



# SYLLABUS

---

→ **INGÉNIEUR DES INDUSTRIES  
CHIMIQUES**

**2026-2027 (PROMOTION 2029)**

---

01/09/2026

# ENSIC

## Syllabus du Diplôme Ingénieur des Industries Chimiques

2026 – 2027

1, rue Grandville  
B.P. 20451  
54001 NANCY CEDEX

Tél. : (33) 03.72.74.36.00  
Email : ensic-dir@univ-lorraine.fr

### INFORMATIONS GENERALES

*Directeur*  
Directeur-adjoint  
*Directeur des Etudes du diplôme Ingénieur des Industries Chimiques*  
*Correspondant Pédagogique S5 S6*  
*Correspondant Pédagogique S7 S8*  
*Responsable Parcours PROCEDIS*

Alain DURAND  
Eric SCHAER  
Jean-François PORTHA  
Axelle ARRAULT  
Rainier HREIZ  
Olivier HERBINET

### HISTORIQUE

L'ENSIC a fêté ses 130 ans en 2017. Créé en 1887 à la faveur d'une convention entre la Ville de Nancy et le Ministère de l'Enseignement, l'Institut Chimique de Nancy a été inauguré par le Président Sadi Carnot en 1892. Un demi-siècle plus tard, une réforme audacieuse, dite réforme Travers, instaure le recrutement, toujours actuel, par la voie des concours réservés aux élèves de Mathématiques Spéciales : l'Ecole s'appellera désormais « Ecole Supérieure des Industries Chimiques ». Enfin, début 1948, à la faveur d'un décret portant création des Ecoles Nationales Supérieures d'Ingénieurs, l'Ecole devient « Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques » et diplôme des Ingénieurs de Procédés, ayant vocation à répondre aux attentes des industriels et de la société.

En 1997, la filière originelle d'Ingénieur des Industries Chimiques pour laquelle l'Ecole détient une habilitation antérieure à 1936, s'enrichit d'une nouvelle formation également accréditée par la Commission des Titres d'Ingénieur : « Filière d'Ingénieur des Techniques de l'Industrie ». Cette formation, axée sur le Génie Chimique, s'appuie sur les industriels des branches professionnelles pour former ses ingénieurs par la voie de l'alternance.

L'ENSIC Nancy est une composante d'Université, son établissement de rattachement étant, entre 1971, et 2011 l'Institut National Polytechnique de Lorraine, puis l'Université de Lorraine depuis 2012. Dans ce cadre, les élèves ingénieurs de l'ENSIC ont la possibilité d'obtenir une inscription complémentaire en Master durant leur 3<sup>ème</sup> année de formation.

### DIPLOMES

L'Ecole est habilitée à délivrer deux diplômes d'Ingénieur :

- Ingénieur des Industries Chimiques
- Ingénieur des Industries Chimiques, Spécialité Génie Chimique en partenariat avec France Chimie

Elle accueille chaque année quelque 140 nouveaux élèves-ingénieurs répartis dans ces deux formations.

## I. OBJECTIFS DE LA FORMATION

Dans le contexte des enjeux liés aux profondes mutations industrielles et aux nouvelles attentes de la Société, l'ENSIC a pour ambition de former des Ingénieurs possédant une double compétence en Chimie & Chimie-Physique et en Génie Chimique & Génie des Procédés, par une pédagogie adaptée :

- Acquisition de solides compétences scientifiques et techniques complétées par des outils et concepts novateurs et avancés en Génie des Procédés, une formation originale en Génie des Procédés pour les Produits, et en Génie des Procédés Biotechnologiques.
- Prise en compte des responsabilités citoyennes et éthiques des ingénieurs pour répondre aux attentes humaines, managériales et sociétales.

Forte de son expérience, l'école s'est attachée à la conception d'un programme pédagogique en se fixant les objectifs suivants :

- Proposer un cursus qui repose sur une semestrialisation effective : un tronc commun de trois semestres qui constitue la base des connaissances générales indispensables, suivi de trois parcours, en « Procédés pour l'énergie et l'environnement », « Produits innovants : de la chimie aux procédés » et « Procédés pour les biotechnologies » dont les enseignements sont dispensés durant les deux derniers semestres de formation académique, soit S8 et S9.

Le premier parcours concerne plus particulièrement le développement et l'extension des aspects méthodologiques du Génie des Procédés aux systèmes complexes, multiphasiques et multi-constituants. Un intérêt particulier est porté aux procédés durables et aux procédés développés dans le domaine de l'énergie. Le second parcours présente un enseignement qui intègre dans une démarche pluridisciplinaire et multi-échelle la conception, la formulation et l'ingénierie d'élaboration de produits pour obtenir les fonctions d'usage recherchées. Enfin, le troisième parcours concerne l'application du Génie des Procédés à la caractérisation, au dimensionnement et à l'optimisation des installations industrielles dans les domaines de la pharmacie, de la chimie fine ou de spécialités ayant recours aux synthèses par biocatalyse, fermentation ou à la chimie du vivant.

- Appliquer une pédagogie qui s'appuie sur l'intégration cours, travaux dirigés, formation pratique et projets dans laquelle l'Elève-Ingénieur est acteur, l'Enseignant-Chercheur n'étant plus seulement le « transmetteur de savoir » mais aussi le « manager de l'acquisition des connaissances » de l'Elève-Ingénieur. Cette pédagogie s'appuie sur l'utilisation de tous les outils pédagogiques mis à sa disposition.
- Enseigner les sciences humaines, managériales, juridiques, économiques et sociales nécessaires aux fonctions et responsabilités de l'Ingénieur du 21ème siècle.
- Offrir de réels aiguillages dans la formation en interne et des ouvertures externes à l'échelle nationale ou internationale afin de susciter la réflexion sur le projet professionnel personnel des Elèves-Ingénieurs dès leurs premiers mois d'intégration.
- Appliquer un mode d'évaluation conforme au cadre de l'harmonisation européenne, permettant de prendre en compte le temps de travail total de l'Elève-Ingénieur relatif à chaque module, et de capitaliser les crédits correspondant à la validation d'un module.
- Développer l'évaluation des compétences aussi bien pour les périodes académiques que pour les périodes en entreprise et les activités associatives.

Les formations de l'ENSIC se sont toujours alimentées des progrès et des évolutions de ses laboratoires de recherche qui permettent d'assurer des enseignements dans les domaines de pointe. Les 300 chercheurs, enseignants-chercheurs et doctorants rassemblés sur le même campus contribuent au rayonnement de l'école

et contribuent directement à la formation via notamment le projet de recherche et développement des élèves-ingénieurs.

L'ENSIC, consciente de l'importance du partenariat avec l'industrie, fait régulièrement appel à des intervenants de la profession qui proposent des cours, des conférences et des séminaires. Ils interviennent de façon régulière et significative, aussi bien en tronc commun que dans les parcours de spécialité, dans l'enseignement des disciplines scientifiques, dans celles relevant des sciences humaines, juridiques économiques et sociales, dans le projet de conception de procédés. Ils apportent également une aide considérable à la meilleure définition du projet personnel et professionnel de nos étudiants. Ces interventions conventionnelles sont aussi complétées par une implication des tuteurs industriels dans leur fonction et dans leur environnement professionnel lors des périodes en entreprise :

- un stage ouvrier de 1 mois minimum à l'issue de la première année ;
- un stage ingénieur de 6 mois (4 mois requis) en fin de troisième année ;
- la possibilité d'effectuer un stage assistant ingénieur (3 mois maximum) en fin de deuxième année.

La construction de l'espace européen de l'éducation, l'offre d'un marché mondial de l'emploi confortent l'ENSIC dans sa politique volontariste d'échanges et de coopérations universitaires et industrielles internationales. Un séjour à l'étranger d'au moins trois mois est obligatoire afin de familiariser les futurs ingénieurs à évoluer dans un milieu professionnel international et à les armer pour faire face à une éventuelle expatriation. La moitié des élèves-ingénieurs réalise ainsi une partie de son cursus à l'étranger : formation en entreprise, ou formation académique ou de recherche dans une des 40 universités partenaires de l'université.

## II. RECRUTEMENT - ADMISSIONS

### Les diverses voies d'accès

La filière d'Ingénieurs des Industries Chimiques (I<sup>2</sup>C) est accessible par la voie des concours nationaux en 1<sup>ère</sup> année (concours communs polytechniques) et par la voie des admissions parallèles, après examen d'un dossier et entretien en 1<sup>ère</sup> et en 2<sup>ème</sup> années.

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

- Voie des concours

Concours communs polytechniques : 77 places offertes (50 Filière PC Chimie, 9 MP, 9 PSI, 9 BCPST)

- Admissions sur titres (dossier et entretien) pour des étudiants issus de :

DUT de Génie Chimique ou Mesures Physiques ou Licence de Chimie-Physique :	10 places offertes
La Prépa des INP :	5 places
Cycle Préparatoire Intégré (FGL) :	16 places
ECUST (FGL)	2 places

#### Admission en 2<sup>ème</sup> année du cycle

- Admissions parallèles (dossier et entretien) pour des étudiants issus de :

Master 1 ou 2 (Chimie, Chimie- Physique, Sciences de la matière, Génie des procédés)	
Etudiants étrangers du réseau « N + i » :	10 places offertes

#### Admissions parallèles au titre de la formation continue

Accessibilité pour des salariés titulaires d'un DUT et justifiant d'une activité salariée de 3 ans. L'admission, sur dossier et entretien, doit être précédée d'une mise à niveau initiée par la formation continue de l'université de Lorraine (Filière Fontanet).

La sélection des candidats, dans le cadre des admissions parallèles, est effectuée par un jury exclusivement composé d'enseignants-chercheurs de l'École. Le jury final d'admission est celui arrêté par le Directeur de l'école au début de l'année universitaire en cours.

### Conditions d'admission des étudiants étrangers

L'École accueille dans la filière I<sup>2</sup>C, chaque année des étudiants de nationalité étrangère qui ont soit accompli tout ou partie de leur scolarité en France, soit accompli leur scolarité dans un pays étranger et sont lauréats des concours communs polytechniques. Leur mode d'admission à l'École relève des concours nationaux d'entrée dans les Ecoles Nationales Supérieures d'Ingénieurs et des procédures d'admissions sur titres.

## **III. ORGANISATION PEDAGOGIQUE ET SYNOPTIQUE DES ETUDES**

Les trois années de cursus de formation de la filière Ingénieur des Industries Chimiques sont organisées de telle façon que l'élève-ingénieur puisse développer la connaissance de soi et de ses potentialités, ainsi que son projet professionnel personnel. Le programme pédagogique concerné par ces compétences (voir Paragraphe IV) vise à ce que l'élève devienne acteur de sa formation et puisse répondre à plusieurs questions essentielles :

- Quelle est ma véritable personnalité ?
- Quelles sont mes compétences et aptitudes personnelles ?
- Quels métiers me sont accessibles ?
- Comment m'y prendre pour accéder au poste ciblé ?

Dans ce cadre, les élèves doivent notamment effectuer au Semestre 8, individuellement ou en groupe, un projet d'ouverture sociétale qui leur permet de mettre en application les méthodes de management de projet, de développer une activité en dehors du cadre académique suivant leurs aspirations personnelles, de tester leurs propres limites et de mieux se connaître, de mettre en avant leurs capacités d'innovation et d'inventivité, d'enrichir et de différencier leur curriculum vitae par une expérience originale. Ce projet d'ouverture est aussi l'opportunité pour les élèves de développer un projet personnel qui leur tient à cœur tout en se confrontant aux enjeux sociétaux.

Le contenu de la formation est structuré en unités d'enseignement (UE) et en éléments constitutifs (EC) de ces unités d'enseignement. Ces UE et EC correspondent à des périodes à l'école, en entreprise, en laboratoire de recherche, en séjour international.

La progression durant la formation est caractérisée par : 1) la validation d'acquis de l'apprentissage attestée par l'attribution de crédits ECTS et 2) le développement de compétences de l'ingénieur attesté par la validation de niveaux au sein du référentiel de compétences visées pour l'ingénieur (voir plus loin).

Chaque EC contribue à l'évaluation globale de l'UE selon des modalités de contrôle de connaissance précisées en début d'année universitaire. Toutes les évaluations sont définitives une fois validées par le jury du diplôme. La validation d'une UE conduit à l'attribution de crédits ECTS dont le nombre dépend du volume de travail de l'UE en question (en heures de travail par élève). Le volume de travail d'un enseignement est estimé avec la règle suivante : 1h de CM ou TD = 1,75h de travail ; 1h de TP = 1,50h de travail ; 1h de tutorat de projet = 10h de travail ; 1 semaine en entreprise = 35h de travail. Une année d'études représente entre 1500 et 1800 heures de travail et 1 ECTS entre 23 et 35 heures de travail. La validation d'un semestre correspond à l'obtention de 30 crédits ECTS et implique la validation de toutes les UE de ce semestre sans possibilité de compensation entre UE. L'obtention du diplôme est prononcée par le jury du diplôme et nécessite la validation de 180 crédits ECTS ainsi que la validation d'un niveau B2 en anglais et en français langue étrangère. Ce niveau B2 est évalué à la fois en interne (via les UE correspondantes) et en externe par un test reconnu dans le milieu professionnel ou académique.

L'évaluation d'un EC contribue directement à l'acquisition d'une ou plusieurs compétences du référentiel, à un niveau donné. Selon les cas, un EC peut aussi contribuer de façon indirecte à l'acquisition d'une compétence à un niveau donné en tant que « ressource ». Le référentiel de compétences du diplôme comporte 14 compétences avec 5 niveaux (a à e) pour chacune d'elles. Le référentiel de compétences détaillé est donné ci-dessous. L'obtention du diplôme implique, selon les cas, la validation d'un niveau c ou d pour chacune des 14 compétences en fin de formation. S'il le souhaite, un élève peut demander à valider la contribution d'une

activité associative aux compétences n°10 et 12 (niveaux à préciser au cas par cas) sous réserve d'acceptation par le jury et de la mise en place d'une procédure d'évaluation ad hoc. Un élève peut également demander la validation de sa participation au mentorat sous la forme d'une contribution à l'acquisition de la compétence n°14. Dans ce but, l'élève devra produire un livrable de son choix (par exemple un portfolio réflexif) et se soumettre à une procédure d'évaluation.

La formation (voir synoptique d'études ci-dessous) débute par un *tronc commun* qui se déroule sur les trois premiers semestres, dénommés S5 à S7. Les enseignements de ce tronc commun rassemblent les bases nécessaires à tout ingénieur I<sup>2</sup>C en chimie et chimie-physique ainsi qu'en génie chimique et génie des procédés. Ils sont répartis en unités d'enseignements pour les différents semestres.

Les enseignements sont dispensés sous forme de cours magistraux, conférences données par des professionnels, travaux dirigés, travaux pratiques ainsi que différentes modalités de pédagogie active (classe inversée, résolution de problèmes...). Ils donnent lieu à des évaluations sous forme de contrôles écrits, rapports de manipulations de travaux pratiques, présentations orales, rapports de travaux en groupes. De plus, les élèves doivent réaliser plusieurs projets en groupes, qui permettent une approche intégrée des différentes unités d'enseignement, ainsi qu'une organisation et un travail en équipe. Ces projets en groupes font l'objet d'un encadrement et d'une évaluation spécifiques :

- le projet modélisation (Semestre 5) ;
- le projet systèmes réactifs (Semestre 6) ;
- le projet industriel (Semestre 8).

Les unités d'enseignement obligatoires sont complétées par des options, permettant d'approfondir certains enseignements ou d'acquérir une spécialisation scientifique et technique dans un domaine d'intérêt.

Un stage ouvrier en entreprise de 1 mois doit être effectué obligatoirement à l'issue de la 1<sup>ère</sup> année. Son évaluation et sa validation sont intégrées dans le Semestre 8 où ce stage constitue une unité d'enseignement.

La formation se poursuit par des parcours de spécialisation que les élèves choisissent et argumentent auprès de la direction des études au regard de leur motivation et de leur projet professionnel. Ces enseignements de spécialisation se déroulent aux Semestres 8 et 9.

**Au Semestre 8**, les élèves peuvent choisir entre différents parcours de spécialisation au sein de l'Ecole :

- « Procédés pour l'énergie et l'environnement » ;
- « Produits innovants : de la chimie aux procédés » ;
- « Procédés pour les biotechnologies ».

A l'issue du Semestre 8, une période de 3 mois est libérée (juin à août) de façon à permettre à ceux qui le souhaitent, d'effectuer un séjour à l'étranger ou un autre stage (non obligatoire mais conventionné).

**A partir du Semestre 9**, les élèves peuvent poursuivre leurs études :

- à l'Ecole dans le parcours de spécialisation choisi au Semestre 8 ;
- à l'Ecole en contrat de professionnalisation (filière PROCEDIS) dans le parcours « Procédés pour l'énergie et l'environnement » ou dans le parcours « Produits innovants : de la chimie aux procédés » ;
- dans une université à l'étranger (par exemple un semestre) ;
- dans une autre Ecole d'Ingénieurs de la Fédération Gay Lussac (FGL) ;
- dans un parcours double diplôme avec l'ENSAIA ou l'ENSG ;
- à l'Institut National des Sciences et Techniques du Nucléaire ;
- à l'IFP School par la voie de l'apprentissage.

Hormis pour quelques élèves (ceux suivant la filière PROCEDIS, inscrits à l'INSTN ou encore à l'IFP School par la voie de l'apprentissage), un stage ingénieur en entreprise de 6 mois (4 mois minimum) doit être effectué en fin d'études (généralement en Semestre 10). Enfin, une période de 2 mois doit être consacrée à un projet de type recherche et développement (projet de recherche et développement) qui peut être réalisé soit dans

un laboratoire de recherche en France ou à l'étranger, soit dans une entreprise. Ces deux activités (stage ingénieur et projet de recherche et développement) font l'objet d'un encadrement et d'une évaluation spécifiques. Les sujets choisis sont validés par la Direction des Etudes.

En fonction de son projet professionnel personnel, un élève peut interrompre sa formation à l'ENSIC pour effectuer une année césure entre les semestres S8 et S9. Cette « année césure » a pour objectif de permettre à l'élève-ingénieur d'acquérir des compétences connexes à celles dispensées à l'école et contribuant clairement à la réalisation de son projet professionnel. L'élève-ingénieur doit prendre en charge la construction de son projet d'année césure et bénéficie pour cela des infrastructures et des relations industrielles et internationales de l'école. Une fois son projet défini, l'élève-ingénieur doit le soumettre à la Direction des Etudes. L'autorisation d'effectuer une année césure est accordée par le jury de la filière sur proposition du Directeur des Etudes.

