   |   |                  |           |                |  |
|---|---|------------------|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S5</b>  | <b>MH11ES.SCM    Elements de spectroscopie pour la chimie moleculaire</b><br><i>Mots clés : RMN, spectrométrie de masse, spectroscopie moléculaire, UV-vis IR, résonance magnétique nucléaire</i> |                  |           |                |  |
| Responsable : Frédéric de Montigny, Maître de Conférences<br>frederic.de-montigny@chimieparistech.psl.eu  |   |                  |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i><br>9 h   | <i>TD</i><br>6 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : examen écrit</i> |
| <p><b>Descriptif :</b><br/>Le cours a pour objectif de présenter les méthodes d'analyse usuelles des molécules organiques, afin que l'élève-ingénieur comprenne les bases fondamentales de ces méthodes, et soit capable d'analyser différents types de molécules. Il est divisé en trois parties : RMN, spectrométrie de masse et spectroscopies moléculaires.</p> <p>* Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'analyse de spectres RMN 1H et 13C, la détermination de la structure covalente de molécules organiques, les principes de la RMN : notion de spin, effet Zeeman, déplacement chimique, couplage scalaire, les techniques d'enregistrement de spectres : RMN 1H : diastéréotopie, spectres au 1er ordre et 2nd ordre, ... RMN 13C : expériences 1D, découplage, ...</li> </ul> <p>* Spectrométrie de masse :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les principes de base de la spectrométrie de masse et les généralités de cette méthode de spectrométrie (Masse moléculaire, moyenne, isotopie, résolution, ...)</li> <li>- Les différents modes d'ionisation et d'analyseurs de masse et leur application dans l'étude de composés plus complexes.</li> <li>- Les règles de fragmentations générales permettant l'analyse de spectres de composés organiques variés présentant les principales fonctions rencontrées en chimie organique.</li> </ul> <p>* Spectroscopie moléculaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rappel des fondamentaux régissant IR, l'UV-vis avec une petite introduction sur le Raman, et l'activité optique</li> </ul> <p>...</p> |   |                  |           |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b><br/>Acquisition de connaissances théoriques et pratiques de la spectrométrie de masse (SM) et de la Résonance Magnétique Nucléaire (RMN). Dans ces cours sont présentés les concepts de base de la SM, de la spectroscopie et de la RMN permettant de comprendre les applications de ces techniques pour l'identification des composés organiques. Les séances d'exercices permettront de se familiariser à avec l'interprétation de spectres de petites molécules et macromolécules.</p>  |   |                  |           |                |  |
| <b>Pré-requis :</b>   |   |                  |           |                |  |
| <p><b>Langue du cours :</b> français<br/><b>Documents, lien :</b> <a href="https://coursenligne.chimie-paristech.fr/enrol/index.php?id=16">https://coursenligne.chimie-paristech.fr/enrol/index.php?id=16</a></p>   |   |                  |           |                |  |

|  |  |           |           |                |   |
|--|--|-----------|-----------|----------------|---|
| <b>1A<br/>S5</b>   | <b>MH11ES.RC Risque Chimique</b><br><i>Mots clés : toxicité, incendie, explosions, fiche de données sécurité</i> |           |           |                |   |
| Responsable : Michael Tatoulian Professeur<br>michael.tatoulian@chimieparistech.psl.eu   |  |           |           |                |   |
| <i>ECTS :</i>  | <i>Cours</i><br>16 h   | <i>TD</i> | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation</i> : Examen écrit A la fin de chaque semestre la validation des 5 compétences de la grille du CECRL et de : le travail personnel, la connaissance de la culture et la communication interculturelle, la motivation, la participation aux cours, l'assiduité. |
| <b>Descriptif :</b><br>Cet enseignement vise tout d'abord à donner les éléments de base des risques chimiques afin de savoir décrypter une fiche de données de sécurité et de connaître l'ensemble des paramètres d'évaluation des risques toxicologiques et incendie. Une attention particulière sera portée sur les propriétés physico-chimiques (FDS) utiles pour appréhender les risques chimiques. Différents scénarii d'exposition seront présentés afin de permettre aux élèves d'évaluer les risques chimiques liés à une surexposition possible en produit chimique pouvant conduire à une intoxication ou un risque d'explosion/incendie ; démarche qui permettra notamment de définir les bonnes pratiques en laboratoire et d'assurer la mise en sécurité d'un poste opératoire. Les étudiants seront également formés aux dangers de l'électricité statique, et des explosions de poussières. Enfin, les étudiants seront initiés à la problématique de l'inertage dans les réacteurs chimiques et mettront en place des barrières de prévention/protection grâce à l'utilisation de la méthode What-if dans une démarche de mise en sécurité d'un procédé. L'enseignement sera ensuite complété par les aspects réglementaires liés à la mise en place de REACH et la réglementation relative aux atmosphères explosives (ATEX). |  |           |           |                |   |
| <b>Acquis d'apprentissage :</b><br>A la fin du cours, les étudiants doivent pouvoir:<br>Etre capable d'appréhender les risques chimiques (risques toxicologiques – risques incendie) à partir de propriétés physico-chimiques<br>Etre capable de faire des scénarii d'exposition et d'en évaluer les risques<br>Etre capable de définir les processus d'inertage des réacteurs chimiques<br>Faire l'analyse d'un poste de travail  |  |           |           |                |   |
| <b>Pré-requis :</b><br>Chimie générale   |  |           |           |                |   |
| <b>Langue du cours :</b> français<br><b>Documents, lien :</b> polycopiés <a href="https://coursenligne.chimie-paristech.fr">https://coursenligne.chimie-paristech.fr</a>   |  |           |           |                |   |

|  |                         |   |           |                |  |
|--|-------------------------|---|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S5</b>   | <b>MH11ES.CS</b>        | <b>Chimie du Solide</b><br><i>Mots clés : modèle ionique, Energie réticulaire, rayon ionique, théorie du champ cristallin, défauts ponctuels, la non stoechiometrie</i> |           |                |  |
| Responsable : Gerard Aka, Professeur<br>gerard.aka@chimieparistech.psl.eu  |                         |   |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>  | <i>Cours</i><br>13.50 h | <i>TD</i><br>12 h   | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation :</i> Examen écrit intégrant une approche documentaire |
| <p><b>Descriptif :</b></p> <p>L'objectif du présent enseignement est de permettre à l'étudiant d'acquérir des compétences sur la description structurale et les propriétés chimique et physique d'un solide cristallisé. Une première partie de l'enseignement est consacrée à la description des caractères structuraux de différents solides ioniques. La thermodynamique de formation de ces solides est ensuite présentée. Des repères historiques, relatifs à la conception des différentes échelles de rayon ionique, sont mentionnés. Des modèles, justificatifs de l'écart au modèle ionique parfait, sont décrits, suivi de la théorie du champ cristallin ainsi que de ses conséquences thermodynamiques, structurales et magnétiques.</p> <p>Dans une deuxième partie, le modèle du solide cristallin parfait est complété par l'introduction des imperfections ou défauts existant dans tous les solides réels. C'est l'ensemble "cristal Parfait + défauts" qui constituera le modèle du solide réel. L'accent est mis sur les défauts ponctuels et la non stoechiometrie dans les solides. Les mécanismes de formation des défauts ponctuels sont expliqués selon la nature du type de défaut. Les propriétés physiques remarquables qui découlent des défauts du cristal réel sont présentées et discutées dans la dernière partie de cet enseignement.</p> |                         |   |           |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b></p> <p>Au terme de cet enseignement l'étudiant sera capable d'acquérir les connaissances et compétences suivantes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 - Savoir décrire des principaux types structuraux caractérisant les solides</li> <li>2 - Savoir calculer et interpréter l'énergie de réseau d'un solide</li> <li>3 - Savoir utiliser l'échelle des rayons ioniques selon Shanon et Prewitt pour mieux comprendre la structure du solide</li> <li>4 - Savoir faire une analyse des conséquences thermodynamiques, structurales ou magnétiques liées à l'existence du champ cristallin dans un solide donné.</li> <li>5 - Savoir distinguer les différents types de défauts intrinsèques et extrinsèques dans un solide</li> <li>6 - Savoir écrire le mécanisme de formation des défauts ponctuels dans un solide non stœchiométrique et en déduire les propriétés remarquables (physico-chimique) associées à chaque type de défaut.</li> </ol>  |                         |   |           |                |  |
| <p><b>Pré-requis :</b></p> <p>L3/M1</p>  |                         |   |           |                |  |
| <p><b>Langue du cours :</b> français</p> <p><b>Documents, lien :</b> Cours photocopié et en version numérique, logiciel de visualisation de la structure des solides cristallins, diaporama du cours, annale numérique d'exercices corrigées<br/><a href="https://moodle.psl.eu/">https://moodle.psl.eu/</a></p>   |                         |   |           |                |  |