## Référentiel de compétences du diplôme

CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES ET MAITRISE DE LEUR MISE EN ŒUVRE	
<b>Compétence n°1</b>	<b>La connaissance et la compréhension d'un large champ de sciences fondamentales et appliquées et la capacité d'analyse et de synthèse qui leur est associée</b>
<b>Niveau a</b>	Citer et décrire les principes de base en sciences fondamentales et appliquées.
<b>Niveau b</b>	Expliquer et démontrer les fondamentaux en mathématiques, physique, chimie afin d'atteindre les objectifs du programme de formation.
<b>Niveau c</b>	Manipuler et expérimenter les fondamentaux en mathématiques, physique, chimie pour la résolution de problèmes.
<b>Niveau d</b>	Analyser et synthétiser des savoirs et travaux scientifiques, sur la base de connaissances étendues et approfondies en mathématiques, physique, chimie, pour apporter une vision d'ensemble cohérente sur un sujet d'étude afin de le développer.
<b>Niveau e</b>	Développer des approches originales permettant de contribuer à l'apport de nouvelles connaissances et à l'innovation dans les sciences fondamentales.
<b>Compétence n°2</b>	<b>L'aptitude à mobiliser et intégrer les ressources de plusieurs champs scientifiques et techniques spécifiques.</b>
<b>Niveau a</b>	Identifier les domaines scientifiques dont l'exploration implique l'intégration de plusieurs disciplines fondamentales relevant des sciences physiques et chimiques.
<b>Niveau b</b>	Expliciter les liens entre les phénomènes de transfert, la thermodynamique et la cinétique chimique apparaissant dans les sciences du génie des procédés.
<b>Niveau c</b>	Mobiliser les méthodologies du génie des procédés pour la description des processus de transport de la matière, de l'énergie, et de la quantité de mouvement. Utiliser ces savoirs pour le dimensionnement des installations de transfert de matière et d'énergie.
<b>Niveau d</b>	Connaître, évaluer et être capable de mettre en œuvre le couplage entre sciences physiques et chimiques dans des milieux complexes, polyphasiques, multi-constituants pour optimiser le fonctionnement des installations.
<b>Niveau e</b>	Développer des méthodes utilisant les acquis de plusieurs champs disciplinaires scientifiques et techniques afin de faire évoluer les frontières du génie des procédés.
<b>Compétence n°3</b>	<b>La maîtrise des approches, méthodes et outils de l'ingénieur : identification, modélisation et résolution de problèmes même non familiers et incomplètement définis, l'approche systémique, holistique et interdisciplinaire, l'utilisation des approches numériques et des outils informatiques, l'analyse et la conception de systèmes</b>
<b>Niveau a</b>	Identifier le socle conceptuel et les méthodologies du génie des procédés et y associer les outils numériques et statistiques adaptés.
<b>Niveau b</b>	Distinguer et décrire des problématiques de dimensionnement et différencier les niveaux de complexité permettant la résolution de problèmes.
<b>Niveau c</b>	Résoudre des problèmes formulés à des niveaux de complexité différents, en employant des méthodes adaptées.
<b>Niveau d</b>	Identifier des problèmes et les formuler au niveau de complexité requis. Analyser des produits et procédés selon les méthodes du génie des procédés en intégrant des aspects socio-écologiques.
<b>Niveau e</b>	Évaluer, mettre en équation et solutionner des problèmes non familiers et incomplètement définis. Développer des approches originales et innovantes en se basant sur les principes fondamentaux.
<b>Compétence n°4</b>	<b>La capacité à concevoir, concrétiser, tester et valider des solutions, des méthodes, produits, procédés innovants, en ayant préalablement un questionnement sur les usages</b>

<b>Niveau a</b>	Nommer et identifier des produits ou procédés pour une application donnée.
<b>Niveau b</b>	Comparer et sélectionner des produits et procédés pour répondre à un cahier des charges donné.
<b>Niveau c</b>	Analyser des produits et procédés en choisissant et appliquant des méthodes appropriées et en prenant en compte des aspects liés à leurs usages.
<b>Niveau d</b>	Concevoir, développer et dimensionner des nouveaux produits et procédés en se basant sur les aspects fondamentaux et en intégrant notamment les aspects liés à la transition socio-écologique.
<b>Niveau e</b>	Développer et valider des méthodes innovantes de conception de produits et de procédés en intégrant les développements les plus récents du domaine, sur la base d'une analyse critique considérant les aspects technologiques, économiques, environnementaux et sociétaux.
<b>Compétence n°5</b>	<b>La capacité à effectuer des activités de recherche, fondamentale ou appliquée, à mettre en place des dispositifs expérimentaux ; la capacité à maîtriser les ordres de grandeur en s'appuyant sur des données étayées ; la capacité à restituer un travail de recherche</b>
<b>Niveau a</b>	Appliquer un protocole expérimental et donner l'ordre de grandeur des principaux paramètres physico-chimiques.
<b>Niveau b</b>	Utiliser à bon escient des dispositifs expérimentaux existants, identifier le champ paramétrique pouvant être exploré, effectuer les mesures, exploiter et présenter les résultats et incertitudes dans un format scientifique adapté.
<b>Niveau c</b>	Relier théorie et expérience. Développer une méthodologie expérimentale permettant de valider un modèle ou de régresser certains de ses paramètres et d'en estimer l'incertitude.
<b>Niveau d</b>	Organiser un travail de recherche fondamentale ou appliquée : élaborer des modèles, choisir des dispositifs expérimentaux appropriés, établir un plan d'expériences et analyser les résultats. Identifier les phénomènes prépondérants et les impacts majeurs associés pour en déduire l'ordre de grandeur des phénomènes attendus.
<b>Niveau e</b>	Concevoir une stratégie d'exploration d'un nouveau domaine. Identifier les verrous scientifiques et/ou technologiques et les ressources nécessaires à leur levée. Développer des stratégies expérimentales innovantes. Restituer les avancées sous forme de communications scientifiques.
<b>Compétence n°6</b>	<b>La capacité à trouver l'information pertinente, à l'analyser, l'évaluer et à l'exploiter</b>
<b>Niveau a</b>	Identifier et lister les différents types de ressources bibliographiques et les outils bibliographiques de base.
<b>Niveau b</b>	Sélectionner les publications les plus pertinentes sur un sujet donné en utilisant les outils bibliographiques de base. Les ordonner et les citer correctement comme références bibliographiques.
<b>Niveau c</b>	Adopter une démarche rigoureuse et raisonnée pour extraire des publications, brevets et ouvrages scientifiques pertinents à partir de différents outils bibliographiques. Identifier et analyser les points clés d'un document scientifique.
<b>Niveau d</b>	Réaliser une étude bibliographique, interpréter les résultats publiés et analyser l'état de l'art sur un sujet précis. Utiliser différents outils bibliographiques et de gestion des références associées. Rédiger un rapport ou une présentation bibliographique synthétique.
<b>Niveau e</b>	Réaliser un état de l'art bibliographique le plus complet possible sur une thématique particulière, en mettant en œuvre une expertise et un sens critique associés à des connaissances et une expérience approfondie dans le domaine.
<b>L'ADAPTATION AUX EXIGENCES PROPRES DE L'ENTREPRISE ET D'UNE SOCIETE DURABLE</b>	

<b>Compétence n°7</b>	<b>La capacité à prendre en compte les enjeux de l'entreprise et à rendre compte de son action : dimension économique, respect des exigences sociales et environnementales, respect de la qualité, compétitivité et productivité, exigences commerciales, intelligence économique</b>
<b>Niveau a</b>	Lister les règles de QHSE, les indicateurs de performance et les besoins fonctionnels d'un procédé.
<b>Niveau b</b>	Identifier les exigences QHSE et économiques d'un procédé.
<b>Niveau c</b>	Suivre les indicateurs de performance d'un procédé ou d'un produit et vérifier le respect des normes.
<b>Niveau d</b>	Faire respecter les règles de QHSE, réaliser une analyse technico-économique d'un procédé ou d'un produit et proposer des axes d'amélioration.
<b>Niveau e</b>	Prévenir et gérer les risques associés aux procédés ou aux produits, planifier et organiser les activités de contrôle et de maintenance. Piloter les indicateurs de performance et mettre en place des actions d'optimisation.
<b>Compétence n°8</b>	<b>La capacité à intégrer dans ses conduites les responsabilités éthiques et professionnelles, à prendre en compte les enjeux des relations au travail, de sécurité et de santé au travail et de la diversité</b>
<b>Niveau a</b>	Décrire les principes de responsabilité éthique, de sécurité et santé au travail. Distinguer les notions de Diversité, Egalité, Inclusion et Respect.
<b>Niveau b</b>	Discuter les principes d'éthique et de responsabilité professionnelle. Appliquer les règles de sécurité et santé au travail et les principes de Diversité, Egalité, Inclusion et Respect.
<b>Niveau c</b>	Pratiquer les principes d'éthique et de responsabilité professionnelle. Appliquer les règles de sécurité et santé au travail. Appliquer les principes de Diversité, Egalité, Inclusion et Respect.
<b>Niveau d</b>	Défendre et organiser les principes d'éthique, de relations au travail, de sécurité et santé au travail, de la diversité dans l'ensemble de ses activités professionnelles, et notamment dans ses pratiques scientifiques et techniques, dans sa communication, son management et ses prises de décisions.
<b>Niveau e</b>	Organiser le changement, faire progresser les principes susmentionnés dans son environnement professionnel.
<b>Compétence n°9</b>	<b>La capacité à agir pour la transition énergétique et écologique des entreprises</b>
<b>Niveau a</b>	Décrire l'évolution technique de l'industrie ainsi que ses besoins croissants en matière et énergie.

<b>Niveau b</b>	Identifier les différentes ressources naturelles exploitées par l'industrie et les caractériser. Appréhender les problèmes liés à leur exploitation. Détailler les besoins en énergie/matière de l'industrie et leurs impacts carbone.
<b>Niveau c</b>	Distinguer les différentes pollutions industrielles. Identifier les technologies permettant de réduire les besoins en ressources, ainsi que les nuisances sur l'Environnement et sur la Société. Réaliser une ACV simplifiée.
<b>Niveau d</b>	Quantifier et analyser les besoins en ressources et les impacts environnementaux et sociétaux d'un procédé ou d'un produit existant (ACV élargie aux avantages et inconvénients sociétaux). Evaluer, avec l'ensemble des parties prenantes, l'intérêt d'une nouvelle technologie par une approche systémique et prospective.
<b>Niveau e</b>	Manager le changement vers des systèmes industriels plus vertueux. Anticiper les besoins et les contraintes socio-écologiques lors du développement de procédés et produits
<b>Compétence n°10</b>	<b>La capacité à agir pour l'émergence d'une société durable et la diffusion de la science</b>
<b>Niveau a</b>	Définir les enjeux et besoins de la société, examiner la diversité des relations Homme-Nature et décrire les principes d'une démarche scientifique.
<b>Niveau b</b>	Décrire les concepts de limites planétaires, de biodiversité, de services écosystémiques, d'objectifs sociétaux (ODD). Illustrer les principes et apports de la démarche scientifique.
<b>Niveau c</b>	Examiner les besoins et les enjeux de la société dans le cadre de la transition socio-écologique. Analyser les causes et conséquences du changement climatique et de l'effondrement de la biodiversité. Etablir le lien entre les sciences & technologies et une société durable. Agir en tant qu'ingénieur citoyen & scientifique.
<b>Niveau d</b>	Co-construire des diagnostics et des solutions d'atténuation & d'adaptation à l'épuisement des ressources, de la biodiversité & du changement climatique. Diffuser ses connaissances et partager son expérience dans une démarche citoyenne.
<b>Niveau e</b>	Soutenir l'avancement technologique et sociétal au service d'un monde durable. Concevoir l'innovation socialement responsable en intégrant de nouveaux enjeux.
<b>LA PRISE EN COMPTE DE LA DIMENSION ORGANISATIONNELLE, PERSONNELLE ET CULTURELLE</b>	
<b>Compétence n°11</b>	<b>La capacité à s'insérer dans la vie professionnelle, à s'intégrer dans une organisation, à l'animer et à la faire évoluer : exercice de la responsabilité, engagement et leadership, management de projets, capacité à collaborer et à communiquer au sein d'équipes diversifiées et pluridisciplinaires</b>

<b>Niveau a</b>	Décrire les principales fonctions d'une entreprise et distinguer les principaux rôles dans une équipe de travail.
<b>Niveau b</b>	Identifier la stratégie, les valeurs et les missions d'une entreprise et repérer ses modalités de croissance. Contribuer au travail en groupe en assumant sa propre responsabilité. Coordonner son activité avec celles des autres membres de l'équipe.
<b>Niveau c</b>	Être force de proposition au sein d'une organisation de travail en mobilisant des techniques de communication et de coopération interpersonnelle. Savoir gérer les conflits afin de faciliter la prise de décision.
<b>Niveau d</b>	Manager des personnes, des projets entrepreneuriaux et d'entreprises. Effectuer des choix d'orientations professionnelles en tenant compte de la vision stratégique de l'entreprise et de ses propres aspirations.
<b>Niveau e</b>	Animer et gérer des équipes et des projets pluridisciplinaires en anticipant les difficultés et en favorisant les échanges. Initier et accompagner des changements organisationnels et techniques. Concevoir et porter des projets complexes et multipartenaires.
<b>Compétence n°12</b>	<b>La capacité à entreprendre et à innover, dans le cadre de projets personnels ou par l'initiative et l'implication au sein de l'entreprise dans des projets entrepreneuriaux</b>
<b>Niveau a</b>	Citer les principes fondamentaux de fonctionnement d'une entreprise et énumérer ses principales activités.
<b>Niveau b</b>	Décrire les problématiques liées à la gestion et au management d'une entreprise. Identifier les enjeux majeurs de sa performance socioéconomique.
<b>Niveau c</b>	Développer son potentiel entrepreneurial et créatif et l'utiliser pour la construction de son projet personnel et professionnel.
<b>Niveau d</b>	Identifier les principaux outils et méthodes de gestion d'entreprise et les appliquer au management d'un projet entrepreneurial et/ou d'innovation.
<b>Niveau e</b>	Concevoir et mettre en œuvre des projets entrepreneuriaux et d'innovation au sein d'une entreprise ou à titre individuel. Proposer des pistes possibles de développement d'affaires.
<b>Compétence n°13</b>	<b>La capacité à travailler en contexte international et multiculturel : maîtrise d'une ou plusieurs langues étrangères et ouverture culturelle associée, capacité d'adaptation aux contextes internationaux et de coopération sur des enjeux planétaires collectifs</b>
<b>Niveau a</b>	Comprendre une ou plusieurs langues étrangères, identifier les spécificités culturelles.

<b>Niveau b</b>	Rendre compte de son travail sous forme écrite et orale en utilisant plus d'une langue dont l'anglais, être capable de travailler en contexte international.
<b>Niveau c</b>	Présenter les résultats d'un travail sous forme écrite et orale, communiquer efficacement avec des spécialistes et non-spécialistes, en utilisant des outils multimédias. Travailler en équipe multiculturelle, en utilisant plus d'une langue, dont l'anglais.
<b>Niveau d</b>	Travailler efficacement dans des contextes nationaux et internationaux, en tant que membre ou leader d'une équipe multidisciplinaire et multiculturelle. Utiliser les outils et techniques de communication adaptés, pour communiquer dans sa langue maternelle, en français et en anglais.
<b>Niveau e</b>	Communiquer avec les pairs, la communauté scientifique internationale et la société au sujet de son travail ou de son expertise dans sa langue maternelle, en français et en anglais. Anticiper les différences culturelles, et s'y adapter afin de gérer des groupes et projets internationaux.
<b>Compétence n°14</b>	<b>La capacité à se connaître, à s'autoévaluer, à gérer ses compétences (notamment dans une perspective de formation tout au long de la vie), à opérer des choix professionnels</b>
<b>Niveau a</b>	Identifier les besoins fondamentaux des individus au travail et distinguer les dimensions physiques, cognitives et émotionnelles.
<b>Niveau b</b>	Situer l'importance de la dimension humaine au travail. Identifier les différences de valeur et de culture de travail.
<b>Niveau c</b>	Distinguer les différents profils de personnalité, leurs forces et faiblesses, et en tenir compte afin de gérer les relations interpersonnelles. Détecter son profil de personnalité afin d'éclairer ses choix d'orientation.
<b>Niveau d</b>	Choisir et argumenter son projet professionnel et personnel en tenant compte de ses compétences techniques et humaines. Considérer la nécessité d'une formation tout au long de la vie.
<b>Niveau e</b>	Élaborer et structurer son projet de développement personnel et professionnel. Imaginer des évolutions de carrière possibles et se former ou se réorienter en conséquence.

## SYNOPTIQUE DES ETUDES

S10	<b>Stage Ingénieur de 4 à 6 mois</b>			Double diplôme avec ENSAIA ou ENSG	Parcours dans une autre école de la Fédération Gay Lussac	Parcours dans une Université étrangère	IFP School en apprentissage	Institut National des Sciences et Techniques du Nucléaire	Parcours PROCEDIS (15 mois en alternance)
S9	<b>Parcours de Spécialisation</b>  Projet d'Innovation	<i>Projet de Recherche et Développement</i>							
<b>Stage ou séjour à l'étranger 3 mois : de juin à septembre</b>									
S8	<b>Parcours de Spécialisation</b>	<i>Projet de conception</i>							
S7	<b>Tronc Commun</b>								
<b>Stage ouvrier 1 mois : juillet ou août</b>									
S6	<b>Tronc Commun</b>	<i>Projet systèmes réactifs</i>							
S5		<i>Projet modélisation</i>							

## **IV. Développement et élaboration du projet professionnel de l'élève. Mentorat**

Divers enseignements et interventions, intégrés dans les modules obligatoires du syllabus permettent d'accompagner l'ensemble des élèves dans la préparation de leur projet professionnel et cela en adéquation avec leur développement personnel. S'ajoute à ces modules obligatoires le dispositif de mentorat copiloté avec ENSIC Alumni et auquel les élèves peuvent prendre part sur la base du volontariat.

Le programme de développement et d'élaboration du projet professionnel qui se déroule sur les deux premières années a pour but de permettre aux élèves de mieux définir leur personnalité, de cerner leurs véritables compétences et aptitudes, de leur présenter tous les débouchés possibles pour un ingénieur ENSIC et leur donne le maximum d'outils pour trouver un premier emploi correspondant à leurs aspirations.

A la fin du tronc commun et du Semestre 7, un bilan personnalisé est effectué avec chaque élève afin de vérifier avec lui l'avancement de son projet professionnel. Cela doit lui permettre de choisir son parcours de spécialité au S8 et de construire le contenu de sa troisième année (S9 et S10).

### **Description des objectifs du programme de développement et d'élaboration du projet professionnel**

#### *Définition de sa personnalité, apprendre à se connaître et à connaître ses compétences et aptitudes*

Au cours du Semestre 5 un enseignement spécifique a pour objectif de faire prendre conscience aux élèves de leur propre personnalité : leurs atouts, leurs faiblesses, leur mode de fonctionnement par rapport aux autres. Cet enseignement met également en évidence les différences comportementales entre les individus et donne les principaux outils afin de les gérer, notamment le test Myers Briggs (MBTI). Cet apprentissage est complété et mis en application au S8 lors du projet d'ouverture qui permet aux étudiants de tester leurs propres limites et de mieux se connaître dans le cadre de la gestion d'un projet personnel effectué en dehors du cadre scolaire.

#### *Les débouchés du métier d'ingénieur ENSIC*

La diversité des secteurs industriels et des métiers est étudiée et présentée sous de multiples aspects :

- Signification du métier d'« ingénieur » et réflexion sur les notions d'éthique : organisation d'une conférence dans le cadre du projet d'ouverture sociétale
- Présentation du monde industriel et de la typologie des entreprises
- Présentation des différents métiers de l'ingénieur

De nombreuses manifestations sont organisées afin d'exposer les élèves aux professionnels de l'industrie : visites de sites industriels, présentations de sociétés à l'ENSIC, notamment lors de la « Journée Entreprises » organisée aux Semestres 5, 7 et 9, organisation aux Semestres 6 et 8 de la « Journée Métiers et Carrières » avec ENSIC Alumni, rencontre d'industriels sur site ou à l'ENSIC via des conférences, participation à des forums tels que Forum Horizon Chimie. Cela doit permettre aux étudiants de choisir des orientations : petites ou grandes entreprises, secteur d'activité préférentiel, métier de la production, de la recherche, ...

#### *Trouver son premier emploi*

Une préparation intensive aux entretiens d'embauche est effectuée grâce à différents éléments : apprentissage de la rédaction de curriculum vitae et de lettres de motivations, mise en situation grâce à des simulations d'entretiens.

### **Dispositif de mentorat copiloté avec ENSIC Alumni**

En début d'année universitaire les nouveaux entrants reçoivent une information sur le dispositif de mentorat copiloté avec ENSIC Alumni. Sur la base du volontariat un élève ingénieur se voit affecter un mentor et signe, tout comme le mentor, la charte du mentorat, qui comporte notamment l'engagement d'une interaction minimale durant l'année universitaire. Le détail des échanges entre mentor et mentoré est confidentiel. Les objectifs du mentorat sont : amener les élèves à mieux se situer dans l'univers professionnel et à mieux situer

le contenu de leur formation en regard de ses attentes, aider les élèves à définir leur projet professionnel et à cerner comment construire en conséquence leur parcours de formation. La participation au mentorat peut, si l'élève le souhaite, contribuer à l'acquisition de compétences (voir plus haut « organisation pédagogique et synoptique des études »).