|  |  |                   |           |                |  |
|--|--|-------------------|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S5</b>   | <b>MH11ES.CDS Cristallographie</b><br><i>Mots clés : Cristallographie géométrique, réseaux, symétries, diffraction X</i> |                   |           |                |  |
| Responsable : Gilles Wallez, Professeur<br>gilles.wallez@upmc.fr   |  |                   |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>  | <i>Cours</i><br>12 h   | <i>TD</i><br>12 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : examen final</i> |
| <b>Descriptif :</b><br>La Cristallographie Géométrique décrit le solide cristallin par la répétition d'un motif chimique aux noeuds d'un réseau, dont l'invariance par translation et symétrie est à la base des propriétés. Dans un second temps, la Radiocristallographie (diffraction des rayons X), est introduite comme l'outil d'analyse permettant de déterminer la structure du cristal à l'échelle atomique.  |  |                   |           |                |  |
| <b>Acquis d'apprentissage :</b><br>Cette UE est destinée à rendre l'élève autonome dans son appréhension des symétries et de l'édifice atomique des structures cristallines. Ces aspects géométriques seront traités en lien étroit avec la diffraction X sur poudre qui lui permettra de résoudre des structures simples. Intégrée dans un ensemble plus vaste, cette UE fait notamment le lien avec les enseignements de Chimie du Solide et sert de base à la compréhension des propriétés des matériaux. |  |                   |           |                |  |
| <b>Pré-requis :</b><br>géométrie, trigonométrie, produits scalaire et vectoriel, calcul matriciel, exponentielles complexes  |  |                   |           |                |  |
| <b>Langue du cours :</b> français<br><b>Documents, lien :</b> Polys de cours et TD moodle  |  |                   |           |                |  |

|   |   |           |           |                |  |
|---|---|-----------|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S5</b>  | <p style="text-align: center;"><b>Management sciences économiques et sociales –<br/>Connaissance de l'entreprise</b></p> <p><i>Mots clés :</i> ingénieur, entreprise, management, organisation, enjeux sociétaux et écologiques, ingénieur responsable et acteur des transformations et transitions, RSE, gouvernance, projet professionnel</p> |           |           |                |  |
| <p>Responsables : Philippe Vernazobres et Delphine Bourland, Maître de Conférence et enseignante à Chimie ParisTech<br/>philippe.vernazobres@chimieparistech.psl.eu et delphine.bourland@chimieparistech.psl.eu</p>   |   |           |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i><br>40 h  | <i>TD</i> | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation :</i> Note de synthèse sur une entreprise + Articulation avec le stage de 1A où ils seront en posture d'observation participante |
| <p><b>Descriptif :</b><br/>                 Cette UE vise à former et professionnaliser des ingénieurs capables d'avoir une vision globale et transdisciplinaire de leur environnement. Il s'agit de leur donner des outils pour les rendre capables de s'intégrer dans une organisation et d'appréhender les enjeux complexes de l'entreprise.<br/>                 Thèmes du cours – 12h</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les apports des SHS à la compréhension de l'entreprise et du management (économie, sociologie...)</li> <li>- Les ingénieurs et leurs métiers au sein de l'organisation.</li> <li>- Les grandes évolutions de la pensée managériale.</li> <li>- Les fondamentaux du management : compétences managériales et leadership.</li> </ul> <p>Thèmes des ateliers – 14h</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Projet professionnel : trajectoire, ambition, CV français-anglais, lettres de motivation</li> <li>- Approche économique de l'entreprise : définitions, acteurs, finalités, organisation, performance économique, sociétale et environnementale</li> <li>- Gouvernance : sensibilisation aux différents modes de gouvernance, identification des parties prenantes</li> </ul> <p>Thèmes des séminaires – 14h</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Team-building : séminaire inclusion-coopération (7h)</li> <li>- Responsabilité Sociétale de l'Entreprise-RSE : l'ingénieur responsable, échanges avec des professionnels (3,5h)</li> <li>- Tables rondes : les métiers de l'ingénieur, échanges avec des professionnels (3,5h)</li> </ul> |   |           |           |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b><br/>                 A l'issue des modules, l'étudiant sera capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprendre les concepts et le vocabulaire de base des champs économiques et managériaux utiles au travail en entreprise et dans les organisations</li> <li>- Appréhender la réalité et les enjeux complexes de l'entreprise : performance économique, sociale, sociétale et environnementale; enjeux de transition et d'impacts écologiques.</li> <li>- S'insérer et se situer dans une organisation</li> <li>- S'insérer et prendre sa place dans un collectif en prenant en compte les dynamiques de groupe, d'intelligence collective et de différences culturelles.</li> <li>- Réfléchir et agir de manière responsable et éthique.</li> <li>- Mieux se connaître, réfléchir à son projet professionnel, maîtriser des outils de recherche d'emploi</li> </ul>   |   |           |           |                |  |
| <p><b>Pré-requis :</b></p>  |   |           |           |                |  |
| <p><b>Langue du cours :</b> français<br/> <b>Documents, lien :</b></p>  |   |           |           |                |  |

|  |   |                     |           |                |  |
|--|---|---------------------|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>SS56</b>   | <b>MH11TC.ANG; Anglais général, scientifique et professionnel</b><br><b>MH12TC.ANG;</b> <i>Mots clés : Anglais, Général, Scientifique, Professionnel, Compétences Interculturel</i> |                     |           |                |  |
| Responsable : Daria Moreau, Responsable des enseignements Langues et Culture<br>daria.moreau@chimieparistech.psl.eu  |   |                     |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>  | <i>Cours</i>  | <i>TD</i><br>79.5 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation :</i> A la fin de chaque semestre la validation des 5 compétences de la grille du CECRL et de : le travail personnel, la connaissance de la culture et la communication interculturelle, la motivation, la participation aux cours, l'assiduité. |
| <p><b>Descriptif :</b></p> <p>Ces cours sont conçus pour renforcer les compétences et l'autonomie linguistique des étudiants et ainsi les préparer à travailler en anglais technique et scientifique dans un contexte international et interculturel. Chaque étudiant doit suivre les cours d'anglais général et d'anglais scientifique. Les cours d'anglais général se déroulent dans des groupes de niveau établis en début d'année sur la base du test de placement et des évaluations orales. Des étudiants choisissent des cours à thème indépendamment de leur niveau en anglais. Pour les élèves de niveau supérieur (bilingues ou C2 de la grille du CECRL), il est possible de remplacer le suivi de cours en présentiel par un travail de recherche encadré par un enseignant du Département. Des élèves de niveau faible peuvent avoir l'aide d'un tuteur.</p> <p>Les cours en présentiel sont complétés par un « e-learning » adapté et varié (l'application Yesmag qui a pour but de faciliter la lecture en VO ; les activités linguistiques multiples sur Moodle ; l'auto-apprentissage dans le laboratoire de langues).</p> <p>Les cours d'anglais général visent la maîtrise de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la prise de parole : exposés, débats, discussions sur des sujets culturels propres aux pays anglo-saxons,</li> <li>- la pratique de la compréhension orale à travers le suivi de nouvelles à la TV, radio,</li> <li>- la synthèse et la comparaison de documents authentiques de la presse courante,</li> <li>- la rédaction de CV,</li> <li>- les jeux de rôles du contexte professionnel (négociations, conversations téléphoniques, entretiens d'embauche, prise de minutes),</li> <li>- l'analyse des enjeux de l'entreprise à travers des documents authentiques.</li> </ul> <p>Les cours d'anglais scientifique visent la maîtrise de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la connaissance du vocabulaire technique et scientifique,</li> <li>- la rédaction de sujets variés sous forme de rapports, articles, essais,</li> <li>- la communication orale sur les sujets techniques, scientifiques, sociaux,</li> <li>- la discussion des articles scientifiques.</li> </ul> <p>Un travail individuel et en groupes sous la forme de projets sera proposé.</p> |   |                     |           |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b></p> <p>L'étudiant aura la connaissance approfondie de la grammaire et du vocabulaire thématique et scientifique pour pouvoir communiquer à l'écrit comme à l'oral dans une situation professionnelle au sein d'une entreprise multiculturelle / L'étudiant sera préparé à la recherche de stage et d'emploi dans un pays anglophone / L'étudiant rédigera son CV en anglais en prenant en compte les particularités culturelles d'un pays anglophone / L'étudiant sera ouvert à la pratique du travail collaboratif / L'étudiant développera la connaissance de la culture d'au moins un pays anglophone / L'étudiant apprendra à maîtriser un débat sur un sujet de la vie courante, technique ou scientifique / L'étudiant fera un exposé clair sur un sujet à contenu culturel, civilisationnel, technique ou scientifique, préparé à l'avance / L'étudiant répondra à des questions factuelles sur le sujet donné / L'étudiant tiendra une conversation et s'exprimera avec aisance sur une large gamme de sujets / L'étudiant synthétisera un texte scientifique ou général ou un document audio, il dégagera l'information pertinente et la restituera devant un public.</p>  |   |                     |           |                |  |
| <p><b>Pré-requis :</b> B1</p>  |   |                     |           |                |  |