**V. UNITES D'ENSEIGNEMENT DU TRONC COMMUN (Semestres 5 à 7)**

<i>Unités d'enseignement du Semestre 5</i>	<i>ECTS</i>	<i>CM/TD</i>	<i>TP</i>	<i>Tutorat</i>	<i>Total Présentiel</i>
Chimie organique I	5	60	28		88
Systèmes réactifs et procédés I	6	72	32		104
Thermodynamique et énergétique	4	60			60
Phénomènes de transfert I	3	48			48
Informatique, méthodes numériques et statistiques	6	88		6	94
Management et économie I	3	40			40
Langues I	3	40			40
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>408</b>	<b>60</b>	<b>6</b>	<b>474</b>
<i>Unités d'enseignement du Semestre 6</i>	<i>ECTS</i>	<i>CM/TD</i>	<i>TP</i>	<i>Tutorat</i>	<i>Total Présentiel</i>
Chimie minérale	5	52	28		80
Chimie et génie analytique	5	48	32		80
Systèmes réactifs et procédés II	4	60			60
Systèmes réactifs et informatique	4	24		6	30
Phénomènes de transfert II	5	51,5	32	4,5	88
Management et économie II	3	34	6		40
Langues II	3	40			40
Conférences Industrie, Société & Environnement I	1	21			21
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>330,5</b>	<b>98</b>	<b>10,5</b>	<b>439</b>
<i>Unités d'enseignement du Semestre 7</i>	<i>ECTS</i>	<i>CM/TD</i>	<i>TP</i>	<i>Tutorat</i>	<i>Total Présentiel</i>
Chimie des polymères	3	23	29		52
Procédés industriels et développement durable	7	79	24		103
Phénomènes de transfert III	3	32	24		56
Procédés de séparation thermique	5	56	24		80
Process systems engineering	5	68			68
Management et économie III	2	24			24
Langues III	3	40			40
Options	1	12			12
Conférences Industrie, Environnement & Société II	1	16			16
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>350</b>	<b>101</b>	<b>0</b>	<b>451</b>
<b>TOTAL TRONC COMMUN SEMESTRES 5 à 7</b>	<b>90</b>	<b>1088,5</b>	<b>259</b>	<b>16,5</b>	<b>1364</b>

CM : Cours Magistral ; TD : Travaux Dirigés ; TP : Travaux Pratiques

En considérant :

1 H présentielle CM/TD correspond à 1,75 H de travail personnel élève,

1 H présentielle TP correspond à 1,5 H travail personnel élève,

1 H présentielle tutorat présentiel correspond à 10 H de travail personnel élève,

Le nombre d'heures de travail personnel par étudiant est d'environ 2460 H pour l'ensemble du tronc commun.

## VI. UNITES D'ENSEIGNEMENT DES PARCOURS DE SPECIALISATION (Semestres 8 à 10)

Certaines unités d'enseignement sont communes alors que d'autres sont propres au parcours de spécialisation.

Unités d'Enseignement du Semestre 8	ECTS	CM/TD	TP	Tutorat	Total Présentiel
Management et économie IV	2	32	8		40
Langues IV	2	44			44
Projet industriel	6	17,5		18	35,5
Stage ouvrier	4				
Projet d'ouverture	3	20		6	26
Options	1	16		2	18

### Parcours de spécialisation : Procédés pour l'énergie et l'environnement

Réacteurs et séparations polyphasiques	4	60			60
Procédés Durables	4	28,5		7,5	36
Conception et simulation de procédés	4	58,5			58,5

### Parcours de spécialisation : Produits innovants : de la chimie aux procédés

Produits micro- et nanostructurés	4	60			60
Introduction au génie des produits	4	28,5		7,5	36
Des molécules aux produits	4	36	24		60

### Parcours de spécialisation : Procédés pour les biotechnologies

Introduction aux sciences biologiques	4	60			60
Biocatalyseurs et bioréacteurs	4	30		6	36
Bioséparations	4	40	20		60

<b>TOTAL</b>	<b>30</b>				<b>319</b>
--------------	-----------	--	--	--	------------

Unités d'enseignement du Semestre 9	ECTS	CM/TD	TP	Tutorat	Total Présentiel
Management et économie V	2	40			40
Langue V	3	48			48
Option	3	16		3	19
Projet de recherche et développement	10				

### Parcours de spécialisation : Procédés pour l'énergie et l'environnement

Génie des procédés et énergie	4	60			60
Optimisation dynamique et commande avancée	4	40		6	46
Intensification des procédés et innovation	4	24		9	33

### Parcours de spécialisation : Produits innovants : de la chimie aux procédés

Produits de spécialité	4	59,5			59,5
Propriétés et qualité des produits	4	62,5			62,5
Etude de cas - projet de conception de produits innovants	4	24		9	33

<b>TOTAL</b>	<b>30</b>				<b>Env. 254<sup>a</sup></b>
--------------	-----------	--	--	--	-----------------------------

Unité d'enseignement du Semestre 10	ECTS
Stage Ingénieur	<b>30</b>

<b>PRESENTIEL FORMATION COMPLETE : SEMESTRES 5 à 10</b>	<b>Environ 1935 h<sup>a</sup></b>
---	-----------------------------------

CM : Cours Magistral ; TD : Travaux Dirigés ; TP : Travaux Pratiques

<sup>a</sup> Le nombre exact dépend du parcours de spécialisation choisi (la différence étant d'environ 17 h).

## VII. PARCOURS EN ALTERNANCE PROCEDIS

Cette formation s'adresse aux élèves ingénieurs de l'école qui souhaitent effectuer leur dernière année de formation en alternance dans une entreprise. Cette formation, qui permet de répondre à des besoins existants, contribue de plus à intégrer les nouvelles exigences en matière de Développement Durable et de Transition Énergétique en accentuant l'interactivité entre le milieu professionnel et l'institution académique.

Ce parcours en alternance peut être réalisé en suivant les enseignements de deux parcours de spécialisation :

- le parcours Procédés pour l'énergie et l'environnement,
- le parcours Produits innovants : de la chimie aux procédés.

La durée maximale des études est de 15 mois (cas d'un démarrage du stage début juillet) aux semestres S9 et S10 avec une alternance courte de formation académique et de périodes en entreprise. Cependant cette durée d'études est variable et dépend de la date de démarrage du stage. La durée minimale est de 12 mois.

### **Pré requis indispensable :**

Les étudiants doivent suivre un des deux parcours « Procédés pour l'énergie et l'environnement », « Produits innovants : de la chimie aux procédés » au semestre S8 et valider les unités d'enseignement prévues.

### **Détail des enseignements :**

La formation comporte à l'ENSIC un volume horaire total de **560 heures** quel que soit le parcours choisi (« Procédés pour l'énergie et l'environnement » ou « Produits innovants : de la chimie aux procédés »).

L'équilibre est maintenu entre les disciplines scientifiques et les disciplines relevant de l'organisation du travail tant sur le plan des aspects gestionnaires que des aspects technologiques et économiques.

- **Une formation en pédagogie interactive** mettant en avant l'apprentissage par la découverte, déclinée selon les tableaux de répartition horaire par unité d'enseignement qui suivent.
- **Une formation pratique et technique** en entreprise au travers d'un **projet industriel de fin d'étude**. Le sujet est donné par l'entreprise et est réalisé pendant les périodes en entreprise. Ce stage est la première expérience significative dans le monde professionnel. Il a pour but d'amener l'élève-ingénieur à être confronté à la réalité du métier d'ingénieur, tant dans ses aspects techniques que dans ses dimensions humaines, organisationnelles et réglementaires.
- **Une formation favorisant l'autonomie** au travers d'un **projet de recherche et développement**. L'objectif est de réaliser une étude approfondie sur un sujet confié par l'entreprise dès le début de l'année (les missions confiées ne sont pas les mêmes que celles du projet industriel de fin d'étude). Cette étude comporte une recherche bibliographique et elle pourra s'appuyer sur l'utilisation de logiciels (sous réserve de disponibilité) et sous certaines conditions sur des moyens techniques existants dans les laboratoires partenaires de l'Ecole. Les élèves se verront attribuer un tuteur académique qui les guidera tout au long du projet.

### Répartition horaire par unités d'enseignement et par parcours :

#### TRONC COMMUN :

Responsable : Olivier HERBINET

<b>Unités d'enseignement</b>	<b>Responsable</b>	<b>H</b>	<b>ECTS</b>
Management et économie V	Vera IVANAJ	40	2
Langues V	E. KASMAREK/M. ADRIAN	48	3
Projet Recherche et Développement	Olivier HERBINET	238/ 193,5 <sup>1</sup>	9
Parcours de spécialisation (voir détail dans les tableaux ci-dessous)		75,5/ 120 <sup>1</sup>	8
Génie des procédés discontinus	Olivier HERBINET	66	4
Conception et conduite d'installations multiproduits	Olivier HERBINET	92,5	4
Stage ingénieur PROCEDIS	Olivier HERBINET		30
<b>TOTAL</b>		<b>560</b>	<b>60</b>

<sup>1</sup> Selon parcours de spécialisation

#### PARCOURS DE SPECIALISATION : Procédés pour l'énergie et l'environnement

Responsable : Sabine RODE

<b>Unités d'enseignement</b>	<b>Responsable</b>	<b>H</b>	<b>ECTS</b>
Génie des procédés et énergie	Olivier HERBINET	42,5	4
Intensification des procédés et innovation	Jean-Marc COMMENGE	33	4
<b>TOTAL</b>		<b>75,5</b>	<b>8</b>

#### PARCOURS DE SPECIALISATION : Produits innovants : de la chimie aux procédés

Responsable : Cécile NOUVEL

<b>Unités d'enseignement</b>	<b>Responsable</b>	<b>H</b>	<b>ECTS</b>
Produits de spécialité	Alain DURAND	59,5	4
Propriétés et qualité des produits	Anne JONQUIERES	62,5	4
<b>TOTAL</b>		<b>122</b>	<b>8</b>

### Objectifs pédagogiques visés par la formation PROCEDIS aux semestres 9 et 10 :

La **partie commune** aux deux parcours vise à renforcer les compétences acquises les semestres précédents aussi bien sur les aspects techniques et scientifiques, que sur les aspects économiques et managériaux :

- Utiliser la langue de façon efficace et souple dans la vie sociale, professionnelle ou académique / Savoir restituer des faits de sources écrites ou orales de façon cohérente et détaillée, en démontrant une solide maîtrise d'un vaste répertoire lexical et sémantique / Utiliser les techniques et outils pour utiliser la pensée créative dans le contexte de l'ingénierie chimique / Animer une réunion, faire un compte rendu et utiliser le langage spécifique des réunions / Prendre des initiatives dans un entretien d'embauche, élargir et développer leurs idées / Travailler dans une équipe en anglais et en utilisant les compétences du 21<sup>ème</sup> siècle et les « soft skills ».
- Savoir piloter une entreprise fictive en compétition avec d'autres sociétés sur un marché économique simplifié.
- Simuler des réacteurs chimiques discontinus avec l'objectif de définir les conditions opératoires qui conduisent à la gestion optimale du procédé / Simuler un procédé décrit par des équations différentielles ordinaires, algèbro-différentielles ou algèbro-différentielles partielles / Formuler un

problème d'optimisation dynamique / Concevoir, dimensionner et analyser le fonctionnement des appareils de cristallisation et de précipitation.

- Appliquer la méthodologie de conception d'une unité batch qui consiste à construire, à l'échelle industrielle, une installation discontinue à partir d'un protocole de synthèse chimique réalisée à l'échelle du laboratoire / Optimiser la production en atelier batch / Maîtriser les techniques de dimensionnement des équipements discontinus, semi-continus et continus faisant partie d'un atelier de production discontinu / Planifier et conduire un projet simple de conception de produit chimique innovant / Structurer et optimiser la créativité d'une équipe projet.
- Remplir une mission d'ingénieur par la résolution de problèmes techniques complexes (avec des objectifs fixés en termes de délais, de cout et de qualité) / Faire preuve d'imagination et de créativité ; d'être proactif et de faire preuve d'autonomie vis-à-vis de la mission confiée / Présenter des conclusions et des propositions concrètes ; apporter une expertise technique et une aide à la décision ; faire passer un message avec force et conviction / Rédiger un rapport répondant aux attentes académiques et industrielles.

#### *Objectifs spécifiques au parcours de spécialisation **Procédés pour l'énergie et l'environnement***

- Comprendre le contexte mondial de production et de demande énergétique / Connaître les principaux procédés dédiés à la transformation de l'énergie / Savoir analyser des paramètres de combustion et savoir calculer les principaux paramètres chimiques associés / Savoir construire des diagrammes de combustion et les appliquer à des cas pratiques / Être capable d'évaluer l'exergie de fluides purs ou de mélanges à partir de données appropriées / Être capable d'effectuer des bilans exergétiques sur des systèmes fermés (réactifs ou non-réactifs) et ouvert en régime permanent.
- Être capable d'analyser et de proposer des améliorations pour un procédé donné (détermination des phénomènes limitants, mise en place d'une stratégie d'intensification) / Savoir sélectionner un procédé de séparation membranaire en fonction d'un jeu de contraintes (nature du mélange à séparer, performances visées, conditions opératoires) / Être capable de dimensionner un procédé à membranes pour une application donnée et confronter ses performances à d'autres technologies (efficacité énergétique, productivité) / Comprendre l'importance et l'interaction entre les trois piliers de l'innovation : la créativité (génération de nouveautés) ; la valeur (d'estime, d'usage et d'échange) ; la socialisation (maîtrise de la conduite du changement).

#### *Objectifs spécifiques au parcours de spécialisation **Produits innovants : de la chimie aux procédés***

- Comprendre la spécificité et l'intérêt des copolymères par rapport à de simples mélanges d'homopolymères / Réaliser les calculs cinétiques qui sont des prérequis au dimensionnement des réacteurs de copolymérisation / Concevoir et mettre en œuvre des réacteurs de copolymérisation radicalaire / Formuler et mettre en forme des matières plastiques / Tirer parti des propriétés des polymères en solution, aux interfaces et en émulsion pour des applications en formulation dans des domaines variés / Comprendre le lien entre les caractéristiques structurales et le comportement des produits, notamment aux interfaces.
- Mettre en œuvre un plan d'expérience / Optimiser la production en atelier batch / Concevoir et dimensionner un réacteur conduisant au produit souhaité et aborder les relations procédés-structure-propriétés / Identifier la cause de la dégradation d'un polymère sur la base d'informations collectées sur le terrain / Définir une stratégie pour la prévention de la dégradation et mettre en œuvre les stabilisants de façon adaptée / Stabiliser efficacement un polymère pour sa mise en forme ou pendant sa durée de vie / Comprendre le transport dans les polymères et les gels / Modéliser par les bilans de population les procédés de cristallisation, agrégation et brisure / Connaître et appliquer les principales lois de comportement des colloïdes à la conception d'un produit contenant des nanoparticules/ S'intégrer et participer activement à un projet de développement d'un nouveau produit à fonction d'usage spécifique / Concevoir et mettre en œuvre des opérations unitaires spécifiques de la

fabrication des médicaments et des cosmétiques (formes solides, liquides et crèmes) : mélange et granulation, compaction et enrobage, nano-émulsification et microencapsulation, lyophilisation.

### **Evaluations – Diplôme**

Le contrôle des connaissances s'effectuera sous la forme d'un contrôle continu sur la durée totale de la formation. Le projet recherche et développement et le stage de fin d'étude feront l'objet d'évaluations spécifiques sous la forme de deux rapports écrits et d'une soutenance orale commune devant un jury constitué d'au moins deux membres du corps d'enseignants de l'ENSIC et du tuteur industriel.

## PRESENTATION DETAILLEE DE LA FORMATION

La formation est présentée dans l'ordre chronologique des semestres.

Pour chaque semestre, un tableau récapitulatif indique les unités d'enseignement et leur découpage éventuel en élément constitutifs. Sont précisés dans ce tableau les noms des enseignants responsables des unités d'enseignements et des éléments constitutifs ainsi que la ventilation des heures en cours magistral (CM), travaux dirigés (TD), travaux pratiques (TP), suivi de projet (P), conférence industrielle (C), et contrôle (Ex). Le nombre de crédits ECTS affecté aux unités d'enseignements est rappelé.

Les fiches syllabus décrivant le contenu pédagogique des différentes unités d'enseignements du semestre sont présentées à la suite du tableau récapitulatif, ceci dans leur ordre d'apparition dans ce tableau. Outre les objectifs généraux et spécifiques de l'unité d'enseignement, le contenu et les méthodes d'enseignement sont décrits. Le type d'évaluation est indiqué pour information, des détails sur les modalités d'évaluation étant données dans un document distinct (modalités de contrôle des connaissances, MCC). Des informations utiles, concernant les prérequis et des références bibliographiques sont également fournies. Enfin, le nombre de crédits ECTS conférés par la validation de l'UE ainsi que la contribution de l'UE à l'acquisition des compétences sont indiqués dans chaque fiche. Des tableaux récapitulatifs, semestre par semestre sont également insérés.

ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 5 .....	23
ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 6 .....	44
ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 7 .....	61
ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 8 .....	94
ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 9 .....	139
ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 10 .....	140
ENSEIGNEMENTS DES SEMESTRES 9 et 10 - PARCOURS PROCEDIS .....	172

## ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 5

Correspondant pédagogique : Axelle ARRAULT

### ORGANISATION GENERALE

<b>Intitulé de l'unité d'enseignement et de ses éléments constitutifs</b>	<b>Responsable</b>	<b>H</b>	<b>CM</b>	<b>TD</b>	<b>TP</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>Ex</b>	<b>ECTS</b>
<b>Chimie organique I</b>	Axelle ARRAULT	88 <sup>1</sup>	34,5 <sup>1</sup>	22,5 <sup>1</sup>	28 <sup>1</sup>			3 <sup>1</sup>	5
<i>Chimie organique : débutant</i>	Axelle ARRAULT		34,5	22,5				3	
<i>Chimie organique : avancé</i>	Guillaume PICKAERT		27	18				3	
<i>TP Chimie organique</i>	Guillaume PICKAERT				28				
<b>Systèmes réactifs et procédés I</b>	René FOURNET	104	21	46,5	32			4,5	6
<i>Adsorption et catalyse hétérogène</i>	Laurent MARCHAL-HEUSSLER		2	20,5				1,5	
<i>Cinétique chimique homogène</i>	René FOURNET		9,5	13				1,5	
<i>Génie de la réaction chimique</i>	Jean-François PORTHA		9,5	13				1,5	
<i>TP Systèmes réactifs et procédés I</i>	Yves SIMON				32				
<b>Thermodynamique et énergétique</b>	Jean-Noël JAUBERT	60	31,5	24,5				4	4
<i>Thermodynamique et énergétique</i>	Jean-Noël JAUBERT		27,5	17,5				3	
<i>Bilans en génie des procédés</i>	Laurence MUHR		4	7				1	
<b>Phénomènes de transfert I</b>	Huai-Zhi LI	48	20	25				3	3
<b>Informatique, méthodes numériques et statistiques</b>	Jean-Marc COMMENGE	94	31	51,25		6		5,75	6
<i>Informatique pour l'ingénieur des industries chimiques I</i>	Romain PRIVAT		3	19,25				2,75	
<i>Méthodes numériques</i>	Jean-Marc COMMENGE		10,5	10,5				2	
<i>Statistiques</i>	Jean-Marc COMMENGE		5,5	9,5				1	
<i>Projet modélisation</i>	Dimitrios MEIMAROGLOU					6			
<i>Mathématiques soutien</i>	François LESAGE		12	12					
<b>Management et économie I</b>	Vera IVANAJ	40	22	14				4	3
<i>Management des hommes et des organisations</i>	Vera IVANAJ		14	14				4	
<i>Hygiène, santé, sécurité au travail</i>	Laurent PERRIN		8						
<b>Langues I</b>	E. KASMAREK/M. ADRIAN	40		40					3
<i>Anglais</i>	E. KASMAREK/M. ADRIAN			20					
<i>LV B</i>	E. KASMAREK/M. ADRIAN			20					
<b>TOTAL</b>		<b>474</b>							<b>30</b>

<sup>1</sup> Volume donné pour le groupe « Baby »

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Chimie organique I – niveau 1		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 5	S5 SELON ORIGINE

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Ce module vise à :

- Posséder les connaissances de base en chimie organique (connaître les propriétés et la réactivité des différentes fonctions présentes dans les molécules organiques).
- Fournir des notions de base essentielles à une compréhension de la réactivité des composés organiques (mécanismes réactionnels détaillés par fonction)
- Apporter des éléments de réflexion permettant une meilleure compréhension des mécanismes étudiés

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'étudiant devra être capable de :

- Prévoir la réactivité des molécules organiques
- Pouvoir concevoir à partir de produits commerciaux des molécules organiques à haute valeur ajoutée
- Prévoir ou d'expliquer également la formation de produits secondaires lors d'une réaction chimique
- Savoir modifier le résultat d'une réaction chimique en jouant sur les paramètres
- Prévoir le mécanisme réactionnel d'une réaction chimique ainsi que son résultat.
- Connaître et analyser les paramètres influant le résultat d'une réaction
- Savoir utiliser les outils appropriés pour analyser et déduire le résultat d'une réaction
- Analyser des molécules organiques (RMN, IR).

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

L'enseignement est réalisé sous forme de cours magistraux, de travaux dirigés et pratiques.

#### Contenu des cours magistraux :

- Réactivité et propriétés des molécules organiques (classées par fonctions)
- Etude des solvants et de leur influence sur le déroulement d'une réaction chimique
- Introduction aux outils à la disposition des chimistes organiciens permettant la compréhension des mécanismes réactionnels. (Postulat de Hammond, théorie HSAB, contrôle cinétique et thermodynamique, etc.)
- Méthodes spectroscopiques permettant l'identification et la caractérisation des molécules organiques (RMN, Infra-rouge, ...)

Les travaux dirigés auront pour vocation d'illustrer certains points du cours magistral à l'aide d'exercices portant sur la synthèse et la caractérisation de molécules organiques.

Les travaux pratiques permettront aux élèves d'appréhender la démarche scientifique nécessaire pour synthétiser une molécule organique. Ils devront en effet mener à bien la synthèse multi-étapes d'une molécule cible. Sous la direction d'un enseignant, les élèves devront synthétiser, purifier et caractériser tous les intermédiaires de chaque étape.

### TYPE D'EVALUATION

- Deux examens écrits de 1h30 chacun (E1 et E2).
- Un compte-rendu de travaux pratiques à rédiger en anglais (TP)

Note = (2E1 + 2E2 + TP)/5

Rattrapage : contrôle écrit (1h30)

### INFORMATIONS UTILES

PRE-REQUIS : Chimie Organique (soutien obligatoire - initiation à la chimie organique - 12h)

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE Conseillée : Chimie Organique, K. Peter C. Vollhardt, DeBoeck Université

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°1, 4, 5, 8, 11 et 13

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Chimie organique I – niveau 2		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 5	S5 SELON ORIGINE

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Ce module a pour objectif de :

- Donner un aperçu général de la réactivité en chimie organique
- Sensibiliser l'élève aux grands principes fondamentaux qui permettent d'expliquer un bon nombre de réactions en chimie organique
- Impliquer les élèves dans l'étude de cas concrets d'applications industrielles

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

À l'issue du module, l'élève devra être capable de :

- Nommer les grandes classes de mécanismes réactionnels en chimie organique
- Expliquer la réactivité entre molécules organiques (identification de sites réactionnels, détermination de préférences réactionnelles, etc)
- Appréhender la chimie organique comme un tout, où la logique et la réflexion l'emportent sur l'apprentissage systématique des réactions
- Concevoir des stratégies de synthèse d'une molécule cible

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

L'enseignement sera dispensé sous forme de cours magistraux, de travaux dirigés, de projets tutorés et de travaux pratiques.

Le cours magistral (27h) de chimie organique sera structuré en trois parties, une pour chaque grande classe de réaction : les réactions d'addition, les réactions de substitution, les réactions d'élimination. Le cours sera également complété par l'étude de cinq outils fondamentaux permettant d'appréhender les principes de la réactivité en chimie organique: le postulat de Hamond, le contrôle cinétique et thermodynamique, la stéréochimie des processus dynamiques, les solvants et la théorie HSAB. Enfin, une initiation à la spectroscopie IR-TF et RMN sera également intégrée à ce cours.

Les travaux dirigés (12h) auront pour vocation d'illustrer certains points du cours magistral à l'aide d'exercices portant sur la synthèse et la caractérisation de molécules organiques.

Les projets tutorés (6h) seront l'occasion pour les élèves de travailler par petits groupes sur un sujet bibliographique en lien avec des applications industrielles de molécules organiques.

Les travaux pratiques (28h) permettront aux élèves d'appréhender la démarche scientifique nécessaire pour synthétiser une molécule organique. Ils devront en effet mener à bien la synthèse multi-étapes d'une molécule cible. Sous la direction d'un enseignant, les élèves devront synthétiser, purifier et caractériser par spectroscopie RMN et IR-TF de tous les intermédiaires de chaque étape.

#### TYPE D'EVALUATION

- Deux examens écrits de 1h30 chacun (E1 et E2).
  - Un compte-rendu de travaux pratiques à rédiger en anglais (TP)
- Note =  $(2E1 + 2E2 + TP)/5$   
Rattrapage : contrôle écrit (1h30)

#### INFORMATIONS UTILES

PRE-REQUIS : équivalence modules chimie organique option et Baby

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Conseillées :

1. Advanced Organic Chemistry, 4<sup>ème</sup> édition, Jerry March, Wiley Interscience
2. Mécanismes Réactionnels en Chimie Organique, Reinhard Brückner, DeBoeck Université.
3. Chimie Organique, K. Peter C. Vollhardt, DeBoeck Université

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°1, 4, 5, 8, 11 et 13

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Systèmes réactifs et procédés I		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 6	S5 TRONC COMMUN

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le module « systèmes réactifs et procédés industriels » a pour principaux objectifs :

- D'analyser les procédés industriels en termes de bilans de matière et d'énergie
- De réaliser l'étude de la cinétique d'une réaction homogène
- De mettre en œuvre ce type de réaction chimique dans des réacteurs idéaux (fermé, RPA, piston)
- Faire acquérir des connaissances de base en catalyse hétérogène
- De présenter et expliciter les mécanismes mis en jeu dans les interactions de surface entre des phases solides, liquides et gaz

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'étudiant devra être capable de :

- Formuler des bilans de matière et d'énergie
- Choisir et dimensionner un réacteur approprié à une transformation chimique homogène donnée
- Connaître et identifier le mode de fonctionnement d'un réacteur (avec ou sans réactions chimiques, type d'écoulement, régime transitoire/permanent, mode d'introduction et d'évacuation des flux de matière et d'énergie)
- Optimiser les conversions, rendements ou sélectivités
- Identifier les conditions de stabilité des réacteurs exothermiques
- Mesurer la vitesse dans un réacteur idéal et déterminer la loi de vitesse
- Construire des mécanismes cinétiques détaillés pour des réactions homogènes simples
- Connaître les principales théories cinétiques permettant de calculer des constantes de vitesses de processus élémentaires
- Identifier la présence de phénomènes interfaciaux dans les procédés de transformation et de formulation de la matière
- Mettre en œuvre et interpréter des isothermes de sorption gaz-solide et liquide-solide
- Définir un catalyseur, connaître ses propriétés
- Montrer l'intérêt de la catalyse hétérogène dans la maîtrise des impacts environnementaux des procédés de synthèse industriels
- Connaître les principaux modèles de cinétique catalytique hétérogène
- Connaître, identifier et prendre en compte les différentes étapes de limitations d'une réaction catalytique hétérogène
- Etablir une loi de vitesse en catalyse hétérogène

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

- I. Cinétique chimique homogène
  1. Définition générale et mesure de la vitesse dans différents types de réacteurs
  2. Lois de vitesse (ordres, énergies d'activation)
  3. Théories de vitesse et principes cinétiques
  4. Mécanismes réactionnels en phase gazeuse et en phase liquide
  
- II. Génie de la réaction chimique
  1. Bilans de matière en réacteurs idéaux
  2. Optimisation de la conversion
  3. Optimisation du rendement et de la sélectivité
  4. Bilans énergétiques et stabilité des réacteurs exothermiques
  
- III. Catalyse hétérogène

1. Définition et caractéristiques structurales des catalyseurs
2. Etapes d'une réaction catalytique
3. Modes d'expression des vitesses d'une réaction catalytique
4. Modélisation des réactions catalytiques

### Description des méthodes d'enseignement

Les cours sont complétés par des séances de TD organisées par  $\frac{1}{4}$  de promotion pour le GRC et la catalyse. Pour la partie cinétique, les séances dévolues aux TD correspondent à des séances d'apprentissage par problème et permettent d'aborder certaines parties du cours sous forme de travaux dirigés. Dans ce cas, les séances sont organisées par  $\frac{1}{2}$  promotion.

Les séances de TP durent 4h et abordent les points suivants :

- Cinétique en phase gazeuse
- Photolyse de la pyridine
- Catalyse enzymatique
- Cinétique en phase liquide : effet de solvant
- Réaction ionique en phase liquide : effet de sel
- Réacteur fermé adiabatique
- Comparaison des réacteurs : fermé, parfaitement agité et piston
- Physisorption (BET) et chimisorption (dispersion)
- Photocatalyse
- Hydrogénolyse du butane
- Hydrogénation du butène

### TYPE D'ÉVALUATION

Partie cours : L'évaluation mise en œuvre dans le cadre de cette unité d'enseignement a pour but de vérifier les connaissances et les compétences acquises par l'élève dans le domaine du génie de la réaction chimique, de la cinétique homogène et de la catalyse appliqués aux procédés industriels. Un contrôle de 1h30 est réalisé à la fin de chaque unité constitutive, soit 3 contrôles au total (cinétique, GRC, catalyse). Le rattrapage est réalisé dans les mêmes conditions.

Partie TP : Evaluation des travaux pratiques à partir de comptes rendus sous forme de rapports écrits ou de posters.

Cette évaluation écrite a pour but principal de mesurer la capacité d'un élève à réaliser un travail pratique ayant pour but l'étude cinétique d'une réaction ou du fonctionnement d'un réacteur en utilisant les connaissances acquises en cours ou en début de TP et d'apprécier sa capacité à rédiger un document scientifique mettant en évidence les résultats majeurs obtenus.

Part dans l'évaluation finale :

Contrôle commun :  $\frac{3}{4}$  de la note finale avec les coefficients suivants pour les différentes matières :  
 Cinétique homogène : coefficient 1 ; Génie de la réaction chimique : coefficient 1 ;  
 Catalyse : coefficient 1.  
 TP :  $\frac{1}{4}$  de la note finale

### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : enseignement de chimie physique, mathématique, niveau école préparatoire

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Conseillées :

- Livre de Cinétique et Catalyse, G. Scacchi, M. Bouchy, J.F. Foucaut, O. Zahraa, R. Fournet, Tec et Doc, Lavoisier, 2011.
- Livre de Génie de la Réaction Chimique, J. Villermaux, Tec et Doc, Lavoisier, 1993.
- Physical chemistry of surfaces - A.W. Adamson - John Wiley and Sons

- Cours en ligne de GRC : [https://sites.cnam.fr/industries-de-procedes/ressources-pedagogiques-ouvertes/GRChomogene/co/0module\\_GRChomogene.html](https://sites.cnam.fr/industries-de-procedes/ressources-pedagogiques-ouvertes/GRChomogene/co/0module_GRChomogene.html)

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°1, 4, 5, 8, 11 et 13

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Thermodynamique et énergétique		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S5 TRONC COMMUN

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

L'EC Bilans en génie des procédés est un cours introductif qui vise à :

- Présenter les bases du génie des procédés
- Présenter les principes généraux des schémas de procédés
- Proposer une méthodologie pour la réalisation de bilans de matière et d'énergie
- Sensibiliser grâce à des bilans de matière (bilan carbone) à l'impact environnemental des procédés

L'EC Thermodynamique et énergétique vise, plus largement, à :

- Détailler et clarifier les principes de la thermodynamique et mettre en évidence l'utilité de grandeurs fondamentales comme l'énergie interne, l'enthalpie, l'entropie, l'énergie de Gibbs ou l'énergie de Helmholtz
- Apprendre à estimer les propriétés d'un corps pur (pression de vapeur, température d'ébullition, grandeurs de changement d'état, capacités calorifiques, enthalpie, entropie, ...) en utilisant une équation d'état, un diagramme, une corrélation ou la loi des états correspondants
- Expliquer le fonctionnement d'une machine thermique ou frigorifique
- Décrire les écoulements subsoniques et supersoniques

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de cette unité d'enseignement, l'étudiant devrait être capable de :

- Comprendre les notions de bases de génie des procédés (procédé continu, discontinu, réactions, séparations, recyclages)
- Comprendre et analyser un procédé à partir du schéma
- Savoir écrire et résoudre un bilan de matière et un bilan de chaleur en régime stationnaire/transitoire, pour des systèmes non réactifs/réactifs
- Effectuer un bilan d'énergie et/ou d'entropie sur un système quelconque (ouvert, fermé, en régime permanent ou transitoire)
- Estimer les propriétés d'un corps pur, à l'état solide, à l'état liquide, à l'état vapeur ou en équilibre diphasique
- Manipuler les principales équations d'état utilisées dans les industries chimiques ainsi que les tables des états correspondants
- Connaître les caractéristiques des différents éléments apparaissant dans les cycles thermodynamiques de base (vanne, turbine, compresseur, échangeur, pompe)
- Maîtriser les évolutions d'un fluide en écoulement dans une tuyère (convergente, divergente, de Laval) ou dans une canalisation de section droite

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

I. EC : Bilans en génie des procédés

1. Classification des procédés
2. Elaboration des schémas de procédés industriels
3. Bilans de matière sur les procédés unitaires
4. Calculs sur les procédés à plusieurs unités
5. Bilans de matière dans les procédés avec réaction
6. Bilans énergétiques dans les procédés
  - a. Cas des procédés non réactifs
  - b. Cas des procédés réactifs
7. Bilans de matière en conditions transitoires

La réalisation d'un bilan carbone d'un four à chaux permet d'introduire quelques notions concernant l'ACV (exemple de l'utilisation de la chaux).

Cet EC comporte 4h de cours et 7h de TD. Pendant les TD, les étudiants travaillent par groupes de 4 à 5. Les enseignants circulent pour aider et guider les étudiants. Un corrigé détaillé est distribué aux étudiants en fin de séance.

## II. EC : Thermodynamique et énergétique

1. Introduction à l'étude des systèmes thermodynamiques
2. Le premier principe en système fermé et en système ouvert, en régime permanent et en régime transitoire
3. Le second principe en système fermé et en système ouvert, en régime permanent et en régime transitoire
4. Formalisme en thermodynamique :
  - 4.1. Les variations des fonctions d'état (VFE)
  - 4.2. Notions de bilan douanier
  - 4.3. Fonctions caractéristiques
  - 4.4. Le potentiel chimique
5. Le gaz parfait pur
6. Notion de variance
7. L'équilibre liquide-vapeur du corps pur
8. Introduction à la thermodynamique énergétique
  - 8.1. Compression, détente, chauffage et refroidissement des fluides
  - 8.2. Machines thermiques et machines frigorifiques simples
9. Les équations d'état des fluides réels purs
  - 9.1. Présentation des équations d'état explicites en  $v$  et en  $P$
  - 9.2. Calcul des propriétés des fluides à partir d'une équation d'état et du  $c_p$  du gaz parfait
  - 9.3. Résolution des conditions d'équilibre entre phases à partir d'une équation d'état explicite en  $P$
10. La loi des états correspondants
11. Réaction chimique
12. Ecoulements subsoniques, soniques et supersoniques des fluides

## TYPE D'ÉVALUATION

### I. EC : Bilans en génie des procédés

- Un contrôle écrit de 1h.

### II. EC : Thermodynamique et énergétique

- Un contrôle final de 1h30 ou 2 h.
- Deux contrôles intermédiaires de 30 à 45 minutes chacun.

## INFORMATIONS UTILES

### PREREQUIS :

- Thermodynamique niveau BAC+2
- Outils mathématiques : calcul différentiel, calcul intégral et fonctions de plusieurs variables.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

#### Conseillées :

1. Ghasem, Henda, Bilans matière et énergétique pour l'ingénierie chimique, Principes et applications pratiques, Ed. De Boeck, 2012
2. J. M. Smith, Hendrick C Van Ness, Michael Abbott. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. The McGraw-Hill Chemical Engineering Series.
3. Bruce E. Poling, John M. Prausnitz, and John P. O'Connell. *The Properties of Gases and Liquids*. The McGraw-Hill Chemical Engineering Series.
4. Richard E. Sonntag, Gordon J. Van Wylen, Pierre Desrochers. *Thermodynamique appliquée*. Edition : Erpi.

## CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°2, 3

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°1, 9

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Phénomènes de transfert I		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 3	S5 TRONC COMMUN

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le cours de mécanique des fluides vise à :

- Consolider des concepts de base en physique associés aux formalismes mathématiques
- Faire acquérir des connaissances en mécanique des fluides dans le contexte applicatif du génie des procédés
- Préparer l'étudiant à posséder une base solide pour aborder tous types d'écoulements pendant et après son cursus à l'ENSIC

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin de l'étude de chacun des thèmes traités l'étudiant devrait être capable de :

- Décrire un écoulement avec des outils adéquats et poser dans la mesure du possible un formalisme analytique
- Proposer une stratégie pour rechercher une solution sous différentes formes
- Raisonner et justifier la solution proposée dans le contexte de l'ingénieur de procédés

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

#### Description des différentes parties de cours (CM)

1. Introduction. Statique des fluides. Surfaces isobares et capteurs de pression.
2. Champs de vitesses, trajectoires et lignes de courant. Approche eulérienne et lagrangienne. Bilans différentiels pour les fluides incompressibles. Equations de conservation, d'Euler et de Bernoulli.
3. Théorème de Reynolds et les bilans intégraux de matière, quantité de mouvement et énergie.
4. Applications des bilans fondamentaux (accidents de conduite, mesure des débits, ...).
5. Viscosité newtonienne et frottements. Les équations de Navier-Stokes. Notion des comportements non-newtoniens.
6. Notion d'analyse dimensionnelle. Théorème de Buckingham. Adimensionnalisation de Navier-Stokes et mise en évidence des similitudes. Nombres adimensionnels. Maquettes et lois d'échelle.
7. Ecoulements laminaires, de Poiseuille, de Stokes, ruisselant. Solutions analytiques.
8. Notion de turbulence. Les principales caractéristiques. Fluctuations et différentes échelles.
9. Contraintes tangentielles turbulentes. Turbulence en conduite. Frottements à la paroi et perte de charge.
10. Eléments de conduites. Singularités, vannes manuelles et asservies, débitmètres, pompes.
11. Couches limites et sillages.
12. Coefficients de frottement et de traînée. Vitesse terminale de déplacement.
13. Notions des écoulements diphasiques. Sensibilisation aux écoulements de fluides complexes.

#### Organisation des séances de TD en accord avec l'avancement des cours magistraux avec 4 groupes d'élèves

- TD 1 : Phénomènes moléculaires. Hydrostatique. Pression interne et de pesanteur.  
 TD 2 : Hydrodynamique des fluides parfaits.  
 TD 3 : Application de l'équation de Bernoulli.  
 TD 4 : Principe de l'analyse dimensionnelle.  
 TD 5 : Application à la théorie des maquettes.  
 TD 6 : Ecoulements laminaires.  
 TD 7 : Ecoulements turbulents.  
 TD 8 : Eléments sur les circuits.  
 TD 9 : Vieillessement de conduites et de pompes.

TD 10 : Fonctionnement de pompes et de ventilateurs.  
TD 11 : Ecoulements extérieurs et couches limites.

Les vidéos additionnelles sont fournies pour aider l'étudiant à travailler en dehors du cadre présentiel.

#### TYPE D'EVALUATION

Evaluation composée de deux partiels de 45 minutes et d'un contrôle final de 1h30 sous forme d'examen écrit avec tous documents autorisés

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : concepts de base en physique

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : polycopié et recueil d'exercices fournis

Conseillées :

1. Hydrodynamique physique (E. Guyon, J-P. Hulin et A. Petit, EDP Sciences 2001)
2. Transport phenomena (R. Byron Bird, Warren E. Stewart and E.N. Lightfoot, John Wiley & Sons, Inc. 2002).

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°2

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°1

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Informatique, méthodes numériques et statistiques		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 6	S5 TRONC COMMUN

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

L'objectif des enseignements d'informatique et de méthodes numériques est de permettre aux étudiants de résoudre un problème d'ingénierie par le calcul numérique. Ceci implique :

- L'apprentissage des bases de l'algorithmique
- La familiarisation de l'étudiant avec des langages lui permettant de programmer la résolution de problèmes numériques ou de traitement de données
- L'enseignement des techniques de base de programmation, en particulier l'usage du débogueur
- La connaissance des méthodes numériques disponibles pour obtenir la solution numérique d'un problème physique

L'objectif du Projet Modélisation est en priorité de fixer les notions vues durant le cours d'informatique et mathématiques appliquées, par la pratique. De façon secondaire :

- Si le sujet s'y prête, les étudiants seront initiés à une ou plusieurs étapes de la démarche de modélisation en sciences physiques (création d'un modèle, paramétrage, simulation, validation du modèle etc.)
- ce projet doit permettre aux étudiants de découvrir le travail de groupe et la gestion de projets. Enfin, il s'agit aussi d'améliorer la capacité des étudiants à présenter et valoriser un travail personnel.