|  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
| <p><b>Langue du cours :</b> anglais<br/> <b>Documents, lien :</b> documents audio et vidéo ; exemples des documents authentiques, factuels.<br/> <a href="https://coursenligne.chimie-paristech.fr/course/view.php?id=76">https://coursenligne.chimie-paristech.fr/course/view.php?id=76</a></p>   |  |  |  |  |  |
| <p><b>1A</b><br/><b>S5/S6</b></p>  | <p><b>Sport</b><br/><i>Mots clés : Sport</i></p> |  |  |  |  |
| <p>ECTS : 1</p>  |  |  |  |  |  |
| <p><b>Descriptif :</b><br/>                 Les élèves de l'école disposent d'une demi-journée libre le jeudi après-midi pour la pratique du sport.<br/>                 Des ECTS leur sont attribués lorsqu'une pratique régulière est validée par un enseignant ou un responsable du sport pratiqué.<br/>                 Les élèves de l'ENSCP forment des équipes masculines et féminines de handball et de volleyball.<br/>                 D'autres sports peuvent être pratiqués dans le cadre plus large de l'Université PSL.<br/> <a href="https://www.psl.eu/vie-de-campus/sport">https://www.psl.eu/vie-de-campus/sport</a></p> |  |  |  |  |  |

| 1A<br>S5/S6  | Langues étrangères optionnelles LV2<br><i>Mots clés :</i> |            |  |
|--|---|------------|--|
| Responsable : Daria Moreau, Responsable des enseignements Langues et Culture<br>daria.moreau@chimieparistech.psl.eu  |   |            |  |
| ECTS : 1   | Cours   | TD<br>42 h | <i>Modalités d'évaluation :</i> A la fin de chaque semestre la validation des 5 compétences de la grille du CECRL et de : le travail personnel, la connaissance de la culture et la communication interculturelle, la motivation, la participation aux cours, l'assiduité. |
| <p><b>Langues proposées :</b> Allemand, Arabe, Chinois, Espagnol, Italien, Japonais, Portugais, Russe, Suédois</p> <p><b>Descriptif :</b><br/>La formation linguistique et culturelle fait partie intégrante du cursus des étudiants à Chimie ParisTech-PSL. Cette formation a pour but de les préparer aux stages ou séjours d'études à l'étranger et à une possible carrière professionnelle internationale ainsi que de les familiariser avec d'autres cultures. Les enseignants de langues LV2 organisent également une préparation qui permet aux élèves de passer des examens de langues reconnus internationalement. Les cours de LV2 sont facultatifs à Chimie ParisTech-PSL. Le choix d'une LV2 se fait au début d'année scolaire sur la plateforme Moodle. Le test de positionnement est obligatoire pour des cours d'allemand et d'espagnol. Les étudiants peuvent choisir parmi les cours suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'allemand (4 groupes de niveau A1-C1),</li> <li>- l'espagnol (4 groupes de niveau A1-C1),</li> <li>- le chinois (2 groupes de niveau A1-A2),</li> <li>- le japonais (2 groupes de niveau A1-A2),</li> <li>- l'italien (2 groupes de niveau A1-A2),</li> <li>- le suédois (1 groupe de niveau A1).</li> </ul> <p>Les étudiants peuvent également suivre des cours d'arabe, du portugais ou du russe proposés par PSL. Les cours de langues étrangers visent la maîtrise de :</p> <p>Selon le niveau tel que décrit dans le CECRL :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'expression orale en continu et en interaction sur une grande gamme de sujets de la vie quotidienne, professionnelle et sur des sujets relatifs au monde de la langue étudiée,</li> <li>• l'acquisition de la grammaire et du vocabulaire,</li> <li>• l'entraînement régulier à la compréhension orale et écrite au travers de sujets variés,</li> <li>• la rédaction de textes variés,</li> <li>• l'interaction avec un interlocuteur natif,</li> <li>• l'argumentation à travers l'actualité et les informations, des chansons, des extraits de film</li> </ul> |   |            |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b><br/>Au terme du cours, l'étudiant sera capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- développer des compétences linguistiques et interculturelles,</li> <li>- s'insérer à l'étranger dans les domaines professionnel, académique et social,</li> <li>- travailler en collaboration en LV2,</li> <li>- argumenter à l'oral sur un sujet de la vie courante, technique ou scientifique,</li> <li>- répondre à des questions factuelles et argumenter sur le sujet donné,</li> <li>- tenir une conversation et s'exprimer avec aisance sur une large gamme de sujets,</li> <li>- synthétiser un texte scientifique ou général ou un document audio en dégagant l'information pertinente pour la restituer devant un public,</li> <li>- confronter les particularités culturelles, sociales et historiques d'un pays étranger,</li> <li>- comprendre la langue quotidienne à travers le cinéma, des émissions de radio ou de télévision.</li> </ul>   |   |            |  |

**SEMESTRE 6**

|   |   |                   |           |                |  |
|---|---|-------------------|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S6</b>  | <b>MH12ES.LC      Liaison Chimique</b><br><i>Mots clés : liaison chimique</i> |                   |           |                |  |
| Responsable : Carlo Adamo, Professeur<br>carlo.adamo@chimieparistech.psl.eu   |   |                   |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i><br>12 h  | <i>TD</i><br>12 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : Examen écrit</i> |
| <p><b>Descriptif :</b><br/>Ce module est une introduction aux principales notions de base rencontrées en chimie quantique pour la détermination de la structure électronique de systèmes allant de l'atome d'hydrogène à des molécules simples multiélectroniques.<br/>Les principales notions abordées sont : la théorie des orbitales moléculaires, la résolution de l'équation de Schrödinger, la corrélation électronique, les approches perturbatives ou variationnelles, les méthodes approchées pour le calcul de la structure électronique, l'étude de la réactivité via la théorie des orbitales frontières et par caractérisation d'un profil énergétique.<br/>La formation est basée sur des séances de cours et TD alternées.</p> |   |                   |           |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b><br/>L'étudiant devra être capable de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- de comprendre les notions de base en chimie quantique</li> <li>- de savoir décrire un système multiélectronique atomique ou moléculaire</li> <li>- de choisir et d'utiliser les méthodes approchées pour le calcul de la structure électronique</li> <li>- de comprendre les concepts de base de la réactivité de systèmes moléculaires</li> </ul>  |   |                   |           |                |  |
| <b>Pré-requis :</b>   |   |                   |           |                |  |
| <p><b>Langue du cours :</b> français<br/><b>Documents, lien :</b> polycopié, documents de TD</p>  |   |                   |           |                |  |

|  |   |                  |           |                |  |
|--|---|------------------|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S6</b>   | <b>MH12ES.IRM Interaction Rayonnement-Matière</b><br><i>Mots clés : physique atomique et moléculaire, processus d'interaction avec un rayonnement</i> |                  |           |                |  |
| Responsable : Laurent Binet, Professeur<br>laurent.binet@chimieparistech.psl.eu  |   |                  |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>  | <i>Cours</i><br>15 h  | <i>TD</i><br>9 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : examen écrit</i> |
| <p><b>Descriptif :</b><br/> Les processus d'interaction rayonnement-matière sont à la base des techniques spectroscopiques en chimie analytique ainsi que d'applications technologiques majeures (imagerie, photovoltaïque, optoélectronique, technologies quantiques,...). L'objectif de ce cours est de présenter de manière générale ces processus et d'expliquer les propriétés spectroscopiques en relation avec les descriptions quantiques des atomes, des molécules et de la matière en général. Le cours introduit les processus fondamentaux (absorption, émissions stimulées et spontanées, processus du 2<sup>nd</sup> ordre) induits par une onde électromagnétique sur un système quantique ainsi que la notion de règles de sélection. L'approximation dipolaire pour le couplage rayonnement-matière est également introduit. Ensuite, on aborde les transitions électroniques dans les atomes avec les effets des interactions électron-électron et du couplage spin-orbite. La dernière partie porte sur les spectroscopies rotationnelles, vibrationnelles et électroniques des molécules (séparation des mouvements électroniques et nucléaires, diagrammes d'énergie en coordonnées de configuration, principe de Franck-Condon, règles de sélection). Le cours est illustré par des exemples issus de différents domaines (sciences de la Terre et de l'environnement, biologie, astrophysique, sciences du patrimoine,...).</p> |   |                  |           |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b><br/> L'étudiant doit être capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- décrire les différents mode d'interaction rayonnement-matière</li> <li>- décrire les différentes interactions existant dans les atomes et molécules</li> <li>- expliquer les différents niveaux d'approximation dans la description quantique des atomes et des molécules</li> <li>- déterminer les termes spectroscopiques et multiplets des atomes</li> <li>- prédire les transitions possibles dans les atomes et molécules et interpréter en conséquence leurs spectres d'absorption ou d'émission</li> <li>- mobiliser ses connaissances pour résoudre un problème complexe et/ou transverse (AAG1)</li> </ul>   |   |                  |           |                |  |
| <p><b>Pré-requis :</b><br/> Physique quantique : Equation de Schrödinger, notation de Dirac, états électroniques des atomes / ions monoélectroniques, propriétés des moments cinétiques en mécanique quantique, oscillateur harmonique quantique</p> <p>Electromagnétisme classique : onde planes électromagnétiques, potentiel vecteur, moments dipolaires électrique et magnétiques</p>  |   |                  |           |                |  |
| <p><b>Langue du cours :</b> français<br/> <b>Documents, lien :</b> <a href="https://moodle.psl.eu/">https://moodle.psl.eu/</a></p>   |   |                  |           |                |  |

|   |  |                  |                   |                |  |
|---|--|------------------|-------------------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S6</b>  | <b>MH12FE.IRM Formation Expérimentale Interaction Rayonnement Matière</b><br><i>Mots clés : mécanique quantique, spectroscopie, traitement du signal, cristallographie, diffraction des rayons X</i> |                  |                   |                |  |
| Responsable : Pascal Loiseau, Maître de Conférences<br>pascal.loiseau@chimieparistech.psl.eu  |  |                  |                   |                |  |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i>   | <i>TD</i><br>0 h | <i>TP</i><br>30 h | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : compte rendu, questionnaire en ligne</i> |
| <b>Descriptif :</b><br>La formation expérimentale de première année en interaction rayonnement-matière est consacrée à l'apprentissage de techniques de caractérisation de la matière faisant appel d'une part à la cristallographie, essentielle à l'étude de tout solide cristallisé, et d'autre part aux interactions dipolaires électrique et magnétique, en couvrant un large spectre de fréquences allant du domaine micro-onde au domaine visible.<br>Les techniques approfondies dans le cadre de ces TP sont : la diffraction des rayons X sur poudre, la résonance paramagnétique électronique, la spectroscopie infra-rouge à transformée de Fourier, l'émission moléculaire, l'absorption UV-visible, l'effet laser.  |  |                  |                   |                |  |
| <b>Acquis d'apprentissage :</b><br>Les objectifs principaux de cet enseignement sont d'une part d'insister sur le principe de fonctionnement d'un appareil de mesure et d'appliquer les concepts vu en cours de mathématiques appliquées pour l'ingénieur, interaction rayonnement matière, radiocristallographie et chimie du solide.<br>A l'issue de cet enseignement, l'étudiant sera capable :<br>- d'optimiser des paramètres d'acquisition conciliant résolution et rapport signal sur bruit, en fonction de la technique de traitement du signal d'un appareil de mesure (transformée de Fourier, détection synchrone, mesure pas à pas)<br>- d'appliquer des concepts d'analyse de données pour estimer des incertitudes et déterminer des grandeurs physiques par des méthodes de moindres carrés<br>- d'identifier et de catégoriser la nature d'une transition électronique d'un spectre en fonction de l'énergie mise en jeu<br>- de critiquer un modèle physique en fonction des approximations réalisées et de leur adéquation avec la restitution des résultats expérimentaux<br>- d'appliquer une méthode systématique d'analyse de structure cristalline avec des outils informatiques<br>- de critiquer la stabilité d'une structure cristalline sur la base d'éléments de chimie du solide |  |                  |                   |                |  |
| <b>Pré-requis :</b><br>mathématiques appliquées pour l'ingénieur, cristallographie-diffraction des rayons X, chimie du solide, interaction rayonnement matière, mécanique quantique   |  |                  |                   |                |  |
| <b>Langue du cours :</b> français<br><b>Documents, lien :</b> polycopié, moodle   |  |                  |                   |                |  |

|   |                      |  |           |                |  |
|---|----------------------|--|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S6</b>  | <b>MH12ES.SR</b>     | <b>Groupes fonctionnels: synthèse et réactivité</b><br><i>Mots clés : Groupement fonctionnel, réactivité, mécanisme, synthèse multi-étapes</i> |           |                |  |
| Responsable : Jean-François Soulé, Maître de conférences<br>jean-francois.soule@chimieparistech.psl.eu  |                      |  |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i><br>12 h | <i>TD</i><br>12 h  | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : Examen écrit</i> |
| <p><b>Descriptif :</b><br/>L'UE CMB.SR.1.2 est dans la continuité de l'UE CMB.SR.1.1 et aborde la réactivité des fonctions carbonylées (aldéhydes et cétones) et celle des acides carboxyliques et de leurs dérivés. Les différentes impliquant ces fonctions seront étudiées en détail, en mettant l'accent sur leur mécanisme afin de mieux comprendre la réactivité de la liaison carbonyle. Un accent particulier est mis sur l'application de ces transformations en synthèse multi-étapes de molécules complexes, telles que les produits naturels et les médicaments. Des exemples concrets seront donnés pour illustrer ces applications.</p> <p>Programme du cours:</p> <p>1) Dérivés organométalliques: préparation, propriétés</p> <p>2) Dérivés carbonylés:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nomenclature et propriétés physico-chimiques, préparation</li> <li>Réactions d'addition nucléophile réversible (eau, alcools, amines, thiols, ...)</li> <li>Réactions d'addition nucléophile irréversible (organométalliques, ylures, ...)</li> <li>Réduction en alcool et en alcanes</li> <li>Formation et réactivité des énols, énolates, énamines, éthers d'énols silylés</li> <li>Aldolisation, alkylation, halogénéation, Mannich</li> <li>Additions de Michael, annellation de Robinson</li> <li>Réactions de d'oxydation et de réduction</li> </ul> <p>3) Acides carboxyliques et dérivés:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nomenclature et propriétés physico-chimiques, préparation</li> <li>Addition nucléophile d'organométalliques</li> <li>Réactions de Curtius, Arndt Eistert, Knoevenagel, Reformatsky, Darzens, Baylis-Hillmann</li> <li>Réarrangement de Wolff,</li> <li>Condensation de Claisen, Dieckman</li> <li>Réactions de réduction</li> </ul> |                      |  |           |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b><br/>A la fin de l'UE CMB.SR.1.2, les élèves auront acquis les concepts fondamentaux nécessaires pour comprendre la réactivité entre deux entités chimiques. Ils seront capables d'analyser les mécanismes des principales réactions et de les appliquer à des exemples concrets. Ils pourront également mobiliser ces connaissances pour analyser une séquence réactionnelle multi-étapes et construire une suite réactionnelle pour la synthèse d'une molécule cible.</p>   |                      |  |           |                |  |
| <p><b>Pré-requis :</b><br/>Cours de base en chimie organique (classe préparatoire, L2)</p>  |                      |  |           |                |  |
| <p><b>Langue du cours :</b> français<br/><b>Documents, lien :</b> Polycopié</p>   |                      |  |           |                |  |