Le cours de Méthodes Statistiques vise à :

- Expliquer les principaux concepts statistiques et les principales lois de probabilité liées au travail d'un ingénieur en génie des procédés,
- Faire comprendre les tests d'hypothèse et les intervalles de confiance,
- Introduire les plans d'expérience, les modes de calcul associés et leur interprétation.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue du cours d'informatique, l'étudiant devrait être capable de :

- Etre capable de concevoir des algorithmes simples.
- Réaliser un code de calcul adapté aux besoins d'ingénierie
- Ecrire un code de calcul en Fortran 90
- Comprendre et utiliser des sous-programmes existants

Les objectifs spécifiques du Projet Modélisation sont :

- Découvrir la gestion d'un projet à plusieurs : notions d'étapes, gestion du temps
- Concevoir un programme informatique de moyenne ampleur
- Etre capable de proposer une démarche et des traitements personnalisés du sujet (faire montre de créativité).
- Rédiger un rapport
- Exposer oralement un travail
- Défendre et critiquer les choix effectués en termes de conception et réalisation du programme
- Si le sujet s'y prête : analyser les résultats du calcul, discuter les ordres de grandeur, la qualité d'un modèle, d'une méthode numérique etc.

A l'issue du cours de méthodes numériques, l'étudiant devrait être capable de :

- Analyser un problème physique et en déduire la classe de méthodes numériques requises pour sa résolution,
- Transformer un problème physique pour en obtenir une solution numérique,
- Savoir quelles méthodes numériques sont nécessaires et disponibles pour résoudre un problème physique donné,
- Opérer un choix parmi les méthodes disponibles en fonction des objectifs retenus : rapidité, robustesse, précision.

A la fin du cours de méthodes statistiques, l'étudiant devrait :

- Savoir mettre en œuvre les tests d'hypothèse et estimer des intervalles de confiance,
- Mettre en œuvre les plans d'expérience en vue d'obtenir un modèle statistique significatif.

## CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

### I. Informatique :

- 3 h de cours magistral sur les bases de l'algorithmique et de la programmation procédurale
- 20 h de travaux dirigés de programmation en Fortran 90 sur PC. Le cours et les TD précédents devront avoir été assimilés à chaque séance, ce qui sera vérifié par une évaluation à mi-parcours.
  - o Environ 5 TD d'apprentissage du langage
  - o Environ 5 TD de programmation de méthodes numériques, dont les algorithmes seront issus du cours et des TD de méthodes numériques

### II. Méthodes numériques :

1. Interpolation et approximation
2. Intégration numérique
3. Résolution d'équations par des méthodes itératives
4. Opérations numériques sur les matrices
5. Résolution des systèmes d'équations algébriques
6. Intégration numérique des équations différentielles ordinaires
7. Intégration numérique des équations aux dérivées partielles

Chaque chapitre sera traité en 1h30 de cours et 1h30 de TD.

III. Le projet Modélisation sera réalisé en groupe de 2 ou 3 élèves, sauf cas exceptionnels décidés par l'équipe d'encadrement. Les objectifs techniques du projet seront fixés au début de l'enseignement, et décriront le cahier des charges du programme. Chaque groupe se verra attribuer un encadrant. Les étudiants seront ensuite libres de leurs choix au sein des différentes parties du projet :

- Une première partie sera dédiée à la conception de la structure du programme et si le sujet s'y prête, à la mise en œuvre d'une ou plusieurs étapes de la démarche de modélisation (établissement du modèle, paramétrage, calculs d'ordres de grandeur etc.).
- Une deuxième partie consistera à programmer la structure définie dans la partie 1 en dans le langage vu en TD d'informatique. Les résultats obtenus feront l'objet d'une analyse critique.
- Dans la troisième partie, les étudiants présenteront leur projet à l'écrit (par le biais d'un rapport) et oralement.
- Des rapports intermédiaires (environ deux) seront rédigés en cours de projet et présentés lors de réunions avec l'encadrant.

### IV. Méthodes Statistiques

- Lois de probabilité, normale, chi2, Student, Fisher-Snedecor
- Tests d'hypothèse
- Estimation et intervalles de confiance
- Régression linéaire et multi-linéaire
- Plans d'expérience, analyse de la variance

## TYPE D'EVALUATION

- 1 contrôle écrit en informatique de 45 ou 50 minutes à mi-parcours.
- Des interrogations courtes pourront avoir lieu pendant les TD pour contrôler l'apprentissage du cours.
- 1 contrôle écrit final en informatique de 2 h (TD)
- 1 contrôle écrit final en méthodes numériques
- Pour le projet Modélisation, l'évaluation est réalisée, d'une part, par l'encadrant au cours des validations d'étape et des rencontres, mais également par un rapport écrit et une soutenance orale finale. L'évaluation porte sur la qualité de la conception et de la programmation, ainsi que sur la gestion du projet et les apports personnels.
- Méthodes Statistiques : Mini-contrôle au début de chaque TD à partir du deuxième TD, comptant dans l'évaluation au total pour 50%.
- Méthodes Statistiques : Examen final d'une heure comptant pour 50%.

## INFORMATIONS UTILES

### PREREQUIS :

- Pour les méthodes numériques : connaissances mathématiques telles que l'intégration de fonctions, l'algèbre linéaire, l'intégration des équations différentielles, les équations aux dérivées partielles.
- Pour le projet Modélisation : cours d'informatique et méthodes numériques
- Pour les méthodes statistiques : Opérations matricielles. Usage d'une calculatrice programmable.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français (ou anglais pour les volontaires)

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

#### Nécessaires :

Utilisation d'une calculatrice programmable en méthodes numériques et en méthodes statistiques.

Livre « Méthodes numériques et d'optimisation », Jean-Pierre Corriou

Polycopiés de cours

## CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°3, 11

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°4

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Management et économie I	OBLIGATOIRE	
	CREDITS ECTS 3	S5 TRONC COMMUN

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Repérer les enjeux humains, sociaux, économiques et juridiques de la Santé et Sécurité au Travail (S&ST) dans l'entreprise.
- Intégrer dans ses pratiques au quotidien et dans ses projets l'évaluation et la maîtrise des risques pour la S&ST.
- Expliquer les différences dans les comportements des individus, fondées sur la théorie des types psychologiques de Carl Jung, à travers l'utilisation de l'Inventaire Typologique de Myers et Briggs (MBTI).
- Reconnaître les principales dimensions et les outils de la communication interpersonnelle (verbale et non verbale).
- Identifier le contenu d'un CV et d'une lettre de motivation
- Décrire et analyser les principales dimensions du fonctionnement d'une organisation
- Aborder les questions interculturelles au sens large, leur implication sur un séjour d'études ou un travail dans un contexte international (en France ou à l'étranger).

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

- Réaliser une évaluation des risques industriels et mettre en place des stratégies de prévention et de protection
- Maîtriser les variables de son développement personnel et professionnel à travers notamment la gestion des points forts et des points faibles
- Etre capable de travailler avec les autres et en équipe composée de personnes ayant des préférences comportementales différentes
- Etre apte à prendre la parole en public, à faire un entretien de face-à-face et à conduire une réunion, en fonction des personnes et des situations professionnelles rencontrées
- Pouvoir construire et adapter un dossier de candidature en réponse à une offre de stage ou d'emploi
- Conduire une analyse et un diagnostic organisationnel d'une entreprise dans son secteur d'activité
- Préparer son projet international en ayant conscience des différences interculturelles et mieux appréhender les questions d'inter-culturalité

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

#### Management des hommes et des organisations

1. La connaissance de soi :
2. Les attitudes et la personnalité ; l'image de soi ; le système de valeurs.
3. La communication interpersonnelle : Les registres de la communication verbale et non verbale ; les techniques de base de la communication orale ;
4. Les principaux métiers et secteurs d'activités de la chimie
5. L'organisation et son fonctionnement : Structure organisationnelle, stratégie, système de gestion, parties prenantes, culture, technologie, environnement interne, environnement externe, performance.

#### Hygiène, Santé, Sécurité au Travail

*Cette partie est calquée sur le référentiel BES&ST (Bases Essentielles en Santé et Sécurité au Travail) élaboré par le conseil national pour l'enseignement en santé et sécurité au travail (CNES&ST) constitué entre autres de représentants de la Direction Générale de l'Enseignement Supérieur (DGES) et de la Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés (CNAM-TS)*

1. Introduction en santé et sécurité au travail.
  - 1.1 Histoire et évolution de la réglementation (code du travail)
  - 1.2 Les règlements européens REACH et CLP
  - 1.3 Méthodologie d'évaluation des risques
2. Les enjeux humains, sociaux, économiques et juridiques de la S&ST.

- 2.1 Les instances représentatives du personnel
- 2.2 Les agences françaises et européennes de sécurité
- 3 Les mécanismes à l'origine d'un accident du travail.
- 4 Préparation au stage d'intégration industrielle : Découverte du monde de l'entreprise au cours d'une journée organisée conjointement par les directions des études, des relations industrielles et le service des relations extérieures. Elle permet aux nouveaux étudiants de découvrir le monde de l'entreprise par l'intermédiaire de tables rondes auxquelles participent de nombreux industriels.

#### « Cultural Sensitisation »

Définition de « Culture ». Etude des aspects interculturels : la notion de temps, le langage corporel, la proxémique (Edward T. Hall), la kinésique. Etude de John Mole : « Organisation and Leadership » dans les entreprises européennes. Discussion en petits groupes.

#### TYPE D'EVALUATION

Mises en situation ; Etude de cas ; Rapport écrit et exposé oral ; Examen écrit

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français et anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Nécessaires :

1. Fascicule « Repères pour le travail à l'usage des ingénieurs, élèves et débutants » conçu pour le compte de l'ANACT (Association Nationale d'Amélioration des Conditions de Travail) par un réseau pédagogique de l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) dont fait partie l'ENSIC.
2. Notes documentaires de l'INRS.
3. Polycopiés pour tous les cours
4. Des études de cas et des vidéos illustrent les éléments méthodologiques d'analyse des risques

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°8, 11

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Langues I		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 3	S5 TRONC COMMUN

### LVA : Anglais

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Permettre aux étudiants de devenir plus responsables de leur propre apprentissage.
- Développer les compétences langagières pour atteindre/maintenir le niveau B1/B2/C1/C2 cfr : Descriptif CECRL ou CTI 2010.
- Développer les compétences professionnelles pour travailler en entreprise ou en laboratoire de recherche dans un contexte international (en France ou à l'étranger).
- Développer les compétences du 21<sup>e</sup> siècle : compétences en apprentissage et innovation, compétences en information, média et technologie, compétences sociales et professionnelles.
- Aspects du développement durable traités en projet selon les objectifs et choix des étudiants. (Décrire les concepts de limites planétaires, de biodiversité, de services éco-systémiques, d'objectifs sociétaux (ODD), illustrer les principes et apports de la démarche scientifique.)

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, les élèves devront être capables de :

- Identifier leur niveau d'anglais et identifier leurs besoins afin de communiquer en anglais.
- S'auto-évaluer.
- Utiliser des outils pour gérer leur projet personnel.
- Comprendre le contenu essentiel de sujets concrets ou abstraits dans un texte complexe, y compris une discussion technique dans leur spécialité.
- Communiquer avec un degré de spontanéité et d'aisance tel qu'une conversation avec un locuteur natif ne comporte de tension ni pour l'un ni pour l'autre.
- S'exprimer de façon claire et détaillée sur une grande gamme de sujets.
- Rédiger un CV, des emails.
- Rédiger un Rapport TP de génie chimique.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

- Analyser et évaluer leur propre niveau d'anglais à l'entrée de l'ENSIC (B1/B2/C1/C2) et leurs compétences en anglais dans la vie courante et la vie professionnelle.
- Définir leurs besoins pour améliorer leur niveau d'anglais et développer leurs compétences générales et professionnelles en anglais.
- Travailler en binôme/équipe sur leurs objectifs, rechercher les documents adéquats adaptés et analyser les résultats atteints.
- Utiliser un outil pour encadrer leur travail.
- Présentation de différents types de CV (chronologique, fonctionnel...), langage fonctionnel pour rédaction de lettres, e-mails formels, informels. Vocabulaire et termes propres à l'ENSIC.
- Présentation de rapports Travaux Pratique de génie chimique et scientifiques. Langage fonctionnel pour décrire une expérience en TP de génie chimique.

#### TYPE D'EVALUATION

- Validation (note entre 3-5) : 1) Rapport de projet personnel et appréciation de l'enseignant 2) CV
- Rattrapage : Travail personnel ou CV

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : niveau minimum : B1 (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)

LANGUES D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

## **LVB**

### **OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT**

- Consolider et acquérir un niveau de compétence solide et une bonne maîtrise de la langue allemande, espagnole, italienne, portugaise et française dans les quatre aptitudes : compréhension et expression orales et écrites. Niveau A2/B1/B2 cfr : Descriptif CECRL ou CTI 2010
- Développer les compétences professionnelles.

### **OBJECTIFS SPECIFIQUES**

A l'issue de ce module, les élèves devront être capables de :

- Comprendre des phrases isolées et des expressions fréquemment utilisées en relation avec des domaines immédiats de priorité (par exemple, informations personnelles et familiales simples, achats, environnement proche, travail).
- Communiquer lors de tâches simples et habituelles ne demandant qu'un échange d'informations simple et direct sur des sujets familiers et habituels.
- Décrire avec des moyens simples sa formation, son environnement immédiat et évoquer des sujets qui correspondent à des besoins immédiats.
- Approfondir ses connaissances pour maîtriser les champs lexicaux, sémantiques et grammaticaux,
- Comprendre et restituer dans ses grandes lignes tout document écrit et oral authentique portant sur divers domaines : vie sociale, culturelle, professionnelle, économique.
- (spécifique aux cours de français) Profiter d'une expérience interculturelle grâce à la mise en place d'objectifs d'acculturation à réaliser au cours de l'année.

### **CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT**

- Utilisation de divers documents - écrits, vidéos, audios, sites internet avec entraînement à l'oral par le biais de « pair work », discussions, jeux de rôles, simulations, portant sur divers domaines : vie sociale, culturelle, économique, scientifique et professionnelle.

### **TYPE D'EVALUATION**

- Validation : validation des compétences acquises : divers tests de contrôle continu (oral, écrit)
- Rattrapage : test oral et écrit

### **INFORMATIONS UTILES**

PREREQUIS : niveau minimum : A1 (en LVB) (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)

LANGUES D'ENSEIGNEMENT : allemand / espagnol / italien / français / portugais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

### **CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES**

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°13

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°10



## ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 6

Correspondant pédagogique : Axelle ARRAULT

### ORGANISATION GENERALE

<b>Intitulé de l'unité d'enseignement et de ses éléments constitutifs</b>	<b>Responsable</b>	<b>H</b>	<b>CM</b>	<b>TD</b>	<b>TP</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>Ex</b>	<b>ECTS</b>
<b>Chimie minérale</b>	Mohammed BOUROUKBA	80	33	16	28			3	5
<i>Chimie minérale</i>	Mohammed BOUROUKBA		33	16				3	
<i>TP Chimie minérale</i>	Dominique PETITJEAN				28				
<b>Chimie et génie analytique</b>	Véronique SADTLER	80	10	33	32		2	3	5
<i>Chimie des ions en solution</i>	Fabrice MUTELET		2	12				0,75	
<i>Electrochimie et corrosion</i>	Cornélius SCHRAUWEN		4	10				0,75	
<i>Méthodologie - Spectrophotométrie - Chromatographie</i>	Véronique SADTLER		4	11			2	1,5	
<i>TP Chimie et génie analytique</i>	Véronique SADTLER				32				
<b>Systèmes réactifs et procédés II</b>	Eric SCHAEER	60	22	32				6	4
<i>Génie des réactions hétérogènes</i>	Eric SCHAEER		8	14				2	
<i>Procédés de séparation I</i>	Eric FAVRE		14	18				4	
<b>Systèmes réactifs et informatique</b>	Guillain MAUVIEL	30		22		6		2	4
<i>Projet systèmes réactifs</i>	Guillain MAUVIEL					6			
<i>Informatique II</i>	Boris ARCEN/Nicolas BLET			22				2	
<b>Phénomènes de transfert II</b>	Alexandra GIGANTE	88	18,5	30	32	4,5		3	5
<i>Transfert de matière et de chaleur</i>	Alexandra GIGANTE		17,5	28				3	
<i>Echangeur de chaleur</i>	Eric SCHAEER		1	2		4,5			
<i>TP Phénomènes de transfert II</i>	Rainier HREIZ				32				
<b>Management et économie II</b>	Vera IVANAJ	40	24	8	6			2	3
<b>Langues II</b>	E. KASMAREK/M. ADRIAN	40		40					3
<i>Anglais</i>	E. KASMAREK/M. ADRIAN			20					
<i>LVB</i>	E. KASMAREK/M. ADRIAN			20					
<b>Conférences Industrie, Environnement &amp; Société I</b>	Axelle ARRAULT	21					21		1
<b>TOTAL</b>		<b>439</b>							<b>30</b>

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Chimie Minérale</b>		<b>OBLIGATOIRE</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> 5	<b>S6 TRONC COMMUN</b>

Le cours de chimie minérale vise à :

- Faire acquérir les concepts de la chimie physique inorganique
- Amener l'élève ingénieur à être apte à prévoir, par l'utilisation systématique des données physico-chimiques et thermochimiques, la réactivité des systèmes chimiques ainsi que la stabilité et la compatibilité des matériaux utilisés dans les fours, les creusets et les réacteurs.
- Faire comprendre la relation entre les propriétés chimiques et physiques des solides et leur structure

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module l'étudiant devrait être capable de :

- Établir le lien entre la structure de la matière et les propriétés chimiques et physiques qui en découlent
- Comprendre, analyser et prévoir les réactions chimiques intervenant à différentes étapes d'un procédé.
- Faire un choix judicieux des matériaux constitutifs : un réacteur, un four ou toute partie d'une installation

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

1. INTRODUCTION A LA RADIOACTIVITE (cours)
  - 1.1. Constitution et stabilité du noyau
  - 1.2. Radioactivité naturelle et réactions nucléaires
  - 1.3. Radioactivité artificielle
2. CRISTALLOGRAPHIE : PRINCIPES ET UTILISATION (cours/TD)
  - 2.1. Cristallographie géométrique
  - 2.2. Phénomène de diffraction, cas des Rayons X
  - 2.3. Dispositifs expérimentaux et utilisation
3. REACTIVITE CHIMIQUE DES ELEMENTS ET COMPOSES MINERAUX (cours/TD)
  - 3.1. Etude des grandes propriétés chimiques des éléments de la classification
  - 3.2. Etude des réactions chimiques en phases aqueuses, solides et en milieux fondus
  - 3.3. Exploitation des représentations thermodynamiques (E-pH, E-pX, Ellingham)
  - 3.4. Les grands principes de l'hydrométallurgie
  - 3.5. Analyse chimique de procédés industriels (d'élaboration de composés, de séparation et de recyclage de métaux)
4. METALLURGIE EXTRACTIVE/TRAITEMENT DES MINERAIS ET EXTRACTION DES METAUX (cours/TD)
  - 4.1. Généralités : aspects historiques et économiques
  - 4.2. Caractéristiques des minerais et leurs traitements
  - 4.3. Procédés de la métallurgie extractive
  - 4.4. Etude des équilibres entre phases dans les solutions métalliques
  - 4.5. Thermochimie des oxydes, des sulfures et autres composés (Chlorures, Carbures, Nitrures...)
  - 4.6. Transformations pyrométallurgiques en phases solides et liquides
  - 4.7. Étude et analyse des procédés d'extraction de quelques métaux (Cu, Ni, Zn, Pb, Al)
5. RELATION ENTRE PROPRIETES ET STRUCTURE DES SOLIDES (cours/TD)
  - 5.1. Nature des liaisons et énergie de cohésion des solides
  - 5.2. Réseau cristallin et périodicité des propriétés physiques.
  - 5.3. Transport de charges et d'énergie dans les solides
  - 5.4. Métaux: Modèle du gaz d'électrons libres

## 5.5. Semi-conducteurs et isolants: Interaction électrons-réseau et bandes d'énergie

### TRAVAUX PRATIQUES :

Une pédagogie participative est mise en place avec une recherche bibliographique pour mettre en place un protocole expérimental et la rédaction d'un rapport de TP

Les sujets traités sont souvent en relation avec des procédés industriels. Ils portent sur la mise en œuvre des 4 principales voies de synthèse en chimie minérale:

- Voie sèche à hautes températures
- Voie Chimique en solution
- Voie électrochimique en solution ou en milieu fondu
- Métallo-thermie.