|   |   |           |                   |                |  |
|---|---|-----------|-------------------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S6</b>  | <b>MH12FE.CMB Formation expérimentale en chimie moléculaire</b><br><i>Mots clés :</i> |           |                   |                |  |
| Responsable : Sylvain Darses<br>sylvain.darses@chimieparistech.psl.eu   |   |           |                   |                |  |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i>  | <i>TD</i> | <i>TP</i><br>60 h | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : rapport et comportement en laboratoire</i> |
| <p><b>Descriptif :</b><br/> Dans ce module de travail expérimental en laboratoire, au travers de synthèses multi-étapes en relation avec le cours et les TD, les élèves abordent les techniques classiques de synthèse et de purification et mettent en pratique les connaissances acquises dans le module de spectroscopie (IR, RMN, ...) pour analyser les composés préparés. Les élèves sont amenés progressivement à travailler de façon autonome, à déterminer eux-mêmes, par une recherche bibliographique, les voies de synthèse les mieux adaptées et à les mettre en œuvre. Ce travail fait l'objet d'une mise en situation professionnelle (respect des règles d'hygiène et sécurité et mise en place de mesures particulières, tenue d'un cahier de laboratoire, rédaction de rapports).</p> |   |           |                   |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b><br/> L'objectif de ces travaux pratiques est de former les élèves ingénieurs aux techniques de base de la synthèse organique (montages classiques, réactions à basse température, réactions sous atmosphère inerte, distillation, recristallisation, chromatographie sur colonne, ...), de l'analyse (CPG, FT-IR, RMN, ...) et de les sensibiliser aux questions d'hygiène et de sécurité.</p>   |   |           |                   |                |  |
| <p><b>Pré-requis :</b></p>  |   |           |                   |                |  |
| <p><b>Langue du cours :</b> français<br/> <b>Documents, lien :</b> Polycopié</p>  |   |           |                   |                |  |

|   |                        |   |                   |                |  |
|---|------------------------|---|-------------------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S6</b>  | <b>MH12ES.GC</b>       | <b>Génie chimique</b><br><i>Mots clés : mécanique des fluides , transferts de matière et de chaleur , procédés de séparation et de purification des mélanges de fluides</i> |                   |                |  |
| Responsable : Frédéric Rousseau, Enseignant-Chercheur<br>frederic.rousseau@chimieparistech.psl.eu   |                        |   |                   |                |  |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i><br>16,5 h | <i>TD</i><br>9 h  | <i>TP</i><br>30 h | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : examen écrit avec documents et calculatrices</i> |
| <p><b>Descriptif :</b></p> <p>Cette formation a pour objectif de présenter les démarches à suivre pour maîtriser le fonctionnement d'un procédé de transformation de la matière avec ou sans réactions chimiques (pour l'industrie chimique classique et pour les nouvelles voies de recyclage).</p> <p>Un procédé chimique est constitué d'un réacteur dans lequel a lieu les réactions chimiques, et, en aval des dispositifs ( distillation , extraction ...) destinés à séparer et/ou purifier les produits obtenus . Selon l'application recherchée ces procédés fonctionnent en continu ou en discontinu.</p> <p>Face à cette complexité , il s'agit dans un premier temps de bien comprendre les processus de transfert à l'échelle locale : la mécanique des fluides en mouvement , les transferts d'énergie et en particulier les transferts de chaleur (conduction , convection et rayonnement ) et enfin les transferts de matière dans les milieux mono phasiques et bi phasiques .</p> <p>Pour optimiser ces processus de transfert, très souvent couplés, en régime permanent ou en régime transitoire, des logiciels sont mis à la disposition des étudiants en TP . Pour simuler le fonctionnement du procédé, la mise en équation des processus est nécessaire et la résolution du système complexe d'équations est possible grâce à l'informatique . Ainsi, si l'utilisation des mathématiques est un moyen et non une fin, l'outil mathématique est incontournable. Il doit être compris et maîtrisé pour que ces logiciels ne soient pas des boîtes noires . Les séances de cours et de TD sont consacrées à la compréhension des concepts de transferts mis en jeu . Cette démarche est complétée par un enseignement expérimental en laboratoire sur des pilotes ce qui permet de confronter la théorie et la pratique .</p> <p>Ces savoirs et savoirs faire sont très utiles voire indispensables pour comprendre le fonctionnement d'un procédé étudié en recherche, en développement ou en production dans un environnement académique ou industriel .</p> |                        |   |                   |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b></p> <p>A l'issue de cette formation l'étudiant a compris que pour pouvoir conduire et optimiser une unité de fabrication industrielle pour la chimie classique ou pour le recyclage, il est nécessaire de réaliser les bilans matière et énergie. L'étudiant mobilise ses compétences pour s'adapter et répondre aux contraintes techniques et économiques en recherchant en particulier l'efficacité énergétique (en réduisant les pertes de charges et de chaleur, en utilisant des pompes à leur meilleur point de fonctionnement, en optimisant le nombre d'étage des opérations unitaires...).</p> <p>L'étudiant retient que le réglage des paramètres d'un procédé et / ou d'une opération unitaire (débits, flux de chaleurs, taux de reflux des colonnes...), souvent dépendants , n'est pas empirique mais le résultat d'une analyse scientifique rigoureuse .</p>  |                        |   |                   |                |  |
| <b>Pré-requis :</b> thermodynamique des solutions / dérivées partielles   |                        |   |                   |                |  |
| <b>Langue du cours :</b> français   |                        |   |                   |                |  |
| <b>Documents, lien :</b> 2 livres ( books ) disponibles en TPs - Power Points de cours à disposition sur cours en ligne   |                        |   |                   |                |  |

|  |   |                   |           |                |   |
|--|---|-------------------|-----------|----------------|---|
| <b>1A<br/>S6</b>   | <b>MH12ES.MN    Méthodes numériques</b><br><i>Mots clés : Algorithmique, programmation, C</i> |                   |           |                |   |
| Responsable : Julien Ciaffi, Maître de Conférences<br>julien.ciaffi@chimieparistech.psl.eu   |   |                   |           |                |   |
| <i>ECTS :</i>  | <i>Cours</i>  | <i>TD</i><br>26 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : Rapport écrit</i> |
| <p><b>Descriptif :</b><br/>Ce module vise à former l'élève ingénieur aux techniques classiques de méthodes numériques couramment rencontrées dans divers domaines scientifiques, afin de le rendre apte à choisir un algorithme adapté à un problème donné et à le mettre en œuvre en réalisant une application en langage C.<br/>Les algorithmes introduits portent sur des problèmes régulièrement rencontrés dans divers domaines scientifiques, tels que la résolution d'équations linéaires et non linéaires, la dérivation et l'intégration numérique, le calcul de valeurs et vecteurs propres, la minimisation de fonctions, la résolution d'équations différentielles ou encore d'équations aux dérivées partielles.<br/>Une attention particulière est portée sur l'efficacité, la qualité et les limites des solutions informatiques utilisables.<br/>La formation est basée sur des séances cours/TD, en s'appuyant sur des exemples majoritairement pris dans le domaine de la chimie, en utilisant le logiciel libre Code::Blocks, facilement installable sur tout ordinateur personnel.</p> |   |                   |           |                |   |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b><br/>L'étudiant devra être capable:<br/>- d'analyser un problème scientifique et de déterminer les méthodes numériques appropriées pour sa résolution<br/>- de mettre en œuvre les principaux algorithmes de résolution numérique<br/>- d'analyser avec un esprit critique les résultats obtenus, conscient des limites des méthodes employées</p>   |   |                   |           |                |   |
| <p><b>Pré-requis :</b><br/>Bases de la programmation en C</p>  |   |                   |           |                |   |
| <p><b>Langue du cours :</b> français<br/><b>Documents, lien :</b> photocopié, documents de TD</p>  |   |                   |           |                |   |

|   |  |           |                   |                |  |
|---|--|-----------|-------------------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S6</b>  | <b>MH12FE.GC      Formation expérimentale en génie chimique</b><br><i>Mots clés : transfert de chaleur, de matière, opération unitaire, simulation</i> |           |                   |                |  |
| Responsable : Frédéric Rousseau, Enseignant-Chercheur<br>frederic.rousseau@chimieparistech.psl.eu   |  |           |                   |                |  |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i>   | <i>TD</i> | <i>TP</i><br>30 h | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : Contrôle continu sous forme de rapports écrits et présentation orale</i> |
| <b>Descriptif :</b><br>Les TP suivis par chaque élève ingénieur doivent permettre de mettre en application les notions abordées en cours et en TD (opérations unitaires et transferts de chaleur) et de compléter sa formation expérimentale en mécanique des fluides, en phénomène de transferts et en opérations unitaires. Le travail s'effectue en binôme et doit permettre de rendre compte des résultats et leurs interprétations à l'écrit comme à l'oral.   |  |           |                   |                |  |
| <b>Acquis d'apprentissage :</b><br>Donner au futur ingénieur un socle de connaissances, complémentaire à sa formation de mécanique des fluides et de transfert de chaleur (loi de Fourier). Il s'agira pour le futur ingénieur de :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>- Savoir décrire et estimer les pertes de charges linéaires et singulières dans un réseau où s'écoule un fluide.</li> <li>- observer, interpréter et dimensionner le fonctionnement d'une pompe.</li> <li>- Définir, expliquer et déterminer les différents types de transfert de chaleur par conduction, convection et rayonnement.</li> <li>- Etre capable de comprendre et de décrire les phénomènes mis en jeu lors d'opérations unitaires et de dimensionner un tel système.</li> <li>- Acquérir des notions de simulation sur des logiciels de Génie Chimique comme Aspen Hysys et COMSOL.</li> <li>- Associer les phénomènes de transferts de quantité de mouvement, de chaleur et de matière pour prédire le fonctionnement d'un système.</li> <li>- Construire et valider un modèle par comparaison de ses prévisions aux résultats expérimentaux et apprécier ses limites de validité.</li> </ul> |  |           |                   |                |  |
| <b>Pré-requis :</b> physique et mathématique 1 <sup>er</sup> cycle d'études supérieures   |  |           |                   |                |  |
| <b>Langue du cours :</b> français<br><b>Documents, lien :</b> Polycopié de TP + rappels <a href="https://coursenligne.chimie-paristech.fr/enrol/index.php?id=21">https://coursenligne.chimie-paristech.fr/enrol/index.php?id=21</a>   |  |           |                   |                |  |

|  |                       |   |                  |                |  |
|--|-----------------------|---|------------------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S6</b>   | <b>MH12ES.CS</b>      | <b>Chimie des solutions</b><br><i>Mots clés : Chimie des solutions aqueuses et non aqueuses, séparations chimiques, complexation, solubilisation, précipitation, extraction</i> |                  |                |  |
| Responsable : Anne Varenne, Professeur<br>anne.varenne@chimieparistech.psl.eu  |                       |   |                  |                |  |
| <i>ECTS :</i>  | <i>Cours</i><br>7.5 h | <i>TD</i><br>4.5 h  | <i>TP</i><br>0 h | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation :</i> Etude d'articles, QCM et examen terminal |
| <p><b>Descriptif :</b></p> <p><u>Solutions aqueuses</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Solutions diluées, concentrées, complexes</li> <li>Activité, coefficient d'activité (modèles de Debye et Hückel, Davies, Théorie des interactions spécifiques, modèle de Pitzer).</li> <li>Complexation : constantes de formation successives ou globales, coefficient de complexation, digramme des répartitions, action de l'acidité sur les coefficients de complexation.</li> <li>Types de ligand (H, OH, L), complexation multi-ligands, ....</li> </ul> <p><u>Séparations chimiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Solubilisation / précipitation</li> <li>Extraction liquide/liquide : principe, grandeurs, équilibres simples ou complexes</li> <li>Phénomène d'extraction : co-extractions / échange d'ions</li> <li>Synergisme, relargage</li> <li>Extraction liquide/solide : résines échangeuses d'ions, équilibres de distribution, effet de complexation</li> </ul> <p><u>Milieux réactionnels non aqueux</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Milieux micellaires (présentation, micelles pour les séparations, système à trois phases, point trouble, comparaison liposomes, microémulsions pour l'extraction)</li> <li>Solvant moléculaires (solvatation, propriétés acido-basiques, paires d'ions...)</li> <li>Milieux sels fondus : sels fondus à haute température (présentation, oxoacidité, applications à l'extraction) et liquides ioniques (présentation, quelques propriétés, applications à l'extraction)</li> <li>Fluides supercritiques (présentation, quelques propriétés, applications à l'extraction)</li> </ul> <p>Des articles de la littérature scientifique (en français puis anglais) sont exploités, interprétés et critiqués au vu des notions de cours.</p> <p>Le module se termine par une intervention d'un(e) professionnel(le) du monde socio-économique qui exploite ces procédés en solution pour des séparations sélectives.</p> |                       |   |                  |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b></p> <p>Mobiliser ses connaissances pour résoudre un problème de séparation sélective de composés en solution aqueuse ou non aqueuse en vue de leur dépollution, récupération et/ou recyclage. Définir et interpréter les interactions en solution qui peuvent être mises en oeuvre pour concevoir une séparation sélective à partir d'échantillons dans des matrices complexes. Exploiter les données de la littérature et les équations théoriques avec un esprit critique pour justifier les conditions expérimentales à mettre en oeuvre pour une séparation sélective la moins impactante sur l'environnement.</p> <p>Les applications présentées sont variées avec un lien vers les domaines de l'environnement et de la bioanalyse.</p>   |                       |   |                  |                |  |
| <p><b>Pré-requis :</b></p> <p>Solvants, acidité en milieu aqueux, propriétés des ions, complexation simple, notions de bases en électrochimie</p>  |                       |   |                  |                |  |
| <p><b>Langue du cours :</b> français</p> <p><b>Documents, lien :</b> poly en français, articles en anglais</p>   |                       |   |                  |                |  |



|   |   |                  |           |                |  |
|---|---|------------------|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S6</b>  | <b>MH12ES.MS      Méthodes séparatives</b><br><i>Mots clés : chromatographie, électrophorèse capillaire, extraction sur phase solide, préparation de l'échantillon, séparation analytique</i> |                  |           |                |  |
| Responsable : Fanny d'Orlyé, Maître de conférences<br>fanny.dorlye@chimieparistech.psl.eu   |   |                  |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>   | <i>Cours</i><br>6 h   | <i>TD</i><br>6 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : Examen final écrit avec documents<br/>+ contrôle continu sous forme de QCM</i> |
| <b>Descriptif :</b><br>Généralités sur les méthodes de séparation chromatographiques : principes (Interactions et séparations), finalités, classement des méthodes, mise en œuvre en couche mince et sur colonnes, aspects instrumentaux, domaines d'application ; Interactions chromatographiques et mécanismes physico-chimiques contrôlant les séparations: volatilité, interactions différentielles, choix des phases stationnaires et phases mobiles courantes ; Grandeurs fondamentales et paramètres d'optimisation : grandeurs de rétention, sélectivité, dispersion, résolution ; Détections en ligne et couplée aux chromatographies : principaux modes de détection, caractéristiques des détecteurs, application à l'analyse qualitative et quantitative (méthodes d'étalonnage); Comparaison des chromatographies en phases liquide et gazeuse et positionnement des méthodes chromatographiques par rapport aux autres méthodes séparatives.                          |   |                  |           |                |  |
| <b>Acquis d'apprentissage :</b><br>L'objectif de ce cours est d'initier les étudiants de 1ère année aux méthodes chromatographiques analytiques, avant d'en aborder la pratique dans les laboratoires de formation expérimentale de l'école ou lors de stages. Cet enseignement permet de situer les différentes approches chromatographiques et leurs domaines d'applications. A l'issue de ces enseignements les étudiants seront capables de proposer le montage d'une chaîne chromatographique complète (de l'injecteur au détecteur) adaptée à l'analyse de molécules d'intérêt et justifier le choix du type de chromatographie mise en œuvre. Ils sauront mobiliser leurs connaissances pour développer des méthodes d'analyse et optimiser leurs performances. Il sauront enfin interpréter avec un recul critique et valider des résultats d'analyse avec pour objectif principal l'identification et la quantification de composés d'intérêt dans des mélanges complexes. |   |                  |           |                |  |
| <b>Pré-requis :</b><br>Niveau de base en thermodynamique chimique, chimie des solutions et aux interfaces, spectroscopies, chimie moléculaire   |   |                  |           |                |  |
| <b>Langue du cours :</b> français<br><b>Documents, lien :</b> polycopier de cours, recueil d'exercices et études de cas, QCM d'autoévaluation, logiciel de simulation   |   |                  |           |                |  |