Sensibilisation aux aspects sécurité et environnement :

- Recherche d'information sur la Toxicité et les dangers liés aux produits chimiques manipulés
- Prise en compte du traitement des effluents gazeux des manipulations dans le protocole expérimental.
- Gestion des résidus solides et liquides en fin de manipulation

### TYPE D'EVALUATION

Contrôle continu (écrit : 1<sup>er</sup> partiel au mois d'avril (2h), 2<sup>ème</sup> partiel au de juin (2h))

Rapports de TP notés : La note de TP prend en compte le travail de l'élève au laboratoire et son respect des consignes de sécurité et de l'environnement et le travail de recherche bibliographique sur le sujet.

La note globale du module = (Note de contrôle x 0,75 + Note de TP x 0,25)

Le rattrapage se fait par examen écrit de 3heures et porte sur la totalité du programme.

### INFORMATIONS UTILES

#### PREREQUIS :

Notion d'éléments chimiques, périodicité des propriétés physico-chimiques et classification périodique, structure électronique des atomes et liaison chimique. Bases de la réaction chimique, concept Acide/Base et Red/Ox et notions de thermochimie.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : Polycopiés fournis

Conseillées : Indiquées à la fin des polycopiés de cours

### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°1, 2, 5, 6, 8, 11 et 13

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°3, 4

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Chimie et génie analytique		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 5	S6 TRONC COMMUN

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Acquérir les connaissances de base sur les méthodes d'analyse chimique et physico-chimique afin de maîtriser les différents aspects d'un processus analytique depuis l'échantillonnage jusqu'à l'exploitation des résultats. Appliquer cette méthodologie pour l'analyse d'un système réel.  
Donner des notions de base essentielles à une compréhension phénoménologique de la corrosion

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'étudiant devrait être capable d'appliquer les concepts de méthodologie analytique, ce qui implique :

- Déterminer les méthodes et conditions chromatographiques pertinentes
- Choisir les techniques spectroscopiques adéquates pour les analytes visés et de mettre en œuvre les méthodes de quantification avec prise en compte des effets de matrice de l'échantillon si nécessaire
- Comprendre les équilibres chimiques en solution aqueuse et résoudre les problèmes faisant intervenir ces équilibres
- Exploiter les courbes intensité-potentiel
- Réaliser des analyses par les méthodes volumétriques et instrumentales (chromatographie, spectroscopie, électrochimie)
- Choisir des matériaux pour les procédés de l'industrie chimique en prenant en compte leur résistance à la corrosion, diagnostiquer un certain nombre de formes de corrosion et choisir les méthodes d'anticorrosion adaptées

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

##### 1. Chimie des ions en solution (CIS) : (12h)

- 1.1 Activité et coefficient d'activité
- 1.2 Electrodes et Piles
- 1.3 Equilibres chimiques (précipitation, complexation, acide-base, oxydo-réduction)

##### 2. Chromatographie : (5h)

- 2.1 Bases théoriques de la chromatographie analytique
- 2.2 Chromatographie en phase gazeuse, instrumentation et applications
- 2.3 Chromatographie en phase liquide, instrumentation et applications
- 2.4 Chromatographie en phase supercritique
- Conférence industrielle : chromatographie préparative

##### 3. Courbes intensité-potentiel (I=f(E)): (6h)

- 3.1 Cinétique électrochimique
- 3.2 Construction d'un réseau de courbes
- 3.3 Applications – choix d'une technique d'analyse électrochimique

##### 4. Corrosion : (8h)

- 4.1 La corrosion uniforme
- 4.2 Les piles de corrosion
- 4.3 Méthodes de protection contre la corrosion

##### 5. Méthodologie Analytique (14h)

- 5.1 Les différences étapes de l'analyse chimique
- 5.2 Méthodes spectroscopiques
- 5.3 Applications de la chimie analytique

## 5.4 Conférence industrielle : rôle de la chimie analytique dans l'industrie

### 6. Travaux Pratiques : 32h élèves

Il s'agit d'un travail sous forme de projet de groupe, consistant à déterminer la composition chimique d'un produit réel encadré par un enseignant référent. Les systèmes étudiés concernent l'environnement (eaux, fertilisants) et la nutrition (compléments alimentaires), ainsi que le domaine des matériaux (alliages). Après une recherche bibliographique préliminaire des méthodes analytiques applicables, le projet pratique consiste à utiliser ou à mettre en place des protocoles expérimentaux, à réaliser de multiples analyses (volumétriques, spectroscopiques, gravimétriques, électrochimiques, chromatographiques) et à traiter statistiquement les résultats. A la fin du projet, une présentation orale devant l'ensemble des élèves sera faite, montrant les méthodes utilisées et les résultats obtenus. Un compte rendu écrit de l'ensemble des expériences et des résultats sera aussi réalisé.

#### TYPE D'ÉVALUATION

Examens écrits (3h)

Travail de groupe

Projet de Travaux Pratiques (évaluation de la préparation ; évaluation de la pratique expérimentale et de la théorie ; évaluation du compte rendu écrit des résultats et de leur interprétation / discussion) ; présentation orale

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Chimie de base

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

Conseillées :

1. Chimie Analytique de Skoog /West/Holler ; éditeur : DeBoeck Université
2. Electrochimie analytique et réactions en solution de B. Tremillon ; éditeur : Masson
3. Chromatographie en phase liquide et supercritique de R. Rosset ; éditeur : Masson
4. Manuel pratique de chromatographie en phase gazeuse de J. Tranchant, éditeur : Masson

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°1, 2, 3, 5, 8, 11, 13

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°6

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <b>Systèmes réactifs et procédés II</b>		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S6 TRONC COMMUN

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le module Systèmes Réactifs et Procédés II vise à :

- Faire comprendre les processus couplés de transport et de réactions observés dans les réactions catalytiques et hétérogènes
- Expliquer les concepts permettant de décrire ces phénomènes
- Connaître et choisir des réacteurs permettant de réduire les besoins en ressources et nuisances pour l'environnement
- Dimensionner et optimiser des réacteurs pour la mise en œuvre de réactions catalytiques et hétérogènes
- Faire acquérir les connaissances de base en procédés de séparation isothermes (absorption, extraction liquide-liquide, adsorption, membranes) simples et étagés
- Expliquer les concepts à la base des différentes opérations de séparation
- Rendre l'étudiant apte à choisir et à dimensionner le type de séparateur approprié à une situation donnée

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'étudiant devra être capable de :

- Connaître, identifier et prendre en compte les différents processus de transport d'une réaction hétérogène gaz-solide ou fluide-fluide,
- Appliquer les concepts permettant le dimensionnement des réacteurs hétérogènes et catalytiques
- Connaître les principaux procédés de séparation employés dans l'industrie
- Maîtriser les principes sur lesquels ils reposent ainsi que les concepts et modèles permettant leur analyse
- Appliquer les méthodes de dimensionnement des principaux types de procédés

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

#### Description des différentes parties de cours

1. Génie des Réactions Hétérogènes
  - 1.1. Présentation des principaux réacteurs industriels hétérogènes,
  - 1.2. Mise en œuvre des réactions catalytiques gaz-solide hétérogènes,
    - 1.2.1. Couplage transport & réaction
    - 1.2.2. Notions de limitations diffusionnelles externe et interne
    - 1.2.3. Calcul des facteurs d'efficacité des catalyseurs
  - 1.3. Mise en œuvre des réactions non catalytiques gaz-solide, Modèle à cœur rétrécissant,
  - 1.4. Mise en œuvre des réactions gaz-liquide, Critère de Hatta & Facteur d'accélération.
2. Génie des Séparations
  - 2.1. Introduction
    - Classification des opérations, agents de séparation,
    - Notion de travail minimal de séparation
  - 2.2. Opérations à étage d'équilibre :
    - Notion d'étage théorique
    - Dispositifs multi-étagés (courants croisés, contre-courant) : résolution analytique et graphique,
    - Efficacité de plateau et transfert de matière
    - Echangeur progressif
  - 2.3. Absorption gaz-liquide et stripping :
    - Applications industrielles

- Absorption avec régénération de solvant
- 2.4. Extraction liquide-liquide :
  - Applications industrielles
  - Etage théorique simple en extraction (résolution graphique)
  - Dimensionnement d'une colonne à contre-courant (courbe opératoire, nombre d'étages théoriques, débit de solvant minimal)
  - Notions sur l'extraction par solvant supercritique
- 2.5. Séparations par membranes :
  - Typologie des séparations membranaires
  - Perméation gazeuse : applications et méthodologie de dimensionnement d'une installation

#### Description des méthodes d'enseignement :

Les cours sont complétés par des séances de TD. Chaque séance de cours est complétée par (au moins !) une séance de TD, organisée par quart de promotion.

Les séances de TP relatives à ces enseignements interviennent au Semestre 7 et sont présentées dans la fiche module "Procédés industriels et développement durable".

#### TYPE D'EVALUATION

Trois examens écrits, l'un portant sur le Génie des Réactions Hétérogènes (2h), et deux autres sur le Génie des Séparations (2 x 1h30).

L'évaluation mise en œuvre visera à vérifier l'acquisition des connaissances de base dans les différents domaines, et les compétences acquises par la mise en application des concepts sur un problème réel. A travers ce cas réel, l'étudiant devra prévoir les performances d'un réacteur hétérogène puis de procédés de séparation.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS :

- Unité d'Enseignement " Systèmes réactifs et procédés I"
- Notions de bilans matière et de phénomènes de transfert

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : Cours en ligne de GRH : [HTTPS://GPIP.CNAM.FR/RESSOURCES-PEDAGOGIQUES-OUVERTES/GRH\\_ENSIC/CO/0MODULE\\_GRCPOLYPHASIQUE.HTML](https://gpi.cnam.fr/ressources-pedagogiques-ouvertes/grh_ensic/co/0module_grcpolyphasique.html)

Nécessaires :

- Polycopiés de cours
- Une liste d'ouvrages conseillés est indiquée dans le polycopié de cours

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°2, 4

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°9

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Systèmes Réactifs et Informatique		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S6 TRONC COMMUN

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le projet Systèmes Réactifs vise à rendre l'étudiant apte à dimensionner un réacteur industriel complexe en utilisant conjointement des compétences de Cinétique, GRC, Méthodes Numériques et Informatique. Si la plupart de ces enseignements sont réalisés au semestre précédent (S5), il est néanmoins nécessaire d'introduire de nouveaux logiciels informatiques (Matlab et VBA) qui sont devenus des outils standards pour l'ingénieur en génie des procédés.

Ce projet intègre des dimensions historiques et prospectives pour replacer dans son contexte industriel et sociétal le réacteur considéré.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de cet U.E., l'étudiant devra être capable de :

- Ecrire un code de calcul en VBA et Matlab
- Comprendre et utiliser des sous-programmes existants (en VBA et Matlab)
- Utiliser MS-Excel pour un traitement de données complexes (nécessitant une programmation)
- Analyser un mécanisme cinétique chimique détaillé et en déduire les informations cinétiques pertinentes pour le dimensionnement du réacteur
- Mettre en œuvre des méthodes d'optimisation pour la détermination des constantes de vitesses
- Modéliser le réacteur industriel par la formulation de bilans couplés matière/énergie
- Concevoir un programme informatique complexe permettant de simuler le réacteur industriel par la résolution numérique du modèle
- Analyser et critiquer les hypothèses simplificatrices proposées dans le projet
- Travailler en groupe et rédiger un rapport scientifique pluridisciplinaire

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Outils informatiques :

- 5 séances de TD (2h) d'utilisation et de programmation Matlab : concepts, calcul matriciel, intégration, intégration de systèmes différentiels, tracé de fonctions, optimisation
- 6 séances de TD (2h) d'utilisation et de programmation de MS-Excel (VBA) : apprentissage du langage, traitement complexe de données, interfaces graphiques, bases de programmation événementielle

Projet Systèmes Réactifs :

Le projet s'effectue par groupe de 4 élèves. Le déroulement du projet s'effectue en 2 parties :

- La première partie concerne l'étude du schéma réactionnel complexe à partir duquel les élèves doivent déduire un certain nombre d'informations cinétiques (stœchiométries et lois de vitesses). A l'aide de pseudo-expériences correspondant à un réacteur théorique (fourni aux élèves) et en réalisant un programme informatique Matlab, ils effectuent une procédure d'optimisation numérique visant à déterminer les constantes de vitesses des stœchiométries obtenues précédemment.
- Dans la deuxième partie, les étudiants modélisent et simulent un réacteur industriel qui met en œuvre le schéma réactionnel étudié dans la première partie.

Tout au long du projet, les élèves peuvent discuter des problèmes rencontrés auprès de trois enseignants référents et spécialistes d'un des domaines abordés (cinétique, GRC, informatique). Ces discussions sont encadrées au cours de 3 séances de suivi.

#### TYPE D'EVALUATION

Les compétences en VBA et Matlab sont évaluées par le biais d'un examen de 2h.

L'évaluation du projet s'effectue à partir de deux compte-rendus intermédiaires, d'un QCM individuel, d'un rapport final, ainsi qu'à travers une soutenance orale au cours de laquelle les élèves d'une même équipe doivent exposer à tour de rôle et de manière synthétique le travail réalisé (20 min) et répondre aux questions de trois enseignants. La note finale du projet est calculée comme la moyenne de 5 notes correspondant aux 2 CR (10% chacun), au QCM individuel (25%), au rapport final (35%) et à la soutenance orale (20%).

La note finale de l'UE est constituée par la moyenne des 2 Eléments Constitutifs : Outils informatiques (2 ECTS) et Projet Systèmes Réactifs (2 ECTS).

La session de rattrapage du projet Systèmes Réactifs est constituée par un sujet fourni à l'étudiant concerné à l'issue du jury du semestre 6. Ce projet fait l'objet d'un unique rapport individuel rendu à l'équipe enseignante. La session de rattrapage de l'EC Outils Informatiques est constituée par un examen de 2h.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Enseignement du S5 sur les systèmes réactifs, l'informatique et les mathématiques appliquées.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

1. Cinétique et Catalyse, G. Scacchi, M. Bouchy, J.F. Foucaut, O. Zahraa, R. Fournet Tec et Doc, Lavoisier, 2011.
2. Méthodes Numériques et d'Optimisation : théorie et pratique pour l'ingénieur, J.P. Corriou, Tec et Doc, Lavoisier, 2010.

Conseillées :

1. Génie de la Réaction Chimique, J. Villermaux, Tec et Doc, Lavoisier, 1993.

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°2, 3, 4, 11

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Phénomènes de transfert II		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 5	S6 TRONC COMMUN

#### OBJECTIFS GENERAUX L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le cours de transfert de chaleur et de matière vise à :

- Apprendre à faire un bilan d'énergie dans un processus physique et dans une installation industrielle en tenant compte des transferts de chaleur par convection, conduction et rayonnement
- Apprendre à faire un bilan sur chaque espèce chimique dans une installation industrielle en tenant compte des transferts diffusifs et convectifs
- Détailler et comprendre les transferts radiatifs
- Détailler et comprendre l'analogie entre le transfert de chaleur et le transfert de matière
- Détailler le fonctionnement et le dimensionnement d'un échangeur de chaleur

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES :

A l'issue de ce module l'étudiant devrait être capable de :

- Faire un bilan thermique et massique dans une installation industrielle en se focalisant sur les phénomènes importants et en négligeant les phénomènes secondaires.
- Choisir et dimensionner un échangeur de chaleur industriel.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT :

1. Transfert de chaleur par diffusion, loi de Fourier, exemples de diffusion de chaleur uni-dimensionnelle, diffusion en régime transitoire, méthodes numériques de résolution de l'équation de la diffusion. 6 h de cours, 6 h de TD, 1h d'évaluation
2. Transfert par convection forcée et naturelle, bilans de quantité de mouvement et énergie, détermination de coefficients de transfert thermique dans les écoulements internes et externes en régime laminaire ou turbulent. 7.5 h de cours, 9 h de TD et 1h d'évaluation
3. Transferts radiatifs, notion de corps noir, loi de Planck. Calcul du facteur de forme entre deux corps. Notion de corps gris. Calculs radiatifs dans les milieux absorbants. 1.5 h de cours, 1.5 h de TD
4. Transfert de matière par diffusion, loi de Fick, diffusion en régime permanent et transitoire. Diffusion dans les solides. 6h de cours, 6 h de TD, 1h d'évaluation
5. Description et fonctionnement des échangeurs de chaleur : 1h de cours, 4.5h d'autoformation, 1.5h de TD, 3h de suivi de projet et 1 QCM final

#### TYPE D'EVALUATION :

L'évaluation du cours de Transfert de chaleur et de matière se fait par des examens tout le long du semestre (3\*1 h d'évaluation), contrôle continu. Rapport de dimensionnement du projet échangeur & QCM sur le fonctionnement des principaux échangeurs de chaleur. La note d'échangeurs compte pour ¼ de la note finale. Les travaux pratiques comptent pour ¼ de la note finale.

#### INFORMATIONS UTILES :

PREREQUIS : cours de mécanique des fluides S5

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français ou anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

1. Les bases de la mécanique des fluides et des transferts de chaleur et de masse pour l'ingénieur, E. Saadjan, Editions Sapia, 2009.
2. Transport Phenomena, equations and numerical solution, E. Saadjan, John Wiley, 2000

**CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES**

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°1, 2, 4, 8, 11 et 13

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°3, 9, 14

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Management et économie II		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 3	S6 TRONC COMMUN

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Repérer les enjeux humains, sociaux, économiques et juridiques de la Santé et Sécurité au Travail (S&ST) dans l'entreprise.
- Intégrer dans ses pratiques au quotidien et dans des projets l'évaluation et la maîtrise des risques pour la S&ST
- Savoir analyser et modéliser un poste de travail
- Introduction à la qualité (différents types d'audits, normalisations habituellement rencontrées, coût de la qualité et de la non-qualité)
- Responsabilité sociétale des entreprises (RSE), code de conduite (gestion des conflits d'intérêts), éthique et déontologie.
- Comprendre les principales dimensions de la gestion d'une entreprise à travers l'analyse de ses trois grandes fonctions : la gestion comptable et financière, le marketing et le management des systèmes d'information.
  - o Décrire et appliquer les principes de base de la comptabilité à travers l'enregistrement comptable et les documents de synthèse. Analyser les éléments influents sur les comptes
  - o Savoir analyser et comprendre le fonctionnement des marchés, les spécificités du comportement des consommateurs et la stratégie marketing
  - o Apprendre à introduire et à intégrer les systèmes d'information dans une structure organisationnelle en tenant compte de leur impact sur les autres activités de l'organisation

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module l'étudiant devrait être capable de :

- Réaliser une analyse de risque au poste de travail et de choisir les meilleurs moyens de prévention et de protection
- Corriger, d'aménager ou concevoir des situations de travail
- Conduire une analyse financière en maîtrisant ses principaux outils et moyens d'analyse
- Réaliser une étude de marché et élaborer une stratégie marketing
- Elaborer un modèle conceptuel et physique de bases de données

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

##### Hygiène, Santé, Sécurité au Travail

*Cette partie est calquée sur le référentiel BES&ST (Bases Essentielles en Santé et Sécurité au Travail) élaboré par le conseil national pour l'enseignement en santé et sécurité au travail (CNES&ST) constitué entre autres de représentants de la Direction Générale de l'Enseignement Supérieur (DGES) et de la Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés (CNAM-TS)*

1. Les notions de base en santé et sécurité au travail nous amènent à dessiner un cadre général d'étude appelé « système de travail centré sur l'activité » ; cette prise en compte de l'activité étant essentielle pour corriger, aménager ou concevoir des situations de travail.
2. L'évaluation des risques en entreprise
3. Le risque chimique, les règlements européens REACH et CLP.
4. Préparation au stage d'intégration industrielle

##### La finance et la comptabilité

1. Les principes de base de la comptabilité.
2. L'enregistrement comptable et les documents de synthèse. L'analyse des éléments influents sur les comptes.