|  |                        |   |           |                |  |
|--|------------------------|---|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S6</b>   | <b>MH12ES.EC</b>       | <b>Electrochimie : Fondamentaux et Applications</b><br><i>Mots clés thermodynamique et cinétique électrochimique, voltampérométrie, effet du milieu chimique, analyse et capteurs, électrolyse, générateurs</i> |           |                |  |
| Responsable : Sophie Griveau, Professeur<br>sophie.griveau@chimieparistech.psl.eu  |                        |   |           |                |  |
| <i>ECTS :</i>  | <i>Cours</i><br>16,5 h | <i>TD</i><br>7,5 h  | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation : examen final écrit + QCM</i> |
| <b>Descriptif :</b><br>Ce cours est destiné aux élèves-ingénieurs, qui ont déjà des notions sur les potentiels électrochimiques. Il s'agit dans un premier temps de décrire les principes fondamentaux de l'électrochimie à l'équilibre, notamment d'un point de vue thermodynamique puis cinétique afin d'expliquer les phénomènes de transport et de transfert de charge aux électrodes. Ainsi, l'élève pourra comprendre et tracer les caractéristiques courant-potential $I=f(E)$ et étudier l'effet du milieu chimique (nature de l'électrolyte, effet du pH, de la complexation) sur ces courbes.<br>Un panorama des applications de l'électrochimie et des exemple industriels concrets seront étudiés, comme les capteurs électrochimiques pour l'analyse, l'électrolyse pour la production, la purification des métaux ou le traitement de surface ainsi que les générateurs électrochimiques, tels que les piles, piles à combustible et les batteries.  |                        |   |           |                |  |
| <b>Acquis d'apprentissage :</b><br>L'étudiant sera capable de :<br>- exprimer et calculer les grandeurs caractéristiques d'un système électrochimique (conductivité, nombre de transport, potentiel, ...) et les relations de base (loi de Faraday, équation de Nernst, ...)<br>- Interpréter et mettre en application les lois de Butler-Volmer, et Tafel<br>- Etablir les équations des caractéristiques courant-potential dans des conditions d'équilibre ;<br>- Exprimer et quantifier l'effet du milieu chimique (acidité, complexation, précipitation) dans l'établissement et le tracé des courbes $I=f(E)$ ;<br>- Calculer et déterminer des conditions expérimentales permettant la production quantitative d'espèces par électrolyse<br>- Connaître le principe des principales classes de capteurs électrochimiques, et leurs conditions d'utilisation<br>Etudier le fonctionnement d'un générateur électrochimique, en identifiant les électrodes, le sens du courant, calculant le potentiel thermodynamique et les conditions de charges et de décharges |                        |   |           |                |  |
| <b>Pré-requis :</b><br>Notions de potentiels et d'équilibres électrochimiques, bases en thermodynamique et chimie des solutions.   |                        |   |           |                |  |
| <b>Langue du cours :</b> français<br><b>Documents, lien :</b> support de cours powerpoint + documents de référence sur la plateforme Moodle  |                        |   |           |                |  |

|   |                      |  |           |                |   |
|---|----------------------|--|-----------|----------------|---|
| <b>1A<br/>S6</b>  | <b>MH12TC.CE</b>     | <b>Management sciences économiques et sociales –<br/>connaissance de l'entreprise - Intro. à l'économie et<br/>management de l'innovation</b><br><i>Mots clés</i> : : innovation, entrepreneuriat, design thinking, propr. intellectuelle, dvp durable,<br>économie, ingénieur acteur des transformations et des transitions, enjeux sociétaux et<br>écologiques |           |                |   |
| Responsable : Philippe Vernazobres, Maître de Conférences<br>philippe.vernazobres@chimieparistech.psl.eu  |                      |  |           |                |   |
| <i>ECTS</i> :   | <i>Cours</i><br>42 h | <i>TD</i>  | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation</i> : Evaluation finale écrite pour<br>l'économie et les conférences + Jury industriel pour la<br>semaine de l'innovation |
| <p><b>Descriptif :</b><br/>         Cette UE vise à former des ingénieurs capables d'innover et d'appréhender l'environnement économique et les enjeux de l'entreprise et d'être acteurs des transitions écologiques, énergétiques et numériques<br/>         Thèmes du cours d'économie – 6 heures</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Objet de l'analyse économique et concepts fondamentaux : marchés, concurrence, prix, externalités</li> <li>– Introduction à l'analyse macroéconomique : circuits, agents économiques, agrégats</li> <li>– Introduction à l'analyse économique de la monnaie</li> <li>– Introduction aux limites planétaires et à l'économie circulaire</li> </ul> <p>Thèmes des conférences managériales (exemples) + préparation au stage – 11 heures<br/>         Développement durable et RSE, Energie et climat, transition énergétique<br/>         Intelligence économique, Communication de crise, Compliance<br/>         Brevets et protection intellectuelle, intelligence artificielle<br/>         Semaine de l'innovation - 24 h</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Séminaire créativité et innovation avec le design thinking (2 journées) sur le brief d'un client industriel</li> <li>– Visite des laboratoires de recherche de Chimie ParisTech (1 journée)</li> <li>– Conférences (1/2 journée), présentation de l'écosystème d'innovation de l'école dans PSL, témoignages d'entrepreneurs</li> </ul> |                      |  |           |                |   |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b><br/>         A l'issue des modules, l'étudiant sera capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Comprendre les mécanismes de base du fonctionnement de l'économie</li> <li>– Appréhender les sujets managériaux indispensables à l'ingénieur acteur des transitions écologiques et numériques</li> <li>– S'impliquer dans une démarche d'innovation, cœur de métier des ingénieurs, modules prolongés en 2ème et 3ème année</li> <li>– Expérimenter et comprendre une démarche de design thinking, questionner les usages, les besoins, la proposition de valeur, réaliser un prototype, itérer, coopérer dans une équipe</li> <li>– Défendre un projet innovant en compétition face à un jury industriel</li> </ul>   |                      |  |           |                |   |
| <p><b>Pré-requis :</b><br/>         Modules de management du 1er semestre</p>   |                      |  |           |                |   |
| <p><b>Langue du cours</b> : français<br/> <b>Documents, lien</b> : photocopiés</p>  |                      |  |           |                |   |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| <b>1A<br/>S6</b>   | <b>MH12TC.PTD      <b>Projet transdisciplinaire</b></b><br><i>Mots clés : Equipe, management de projet, chef de projet, planification, deadlines, cahier des charges, livrable, relation client, management agile.</i> |  |   |
| Responsable : Philippe Vernazobres Maître de conférence<br>philippe.vernazobres@chimieparistech.psl.eu   |  |  |   |
| <i>ECTS :</i>  | <i>Cours</i>   | <i>Tutorat</i><br>6 mois de travail encadré.<br>½ J. par semaine | <i>Modalités d'évaluation</i> : Rédaction d'un rapport sur le contenu du projet (livrables) et sur le processus de travail (dimensions managériales et éthiques, controverses...) et soutenance orale |
| <p><b>Descriptif :</b><br/>                 Cet enseignement consiste à mettre les élèves en condition de travail d'équipe en mode projet, au service d'un client, pour leur faire acquérir les méthodes et postures du management de projet.<br/>                 Le travail est organisé par groupes de sept pendant un semestre (janvier-juin), à raison d'une demi-journée par semaine. Il porte sur des sujets réels proposés par des clients industriels et institutionnels. Ces sujets portent sur des thématiques transverses : dimensions technologiques et/ou sociales, sociétales et environnementales ; d'accompagnement des changements et transitions. Les groupes sont tutorés par des enseignants-chercheurs de l'école, et les élèves expérimentent de manière tournante la posture de chef de projet. Des conférences assurent des apports sur les outils et processus du management de projet.</p>  |  |  |   |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b><br/>                 Au terme du module, l'étudiant sera capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Travailler en équipe de manière collaborative.</li> <li>• Gérer la relation avec un client, de l'analyse de la demande à la livraison du projet.</li> <li>• Organiser, planifier un projet, respecter des deadlines et mettre au point un cahier des charges.</li> <li>• Assumer la fonction de chef de projet.</li> <li>• Identifier, modéliser et résoudre des problèmes non habituels et incomplètement définis.</li> <li>• Prendre en compte des enjeux transverses de l'entreprise et de la société (économiques, sociaux, éthiques, environnementaux, énergétiques, numériques et digitaux...) et développer un esprit et une approche critiques de ces enjeux.</li> <li>• Prendre en compte les enjeux des relations au travail, d'éthique et de responsabilité sociale au travail.</li> <li>• Trouver les informations pertinentes pour répondre à la demande du client, les évaluer et les mettre en œuvre.</li> <li>• Rendre compte de cette expérience et produire un livrable, à l'écrit (rapport) et à l'oral (présentation devant les clients).</li> </ul> |  |  |   |
| <p><b>Pré-requis :</b></p>   |  |  |   |
| <p><b>Langue du cours :</b> français<br/> <b>Documents, lien :</b> Photocopie et fiches-outils de management de projets.</p>   |  |  |   |

|   |   |                    |           |                |  |
|---|---|--------------------|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S6</b>  | <b>MH12ST.SDE      Stage de découverte de l'entreprise</b><br><i>Mots clés</i> : entreprise, organisation du travail, organigramme, relations de travail, responsabilité sociétale de l'entreprise, sécurité, s'intégrer, collaborer, communiquer, se connaître |                    |           |                |  |
| Responsable : Delphine Bourland, Maître de Conférence<br>delphine.bourland@chimieparistech.psl.eu   |   |                    |           |                |  |
| <i>ECTS</i> :   | <i>Cours</i>  | <i>TD</i><br>150 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation</i> : Rapport de stage |
| <p><b>Descriptif :</b><br/>           Stage d'un à deux mois, de première découverte de l'entreprise en tant qu'ouvrier ou technicien.<br/>           Il s'agit de s'inscrire dans une logique d'observation participante pour, d'une part, effectuer un travail de terrain et, d'autre part, communiquer à l'écrit pour rendre compte de cette expérience de manière professionnelle.<br/>           Le rapport de stage :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mobilise les cours de management de première année pour se situer dans l'entreprise et appréhender ses enjeux.</li> <li>- Invite à observer l'organisation des ressources humaines qui fera l'objet de cours de management en deuxième année.</li> </ul>               |   |                    |           |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b><br/>           A l'issue de son stage, l'étudiant sera capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• S'intégrer et se situer dans une organisation</li> <li>• Etre acteur et responsable des tâches qui lui sont confiées</li> <li>• Observer et prendre du recul sur l'organisation, les relations de travail, la productivité, la qualité, la sécurité, le développement durable, l'environnement...</li> <li>• Rendre compte de cette expérience au regard :               <ul style="list-style-type: none"> <li>o des enjeux de l'entreprise</li> <li>o des tâches effectuées</li> <li>o de la construction du projet professionnel : se connaître, opérer des choix</li> </ul> </li> </ul> |   |                    |           |                |  |
| <p><b>Pré-requis :</b><br/>           Modules de management du 1er et 2ème semestre</p>   |   |                    |           |                |  |
| <p><b>Langue du cours</b> : français<br/> <b>Documents, lien</b> : Grille de rédaction du rapport de stage</p>  |   |                    |           |                |  |

|   |  |                  |           |                |  |
|---|--|------------------|-----------|----------------|--|
| <b>1A<br/>S6</b>  | <b>Formation à la transition écologique</b><br><i>Mots clés</i> : Limites planétaires, Nouveaux modes de production (écologie industrielle, économie circulaire, décarbonation), Analyse d'impacts, Scénarii de transition |                  |           |                |  |
| Responsable : Odile Majérus, Maître de Conférence<br>odile.majerus@chimieparistech.psl.eu   |  |                  |           |                |  |
| <i>ECTS</i> :   | <i>Cours</i><br>12 h   | <i>TD</i><br>3 h | <i>TP</i> | <i>Tutorat</i> | <i>Modalités d'évaluation</i> : un examen écrit sans document, comportant un QCM (30 minutes) et une à deux questions ouvertes (1 h) |
| <p><b>Descriptif :</b></p> <p>Nos sociétés se confrontent aujourd'hui avec les <b>limites planétaires</b>, définies par les conditions du maintien des grands équilibres et grands cycles naturels qui ont permis notre développement. Ces cycles et équilibres assurent le renouvellement des ressources, la stabilité du climat, les services de régulation offerts par la biodiversité. Le défi est maintenant de prendre conscience de ces services, connaître leur fonctionnement et mobiliser les moyens pour les restaurer et les préserver.</p> <p>De <b>nouveaux modes de production</b> devront être inventés dans les années à venir, avec les principes de l'écologie industrielle (mise en relation des acteurs sur un territoire), de l'économie circulaire et la nécessité de décarboner tous les processus. Le dialogue et les échanges multi-sectoriels, entre métiers et entre secteurs professionnels, seront la clé pour inventer cette nouvelle organisation globale.</p> <p>Cette UE vise à construire une <b>culture commune sur ces grands enjeux</b>, pour accélérer la prise de conscience, favoriser les dialogues multi-sectoriels, en un mot : aider nos ingénieurs à jouer pleinement leur rôle dans ces transformations qui vont marquer leur vie professionnelle.</p>                                 |  |                  |           |                |  |
| <p><b>Acquis d'apprentissage :</b></p> <p>Les objectifs de ce module sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Connaître les grands enjeux relatifs aux services rendus par la nature et aux limites planétaires : trois séances sensibiliseront les étudiants sur le climat, la biodiversité, la pollution chimique,</li> <li>- Connaître les fondements de nos sociétés actuelles en termes d'énergie et de ressources et les ordres de grandeur en jeu,</li> <li>- Être capable de se référer aux grands principes des nouvelles organisations de production mis en place au niveau politique et réglementaire : écologie industrielle, économie circulaire, stratégie nationale bas carbone,</li> <li>- Connaître les grands principes et les normes de qualité des méthodes d'analyse d'impact (ACV et bilan carbone), savoir lire et critiquer les analyses d'impacts produits par d'autres acteurs,</li> <li>- Se repérer dans le panorama des technologies pour les énergies renouvelables, pour la décarbonation des procédés (comprenant la capture du CO<sub>2</sub>) et pour le recyclage. Prendre conscience des couplages technologies-ressources,</li> <li>- Comprendre, critiquer, et se référer aux scénarios de transition écologique (énergie, production, territoires, métiers)</li> </ul> |  |                  |           |                |  |
| <p><b>Pré-requis :</b></p> <p>Niveau licence scientifique</p>   |  |                  |           |                |  |
| <p><b>Langue du cours :</b> français</p> <p><b>Documents, lien :</b> Des ressources et liens seront mises en ligne sur Moodle</p>   |  |                  |           |                |  |

|   |   |  |  |  |  |
|---|---|--|--|--|--|
| <b>1A</b><br><b>S6</b>  | <b>L'année de césure</b><br><i>Mots clés : césure</i> |  |  |  |  |
|   |   |  |  |  |  |
|   |   |  |  |  |  |
| <p><b>Descriptif :</b></p> <p>Un élève-ingénieur peut, à titre exceptionnel, être autorisé à interrompre ses études en effectuant une année complète de césure (soit deux semestres). Cette césure est effectuée sur la base du volontariat.</p> <p>L'élève-ingénieur peut profiter de cette période pour faire un stage, ou du bénévolat, ou pour suivre une formation dans un autre domaine que la chimie.</p> <p>L'année de césure peut être effectuée uniquement à la fin de la première ou à la fin de la deuxième année.</p> <p>L'année de césure démarre en début d'année universitaire (septembre de l'année en cours).</p> <p>La césure ne peut avoir lieu qu'une seule fois dans la scolarité.</p> <p>A l'issue de l'année de césure, l'élève-ingénieur ré-intègre la scolarité normale.</p> <p>La circulaire MENESR 2015-122 du 22 juillet 2015 définit les modalités d'application de la césure ainsi que les types de césure (Césure en milieu professionnel, autre formation, étudiant-entrepreneur) qui peuvent être effectuées.</p> |   |  |  |  |  |