3. Introduction à l'analyse financière (outils et moyens d'analyse), les soldes intermédiaires de gestion, la capacité d'autofinancement, l'analyse fonctionnelle du bilan et le tableau de financement, l'équilibre financier et l'identification des risques, formalisation du diagnostic.

#### Le marketing

1. L'analyse du marché : la notion de marché, la demande du marché, la segmentation du marché
2. L'étude du consommateur : les facteurs explicatifs du comportement, le processus d'achat du consommateur, les modes de réponse du consommateur
3. L'étude de marché : les études qualitatives, les études quantitatives
4. La stratégie marketing

#### Les Systèmes d'Information

1. Les fondements des systèmes d'information : introduction aux systèmes d'information, les types, leur impact sur les activités des organisations, l'intégration des SI.
2. La conception des bases de données : élaboration d'un model conceptuel et physique de bases de données.

Exercices et étude de cas

#### Découverte des métiers de l'ingénieur : Journée métiers - carrière

Cette journée est organisée conjointement par la direction des études, l'association amicale des Anciens élèves et des représentants étudiants. Une série de tables rondes dans lesquelles participent de nombreux industriels anciens élèves de l'école présente aux nouveaux étudiants un premier aperçu des différents métiers d'ingénieurs qui leur sont offerts.

Responsable : Alexandra Gigante

#### TYPE D'ÉVALUATION

Exercices et études de cas d'entreprise

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

1. Fascicule « Repères pour le travail à l'usage des ingénieurs, élèves et débutants » conçu pour le compte de l'ANACT (Association Nationale d'Amélioration des Conditions de Travail) par un réseau pédagogique de l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) dont fait partie l'ENSIC.
2. Notes documentaires de l'INRS.
3. Polycopiés pour tous les cours
4. Des études de cas et des vidéos illustrent les éléments méthodologiques d'analyse des risques

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°7, 8, 11, 12

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Langues II		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 3	S6 TRONC COMMUN

### LVA : anglais

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Permettre aux étudiants de devenir plus responsables de leur propre apprentissage
- Développer les compétences langagières pour atteindre/maintenir le niveau B1/B2/C1/C2 (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)
- Développer les compétences professionnelles pour travailler en entreprise ou en laboratoire de recherche dans un contexte international (en France ou à l'étranger).
- Développer les compétences du 21<sup>e</sup> siècle : compétences en apprentissage et innovation, compétences en information, média et technologie, compétences sociales et professionnelles
  - Aspects du développement durable traités en projet selon les objectifs et choix des étudiants. (Décrire les concepts de limites planétaires, de biodiversité, de services éco-systémiques, d'objectifs sociétaux (ODD), Illustrer les principes et apports de la démarche scientifique.)

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, les élèves devront être capables de :

- Identifier leur niveau d'anglais et identifier les besoins pour communiquer en anglais.
- S'auto-évaluer.
- Utiliser des outils pour gérer leur projet personnel.
- Comprendre le contenu essentiel de sujets concrets ou abstraits dans un texte complexe.
- Communiquer avec un degré de spontanéité et d'aisance.
- S'exprimer de façon claire et détaillée sur une grande gamme de sujets.
- Décrire les différentes phases d'un procédé, processus scientifique en génie chimique- en utilisant vocabulaire et syntaxe adéquats.
- Faire un entretien d'embauche téléphonique

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

- Analyser et évaluer leur propre niveau d'anglais à l'entrée de l'ENSIC (B1/B2/C1/C2) et leurs compétences en anglais dans la vie courante et la vie professionnelle.
- Définir leurs besoins pour améliorer leur niveau d'anglais et développer leurs compétences générales et professionnelles en anglais.
- Travailler en binôme/équipe sur leurs objectifs, rechercher les documents adéquats adaptés et analyser les résultats atteints.
- Utiliser un outil pour encadrer leur travail.
- Langage fonctionnel pour décrire les différentes phases d'un processus ou un système en génie chimique.
- Téléphone : Etude et acquisition du langage spécifique utilisé lors de conversations téléphoniques, entraînement à l'utilisation du téléphone ; - Jeux de rôles et simulations d'entretiens d'embauches. Simulations enregistrées de conversations, décriptage et analyse

#### TYPE D'EVALUATION

- Validation (note entre 3-5) : 1) Présentation orale de projet personnel et appréciation de l'enseignant  
2) simulation téléphonique.
- Test de niveau : compréhension orale, compréhension écrite.

- Rattrapage : Test de niveau (CO,CE) ou un travail personnel ou une simulation téléphonique.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Niveau B2 minimum anglais (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

#### LVB

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Consolider le niveau A2 // B1 (groupes faibles), atteindre B2 (groupes forts) (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)
- Développer les compétences professionnelles.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, les élèves devront être capables de :

- Comprendre et restituer tout document écrit et audio/vidéo portant sur divers domaines : vie sociale, culturelle, économique, scientifique et professionnelle
- Rédiger des résumés, des notes succinctes
- Interagir oralement en groupe, sous-groupe, ou binôme (restitution, échanges, débats, opinions, analyse), présenter un exposé PowerPoint
- S'exprimer sur des sujets complexes ou de la vie courante de façon claire et bien structurée, émettre un avis sur un problème, utiliser la langue de façon efficace et souple dans la vie académique et sociale
- Décrire les différentes phases d'un procédé, processus scientifique en utilisant le vocabulaire et la syntaxe adéquats (selon niveau du groupe)

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

- Utilisation divers documents - écrits, vidéos, audios, sites internet avec entraînement à l'oral par le biais de « pair work », discussions, jeux-de rôles, simulations, portant sur divers domaines : vie sociale, culturelle, économique, scientifique.

#### TYPE D'EVALUATION

- Validation : validation des compétences acquises : divers tests et contrôle continu (oral, écrit)
- Tests de niveau : compréhension orale et écrite.
- Rattrapage : Test oral et écrit ou Tests de niveau

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : niveau minimum : A1 (en LVB) (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)

LANGUES D'ENSEIGNEMENT : allemand / espagnol / français / italien / portugais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°13

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°10

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Conférences Industrie, Environnement &amp; Société I</b>		<b>OBLIGATOIRE</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> 1	<b>S6 TRONC COMMUN</b>

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Découvrir et échanger avec des professionnels externes (académiques ou industriels) :

- De certains enjeux socio-environnementaux
- Des différents domaines industriels liés à l'ENSIC.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin du module, l'étudiant devrait être capable de :

- Identifier certains sujets socio-environnementaux
- Appréhender la diversité du monde industriel
- Visualiser l'implication de l'ingénieur dans le monde socio-économique
- Orienter son parcours académique en conséquence

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

La formation s'appuie sur :

- Un atelier de réflexion de 3h sur certaines questions socio-environnementales avec animation en petits groupes sous forme de métaplan, puis restitution en amphi
- 12h de conférences obligatoires de professionnels sur les sujets socio-environnementaux. Par exemple :
  - o Anthropocène & Limites planétaires
  - o Enjeux sociaux & Objectifs de Développement Durable
  - o Approvisionnement énergétique
  - o Changement climatique : Conséquences, Atténuation & Adaptation
  - o Ressources en Eau (eau potable, transport fluvial, eaux de procédés, traitement)
  - o Responsabilité Sociétale de l'Entreprise
- 6h de conférences industrielles à choisir parmi différents secteurs (par exemple : Energie, Santé, Chimie, Sécurité, Cosmétique, Traitement des déchets...).

#### TYPE D'EVALUATION

Présence obligatoire. Projet sur table en cas de rattrapage.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : aucune

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°9, 14

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°10



## ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 7

Correspondant pédagogique : Rainier HREIZ

### ORGANISATION GENERALE

<b>Intitulé de l'unité d'enseignement et de ses éléments constitutifs</b>	<b>Responsable</b>	<b>H</b>	<b>CM</b>	<b>TD</b>	<b>TP</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>Ex</b>	<b>ECTS</b>
<b>Chimie des polymères</b>	Anne JONQUIERES	52	13,5	8	29			1,5	3
<i>Chimie des polymères</i>	Anne JONQUIERES		13,5	8				1,5	
<i>TP Chimie des polymères</i>	Carole ARNAL-HERAULT				29			0	
<b>Procédés industriels et développement durable</b>	Alain DURAND	103	43	27,5	24		3	5,5	7
<i>Sécurité</i>	Olivier DUFAUD		14,5	10				2	
<i>Conception de procédés industriels</i>	Laurence MUHR		19,5	12			3	2	
<i>Génie des procédés de polymérisation</i>	Alain DURAND		9	5,5				1,5	
<i>TP Systèmes réactifs et procédés III</i>	Yann LE BRECH				24				
<b>Phénomènes de transfert III</b>	Sabine RODE	56	11,5	17,5	24			3	3
<i>Opérations unitaires fluide-solide</i>	Sabine RODE		7	13				2	
<i>Agitation</i>	Cécile LEMAITRE		4,5	4,5				1	
<i>TP Phénomènes de transfert III</i>	Yann LE BRECH				24				
<b>Procédés de séparation thermique</b>	Guillain MAUVIEL	80	22,5	28,5	24			5	5
<i>Thermodynamique des équilibres entre phases</i>	Romain PRIVAT		13	8				2	
<i>Distillation binaire</i>	Guillain MAUVIEL		5,5	9,5				1,5	
<i>Air humide et séchage</i>	Guillain MAUVIEL		4	11				1,5	
<i>TP Procédés de séparation thermique</i>	Yann LE BRECH				24				
<b>Process systems engineering</b>	Abderrazak LATIFI	68	19,5	42,5				6	5
<i>CPAO</i>	Abderrazak LATIFI		1,5	18				2	
<i>Optimisation</i>	Abderrazak LATIFI		6	9,5				1,5	
<i>Dynamique des systèmes et commande</i>	Jean-Marc COMMENGE		12	15				2,5	
<b>Management et économie III</b>	Véra IVANAJ	24	8	8			8		2
<i>Management du changement</i>	Véra IVANAJ		6	6			8		
<i>Curriculum vitae et lettre de motivation</i>	Halima ALEM MARCHAND		2	2					
<b>Langues III</b>	E. KASMAREK/M. ADRIAN	40		40					3
<i>Anglais</i>	E. KASMAREK/M. ADRIAN			20					
<i>LVB</i>	E. KASMAREK/M. ADRIAN			20					
<b>Options</b>		12							1
<b>Conférences Industrie, Environnement &amp; Société II</b>	Guillain MAUVIEL	16					16		1
<i>Conférences industrielles</i>	Guillain MAUVIEL						16		
<b>TOTAL</b>		<b>451</b>							<b>30</b>

### Options

<b>Intitulé de l'option</b>	<b>Responsable</b>	<b>H</b>	<b>CM</b>	<b>TD</b>	<b>TP</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>Ex</b>	<b>ECTS</b>
<b>Ingénierie des médicaments</b>	Axelle ARRAULT	12	5	6				1	1
<b>Génie photophysique et photochimique</b>	Céline FROCHOT	12	5	6				1	1
<b>Petite histoire des sciences</b>	Arnaud FISCHER	12	5	6				1	1
<b>Gestion financière et budgétaire</b>	Valérie HENRY	12	5	6		3		1	1
<b>Microfluidique</b>	Thibault ROQUES CARMES	12	5	6				1	1
<b>Biopolymères et polymères biodégradables</b>	Anne JONQUIERES	12	9,5				1,5	1	1

<b>IA pour le génie des procédés – Premier contact</b>	Dimitrios MEIMAROGLOU	12	5	6				1	1
<b>Procédés hydrométallurgiques</b>	Marie LE PAGE MOSTEFA	12	5	6				1	1
<b>La transition énergétique et industrielle</b>	Guillain MAUVIEL	12	5	7				0	1

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Chimie des polymères</b>		<b>OBLIGATOIRE</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> 3	<b>S7 TRONC</b> <b>COMMUN</b>

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le module de chimie des polymères vise à :

- Introduire les notions de base sur les polymères
- Présenter les différents types de polymérisation et leurs principales caractéristiques
- Décrire les cinétiques de polymérisation et le calcul des masses molaires obtenues

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue du module de chimie des polymères, l'étudiant devrait être capable de :

- Comprendre la spécificité des macromolécules et leurs grandes caractéristiques
- Choisir le type de polymérisation à mettre en œuvre pour atteindre un objectif donné
- Identifier les avantages et les limites de chaque type de polymérisation
- Réaliser les calculs cinétiques et de masses molaires qui sont des prérequis au dimensionnement des réacteurs de polymérisation
- Savoir réaliser des polymérisations simples et connaître les procédés de polymérisation les plus courants

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Le cours de chimie des polymères sera structuré en 4 chapitres :

Chapitre 1. Généralités sur les polymères

Chapitre 2. La polymérisation radicalaire

Chapitre 3. Les polymérisations ioniques et par coordination-insertion

Chapitre 4. Les polymérisations par étapes

Il comportera 9 séances de cours magistraux, le polycopié de cours correspondant aux diapositives présentées. Les cours magistraux permettront un approfondissement des étudiants sur la base de ces diapositives, d'exemples concrets, et de questions ouvertes avec l'assistance. A l'issue de chaque chapitre, un questionnaire non noté sera proposé aux étudiants et fera l'objet d'une correction immédiate afin de leur permettre une auto-évaluation des acquis fondamentaux du cours.

Les cours magistraux serviront de base pour des TDs qui seront réalisés par pédagogie active impliquant la résolution de problèmes par équipe d'élèves. La première séance de TD sera de 2h et permettra d'introduire la pédagogie active utilisée, et 4 séances de TD de 1h30 qui seront réparties selon l'avancement du cours. Les séances de TD devront être préparées par les étudiants qui devront avoir acquis les principales notions du cours correspondant. Les 4 premières séances de TD comporteront des exercices sur les différents chapitres à résoudre avec l'enseignant. La cinquième séance de TD permettra de renforcer l'acquisition des connaissances par une séance d'exercices, ciblée sur les polymérisations par étapes, sujet plus difficile à appréhender par les étudiants, avant le contrôle final de 1h30.

29h de TP réparties en 4 journées viendront compléter la formation en chimie des polymères en permettant aux étudiants de se confronter des problématiques de terrain en rapport avec les procédés de polymérisation. Les enseignements pratiques cibleront les différentes méthodes de polymérisation et leurs spécificités (polymérisation en émulsion, polymérisation en suspension, polymérisation par étapes...), et les techniques les plus courantes de caractérisation des polymères, notamment de leurs masses molaires.

#### TYPE D'EVALUATION

- Un contrôle final écrit d'1h30 correspondant à l'enseignement magistral et de TD, comptant pour 2/3 de la note finale

- Une évaluation multi-compétences des TP sur la base de de grilles d'évaluation de compétences portant sur le travail en laboratoire, les calculs réalisés et les aspects fondamentaux associés et impliquant notamment des QCMs individuels en fin de séance, la note globale affectée à l'évaluation des TP comptant pour 1/3 de la note finale.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : connaissances élémentaires de chimie organique.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

Aucune, les photocopiés de cours, TD et TP étant les seuls documents nécessaires au suivi de l'UE de Chimie des polymères.

Conseillées :

1. Chimie et physico-chimie des polymères, 2<sup>ème</sup> édition, Michel Fontanille et Yves Gnanou, Editeur Dunod, 2010.
2. Chimie des polymères : synthèses, réactions, dégradations, 13<sup>ème</sup> Volume du Traité des Matériaux, Jean-Pierre Mercier et Ernest Maréchal, Editeur Presses polytechniques et universitaires romandes, 1993.
3. Principles of Polymer Chemistry, G. Odian, 3<sup>ème</sup> edition, John Wiley and Sons, 1991.

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°1, 4, 5, 8, 11 et 13

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Procédés industriels et développement durable</b>	<b>OBLIGATOIRE</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> <b>7</b>
	<b>S7 TRONC COMMUN</b>

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Cette unité d'enseignement vise à :

- Acquérir une méthodologie d'analyse et de conception pluridisciplinaire des procédés industriels de transformation de la matière avec une approche intégrée prenant en compte les aspects environnementaux et sécuritaires.
- Compléter les bases acquises en génie de la réaction chimique par le génie des procédés de polymérisation intégrant le lien entre structure des polymères, procédé et propriétés d'application.
- Aborder de façon expérimentale le fonctionnement et les caractéristiques des réacteurs homogènes et hétérogènes.
- Présenter les conditions de travail, les risques chimiques, les réglementations en matière de santé au travail et de sécurité des procédés.
- Présenter des principaux risques liés aux procédés industriels (feux, explosions, emballement thermiques, dispersion atmosphérique).
- Introduire les bases et principes fondamentaux du développement durable.

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de cette unité d'enseignement, l'étudiant devra être capable de :

- Concevoir un procédé industriel complexe dans sa globalité en incluant tous les types d'opérations unitaires (réaction, séparation, compression...) et en intégrant ab initio les contraintes liées à l'environnement et la sécurité.
- Choisir des procédés pour le traitement des effluents.
- Mobiliser les connaissances abordées dans différentes disciplines pour effectuer une analyse basée sur un raisonnement physique et préparer le dimensionnement de chacune des opérations unitaires ainsi définies.
- Choisir un type de réacteur et sélectionner un procédé de polymérisation pour réaliser une réaction de polymérisation particulière.
- Choisir les paramètres de fonctionnement d'un réacteur de polymérisation en considérant les performances en rendement, productivité et coût d'une part et les caractéristiques des macromolécules en lien avec les propriétés recherchées d'autre part.
- Décrire de façon concrète et expérimentale les concepts liés au fonctionnement de réacteurs chimiques.
- Connaître les dispositions à prendre aux différents stades de la conception et lors du fonctionnement d'un procédé afin de le rendre plus propre, plus sobre et plus sûr.
- Connaître et savoir appliquer les principales méthodologies/méthodes d'analyse de risques.
- Participer à la réalisation d'une étude de dangers et comprendre les enjeux d'une étude d'impact.

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

#### **EC 1. Grands procédés industriels (35,5 h présentiel)**

- Partie I : Procédés de la chimie minérale
- Partie II : Raffinage et pétrochimie
- Partie III : Le cycle du combustible nucléaire

La gestion de l'eau et le traitement des effluents gazeux seront intégrés au cours de l'étude de ces procédés.

#### **EC 2. Génie des procédés de polymérisation (15 h présentiel)**

- Partie I : Introduction : relation structure – procédé – propriétés
- Partie II : Différents procédés de polymérisation
- Partie III : Conception et éléments de modélisation des réacteurs d'homopolymérisation radicalaire

### **EC 3. Sécurité et développement durable (24 h présentiel)**

La partie « sécurité » a pour but d'enseigner l'ensemble des dispositions à prendre à tous les stades de la conception (sécurité intrinsèque), de la construction, de l'exploitation et de l'arrêt d'un procédé dans le domaine de la prévention et de la protection des risques. Ces dispositions sont étudiées au travers des :

- différentes législations existantes (ICPE, Seveso 3, IED...),
- méthodologies utilisables (principe de sécurité intrinsèque, APR, méthode HAZOP...)
- connaissances de bases associées (feux, explosions de gaz et de vapeurs, BLEVE, Boilover, explosions de poussières, dispersion atmosphérique, emballement thermique, etc.)

La partie traitant du « développement durable » a pour but d'enseigner les bases et principes fondamentaux allant de l'Analyse du Cycle de Vie et du Management des Produits et Procédés durant ce même cycle de vie.

### **EC 4. Systèmes réactifs et procédés (24 h présentiel)**

Cristallisation : bilan de population, modèle du cristalliseur ou mesure du coefficient de transfert de matière gaz-liquide en présence d'une réaction chimique (8h) ; estimation et détermination expérimentale de la distribution des temps de séjour dans différents types de réacteur (4h) ; étude de réacteurs catalytiques hétérogènes (8h) ; dynamique des systèmes (4h) ; filtration : filtration sur filtre presse, résistance du gâteau et de la toile (4h). Absorption avec et sans réaction chimique : absorption du CO<sub>2</sub> dans des acides aminés, absorption de l'oxygène dans l'eau (8h).

### **Méthodes d'enseignement**

EC 1. est réalisé sous forme de cours, de travaux dirigés, de conférence (1 conférence réalisée par un industriel) et d'études de cas (4 séances réalisées sous forme de résolution par problème).

EC 2. est dispensé sous forme de cours et de travaux dirigés. Les séances de TD sont organisées par quart de promotion.

EC 3. est dispensé sous forme de cours succincts (1 h) et de travaux dirigés longs (2h). Les séances de TD sont organisées par quart de promotion et suivant un fil conducteur qui est l'étude de dangers d'un site industriel.

EC 4. est dispensé sous forme de travaux pratiques. Les concepts théoriques qui s'y rattachent sont présentés sous forme de cours et TD aux semestres 5 et 6 dans les modules « Systèmes réactifs et procédés I et II ».

## **TYPE D'ÉVALUATION**

- Contrôle écrit de 3h portant sur EC 1 et EC 2. L'évaluation mise en œuvre portera sur des questions transversales à plusieurs procédés industriels abordés (sans documents) ainsi que sur l'analyse d'un procédé de polymérisation particulier (avec documents).
- Contrôle écrit d'1h30 pour EC 3 couplé à un projet en groupe portant sur une partie d'étude de dangers
- Rédaction de rapports de manipulations de travaux pratiques pour EC 4.
- L'évaluation finale du module est établie à partir des évaluations intermédiaires des quatre parties, en utilisant une pondération basée sur les nombres d'heures de travail par élève (travail en présentiel + travail personnel).
- Une session de rattrapage unique sera proposée par semestre.

## **INFORMATIONS UTILES**

**PREREQUIS :** Unités d'enseignement « Systèmes réactifs et procédés I et II », « Chimie macromoléculaire », « Thermodynamique et énergétique ».

**LANGUE D'ENSEIGNEMENT :** français

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :**

**Nécessaires :**

1. Laurent A. (2011). Sécurité des Procédés Chimiques - connaissances de base et méthodes d'analyse de risques, Tec&Doc Lavoisier, 2<sup>ème</sup> édition, Paris.

**Conseillées :**

1. Crawley F., Preston M. and Tyler B. (2000). HAZOP: guide to best practice: guidelines to best practice for the process and chemical industries, Institution of chemical engineers.
2. Degrémont, Memento Technique de l'eau, Lavoisier, Paris, 2005, 10<sup>ème</sup> édition.
3. Di Nanno P.J. et al. (1995). SFPE handbook of fire protection engineering, 2nd edition, National Fire Protection Association Society of Fire Protection Engineers.
4. Eckhoff R.K. (2005). Explosion hazards in the process industries, Gulf Publishing Company, Houston.

5. IChemE (1988). Preventing major chemical and related process accidents, Symposium series - Rugby, UK: Institution of Chemical Engineers.
6. Mannan S. et Lees F.P. (2005). Lees loss prevention in the process industries, Elsevier.
7. Mortureux Y., Analyse Préliminaire de risques, Techniques de l'Ingénieur, SE 4010
8. Génie de la Réaction Chimique, J. Villermaux, Tec et Doc, Lavoisier, 1993.
9. Cinétique et Catalyse, G. Scacchi, M. Bouchy, JF. Foucault, O. Zahraa, Lavoisier, Tec et Doc, 1996.
10. Durand A., Hoppe S., Meimaroglou D., Serra C., Rachet R., Wilson J., Réacteurs homogènes de polymérisation radicalaire, Techniques de l'Ingénieur, AF 6046.

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°2, 4, 7, 8, 11 et 13

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°3, 9

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Phénomènes de transfert III		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 3	S7 TRONC COMMUN

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le module Phénomènes de transfert III vise à :

- Acquérir des connaissances de base dans la description des écoulements polyphasiques fluide solide : lits fixes et lits fluidisés
- Acquérir des connaissances de base dans les séparations mécaniques fluide-solide
- Acquérir des connaissances de base en agitation
- Rendre l'étudiant apte à dimensionner les installations associées aux différentes opérations unitaires précitées

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin de l'étude de chacun des thèmes traités l'étudiant devra être capable de :

- Estimer les caractéristiques hydrodynamiques et de transfert d'un écoulement dans un lit fixe et dans un lit fluidisé
- Choisir un mobile d'agitation et dimensionner une cuve agitée mécaniquement pour une tâche donnée
- Choisir et dimensionner des appareillages de séparation mécanique : décanteur, filtre, centrifugeuse

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

#### Cours et Travaux Dirigés (32h)

##### Écoulement en lit fixe et fluidisation

3 séances de cours (1h) – 3 séances de TD (2h) : diamètre de Sauter d'un solide divisé, loi de Darcy et équation d'Ergun ; vitesse minimale de fluidisation et vitesse terminale de chute ; classification des matériaux pulvérulents ; régimes de fluidisation ; similitudes et extrapolation ; procédés industriels ; 1h examen écrit.

##### Agitation

3 séances de cours (1h30) – 3 séances de TD (1h30) : mobiles axiaux et radiaux ; nombre de puissance ; débits de circulation et de pompage ; temps de mélange ; transferts thermiques ; agitateurs pour différentes applications ; 1h examen écrit.

##### Opérations Unitaires Mécaniques

4 séances de cours (1 de 1h30 3 de 1h) – 3 séances de TD (2h) : séparations liquide-solide et gaz-solide, décantation, filtration sur support et en profondeur, centrifugation, essorage, dépoussiérage.

##### Travaux Pratiques (24h)

Hydrodynamique colonne à plateaux ou à garnissage : engorgement, primage, pertes de charge (8h) ; fluidisation gaz-solide ou liquide-solide : vitesse minimale de fluidisation, transferts, expansion du lit (8h) ; agitation : courbes de puissance, influence de la géométrie du mobile, agitation gaz-liquide (4h) ; séchage par atomisation : bilans matière et bilans enthalpiques, température humide (4h). Etude d'un réacteur autotherme (4h).

### TYPE D'EVALUATION

Comptes-rendus des Travaux Pratiques, examen écrit lits-fixes et fluidisés, agitation séparations mécaniques.

### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Phénomènes de Transfert I et Phénomènes de Transfert II

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

Opération polyphasiques en génie des procédés, hydrodynamique, transferts, réactions, séparations mécaniques. Paris ; éditions Ellipses, 2<sup>e</sup> éd. 2023

Conseillées :

1. Wallis, G.B. One-dimensional two phase flow. New-York : Mc-Graw Hill, 1969.
2. Perry's Chemical Engineers' Handbook. New York : Mc Graw-Hill, 2007, 8<sup>th</sup> edition. Ch. 5., Heat and Mass Transfer ; Ch. 6, Fluid and Particle Dynamics ; Ch.18, Liquid-Solid Operations and Equipment.
3. Yang, Wen-Ching, [éd.]. Handbook of fluidization and fluid-particle systems. New-York : Marcel Dekker Inc., 2003.
4. D. Kunii, O. Levenspiel. Fluidization Engineering. [éd.] John Wiley. 2<sup>nd</sup> ed. New-York : s.n., 1991.
5. W.J. Beek, K.M.K. Mutzall, J.W. van Heuven. Transport Phenomena. 2<sup>nd</sup> ed. New-York : John Wiley & Sons, LTD, 1999.

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°2, 5, 8, 11 et 13

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°9

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Procédés de séparation thermique		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 5	S7 TRONC COMMUN

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le module de procédés de séparation thermique vise à :

- Présenter le formalisme permettant de décrire les systèmes multi-constituants en insistant sur la notion de potentiel chimique
- Décrire les diagrammes de phases des systèmes binaires avec phase liquide homogène.
- Présenter les méthodes permettant de dimensionner les opérations de séparation équilibrées, impliquant des transferts de matière et de chaleur couplés : distillation binaire, opérations sur l'air humide, séchage
- Rendre l'étudiant apte à dimensionner les installations associées aux procédés précités

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin de l'étude de chacun des thèmes traités les étudiants devront être capables de :

- Calculer un diagramme de phases isotherme ou isobare ainsi que la courbe d'équilibre d'un système binaire quelconque (déviations positives ou négatives à l'idéalité, azéotropie homogène)
- Déterminer les conditions de fonctionnement limite d'une colonne de distillation zéotropique (taux de reflux minimal, nombre de plateaux minimal) et choisir des conditions de fonctionnement optimales de cette colonne
- Dimensionner des colonnes de distillation et des colonnes de refroidissement par contact direct
- Analyser des courbes de séchage et choisir et dimensionner des sécheurs

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

#### Cours et Travaux Dirigés

##### Thermodynamique des équilibres entre phases

12 h cours, 9h30 de TD : condition d'équilibre entre phases, expressions du potentiel chimique, relations d'équilibre liquide-vapeur, grandeurs de mélange, grandeurs de mélange idéal et grandeurs d'excès, description des diagrammes de phases fluides sous basse pression ; 2 h examen écrit.

##### Introduction à la distillation

5h30 de cours : Distillation Flash et distillation fractionnée, méthode de McCabe et Thiele, équations de Fenske, Underwood, Gilliland, dimensionnement thermodynamique des colonnes par la méthode MESH et par la méthode NUT, dimensionnement hydrodynamique des colonnes à garnissage et à plateaux ; 9h30 de TD; 1h 30 examen écrit.

##### Air humide et séchage

4 séances de cours (1h chaque) ; 4 séances de TD (2h chaque) ; 2 séances suivi travail maison (1h30 chaque) : température humide, diagrammes psychrométriques, procédés de refroidissement par contact direct, procédés d'humidification, mécanismes de séchage, courbes caractéristiques de séchage, sécheurs industriels, bilans enthalpiques, performances énergétiques, technologies associées ; 1h30 examen écrit.

##### Travaux Pratiques (24h)

Extraction liquide-liquide : extraction du bleu de méthylène dans une colonne agitée (8h) ; distillation binaire : travail à reflux total et partiel, séparation eau-éthanol et eau-acide acétique (8h) ; thermodynamique des séparations : enthalpie de mélange, volume d'excès, ébulliométrie (8h).

### TYPE D'EVALUATION

Comptes Rendus des Travaux Pratiques, Examen écrit thermodynamique, examen écrit distillation, examen écrit séchage – air humide, travail maison séchage-air-humide

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : UE Thermodynamique et énergétique et UE Procédés de séparation I

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

Séparations thermiques en génie des procédés, distillation, air humide, séchage. Paris ; éditions Ellipses, 2021

Conseillées :

1. W.L. McCabe, J.C. Smith, P.Harriott. Unit Operations of Chemical Engineering. 7. New York : Mc-Fraw-Hill, 2005.
2. Perry's Chemical Engineers' Handbook. New York : Mc Graw-Hill, 2007, 8<sup>th</sup> edition. Ch.12, Psychrometry, Evaporative Cooling and Solids Drying ; Ch. 13, Distillation ; Ch. 14, Equipment for Distillation, Gas Absorption, Phase Dispersion and Phase Separation.
3. Mujumdar, A.S., [éd.]. Handbook of industrial drying. 3rd. Boca Raton : CRC Press, 2007.
4. Arlabosse, P. Séchage industriel, aspect pratiques. s.l. : Techniques de l'Ingénieur, 2008, Vol. J 2, 455.

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°1, 2, 3, 4, 5, 8, 11 et 13

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°9

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Process Systems Engineering (PSE)		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 5	S7 TRONC COMMUN

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

L'objectif de l'UE « Process Systems Engineering » ou PSE est de fournir aux élèves des éléments nécessaires pour la modélisation, la synthèse, l'analyse, la simulation, l'optimisation et la commande des systèmes, dans le but de concevoir et de gérer des procédés complexes et performants. Ces éléments concernent principalement la conception de procédés assistée par ordinateur (ou CPAO), l'optimisation, la dynamique et commande des procédés.

Le cours de CPAO vise à :

- Présenter des généralités sur la simulation et les simulateurs de procédés
- Montrer l'organisation des propriétés physico-chimiques dans les simulateurs
- Expliquer les méthodes de résolution numériques utilisées par les simulateurs
- Utiliser le logiciel de simulation statique PRO/II pour des applications

Le cours d'Optimisation vise à :

- Montrer comment poser un problème qui fait recours à l'optimisation statique
- Décrire les méthodes analytiques pour des problèmes d'optimisation avec contraintes d'égalité et d'inégalité
- Expliquer les principes des méthodes de recherche directe et de gradient. Fournir les algorithmes de résolution

Le cours de Dynamique et Commande des Procédés vise à :

- Faire acquérir la notion de dynamique des systèmes et de Distribution des Temps de Séjour
- Familiariser l'étudiant avec l'automatique de base des systèmes monovariables en temps continu
- Expliquer les techniques de régulation et de poursuite basées sur le PID et des techniques améliorées
- Montrer l'importance et les conséquences dynamiques de la commande sur les procédés

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue du cours de PSE, l'étudiant devrait être capable de :

- Simuler des unités simples et des procédés complexes
- Choisir et dimensionner des unités
- Avoir compris la classification des problèmes d'optimisation
- Savoir poser et résoudre un problème d'optimisation statique avec contraintes
- Optimiser le fonctionnement de procédés
- Connaître et savoir décrire le fonctionnement dynamique de systèmes linéaires
- Etablir des critères de performances de réacteurs réels en se basant sur la notion de DTS
- Maîtriser le vocabulaire et les concepts de l'automatique de base fondée sur la transformée de Laplace
- Etre capable de concevoir une boucle de rétroaction et de régler un régulateur PID
- Connaître des méthodes améliorées par rapport au régulateur PID

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

#### I. CPAO

1. Généralités sur la simulation et les simulateurs de procédés
  - 1.1. Eléments nécessaires pour la simulation de procédés
  - 1.2. Logiciels de simulation et leur structure

- 1.3. Interprétation des résultats de simulation
- 1.4. Unités fréquemment utilisées en simulation de procédés
- 2. Propriétés physico-chimiques dans les simulateurs
  - 2.1. Données constantes et données variables avec la température
  - 2.2. Modèles thermodynamiques et leur choix
- 3. Méthodes de résolution numériques utilisées par les simulateurs
  - 3.1. Méthode de substitution directe
  - 3.2. Méthode de Broyden
  - 3.3. Méthode de Wegstein
- 4. Applications sur le logiciel de simulation statique PRO/II
  - 4.1. Consultation des différentes banques de données
  - 4.2. Régression de données
  - 4.3. Calcul des équilibres liquide/vapeur
  - 4.4. Trains de compression/turbine
  - 4.5. Réacteurs chimiques
  - 4.6. Colonnes de distillation et d'extraction liquide/liquide
  - 4.7. Intégration thermique
  - 4.8. Analyse exergétique

## II. Optimisation

- 1. Méthodes analytiques d'optimisation
- 2. Méthodes numériques d'optimisation
- 3. Programmation linéaire
- 4. Programmation quadratique et programmation non linéaire

## III Dynamique et Commande des Procédés en temps continu

- 1. Modélisation dynamique des procédés
  - 1.1. Représentation d'état
  - 1.2. Fonctions de transfert
  - 1.3. Analyse fréquentielle
  - 1.4. Diagrammes de Bode
  - 1.5. Caractérisation d'un système par analyse fréquentielle
- 2. Etude des systèmes linéaires usuels en boucle ouverte
  - 2.1. Systèmes de premier ordre
  - 2.2. Systèmes de deuxième ordre
  - 2.3. Systèmes à retard pur
  - 2.4. Systèmes à paramètres distribués
- 3. Notion de Dynamique des Systèmes appliquée à la DTS
  - 3.1. Caractérisation et identification de réacteurs idéaux
  - 3.2. Modélisation de systèmes complexes
- 4. Commande linéaire à contre réaction
  - 4.1. Régulateur PID
  - 4.2. Dynamique des procédés commandés par contre réaction
- 5. Analyse de stabilité
  - 5.1. Analyse dans l'espace d'état
  - 5.2. Analyse de stabilité des systèmes à rétroaction
  - 5.3. Critère de stabilité de Bode et de Nyquist
- 6. Synthèse des régulateurs par bouclage
  - 6.1. Choix et réglage des régulateurs PID
  - 6.2. Amélioration des PID
  - 6.3. Commande par modèle interne
- 7. Amélioration des systèmes de commande
  - 7.1. Compensation du retard pur, de réponse inverse
  - 7.2. Commande en cascade, sélective, partagée, par anticipation ("feedforward")

## TYPE D'ÉVALUATION

CPAO:	Examen écrit de 2 heures en salles de calcul
Optimisation:	Examen écrit d'une heure et demie
Dynamique :	Examen écrit de 1 heure
Commande:	Examen écrit de 1 heure 30

## INFORMATIONS UTILES

### PREREQUIS :

CPAO : Thermodynamique - Génie de la réaction chimique - Opérations unitaires - Méthodes d'analyse numérique et d'optimisation

Optimisation : Méthodes d'analyse numérique. Usage d'une calculatrice programmable

Dynamique et Commande des Procédés : Bilans de matière et d'énergie

### LANGUE D'ENSEIGNEMENT :

CPAO : français

Optimisation : français

Dynamique et Commande des Procédés : français

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

#### Nécessaires :

CPAO : Polycopié du cours

Optimisation : Polycopié du cours

Dynamique des Systèmes : polycopié de cours

Commande des Procédés : Livre « Commande des procédés », Jean-Pierre Corriou, Lavoisier Tec&Doc (2003)

#### Conseillées :

1. Process flowsheeting (A.W.Westerberg, W.Hutchinson, R.Motard, P.Winter /Cambridge University Press, 1979)
2. Systematic methods of chemical process design (L.T.Biegler, I.E.Grossmann, A.W.Westerburg / Prentice Hall PTR, 1997)
3. Process design principles : synthesis, analysis, and evaluation ( W.D. Seider, J.D. Seader, D.R. Lewin /John Wiley & Sons, 1998)
4. Génie de la Réaction Chimique (J. Villiermaux, Tec et Doc, Lavoisier, 1993)
5. Méthodes numériques et optimisation (J.P.Corriou, Lavoisier Tec&Doc, 2010)

## CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°3

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°4

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Management et économie III		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 2	S7 TRONC COMMUN

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

L'enseignement vise à :

- Comprendre les enjeux et les principaux facteurs influençant la réussite d'un changement organisationnel.
- Identifier et gérer les résistances au changement
- Analyser les lois qui régissent la dynamique et le processus d'un changement

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue du module, l'étudiant devra être capable de :

- Accompagner un projet de changement en utilisant une approche managériale et des outils adéquats
- Structurer un projet de changement en identifiant les principales phases et actions à engager en fonction des problématiques de changement rencontrées
- Prendre en compte la dimension humaine : prendre en compte les valeurs, la culture, les résistances au changement au travers d'une démarche de participation, de communication et de formation/coaching dont l'objectif est de permettre la compréhension et l'acceptation par les individus des "nouvelles règles du jeu" résultant du processus de changement

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Management du changement :

- Les approches de la conduite du changement
- Les méthodes de changement
- Les facteurs de changement
- Les phases du changement
- Les résistances au changement
- Les causes de l'échec au changement
- Les lois dynamiques du changement
- Les lois de la propriété industrielle et la conduite du changement

Etude de cas de changement organisationnel

Connaissance de l'entreprise : Journée entreprise organisée conjointement par les directions des études, des relations industrielles et le service des relations extérieures (voir fiche UE « Management et économie I »). Grâce à cette journée, les étudiants de deuxième année approfondissent leurs connaissances des entreprises des divers secteurs industriels concernés par le recrutement de nos ingénieurs : énergie, pharmacie, bureaux d'étude et d'expertise, chimie des polymères, chimie des grands intermédiaire, chimie de spécialités, éco-environnement et agroalimentaire.

#### TYPE D'EVALUATION

Etude de cas de changement

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

1. Gérard Dominique CARTON, Éloge du changement, Village Mondial éd., 2ème édition, 2004.

Conseillées :

1. Christophe FAURIE, Conduite et mise en œuvre du changement – l'effet de levier, Maxima éd., 2003.
2. Raymond VAILLANCOURT, Le Temps de l'Incertitude - du changement personnel au changement organisationnel, Presses de l'Université du Québec, 2003.
3. David AUTISSIER & Jean-Michel MOUTOT, Pratiques de la conduite du changement -Comment passer du discours à l'action, Dunod, 2003
4. François DUPUY, Sociologie du changement – Pourquoi et comment changer les organisations, éditions Dunod, 2004.

**CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES**

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°6, 11, 12, 14

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Langues III		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 3	S7 TRONC COMMUN

### LVA : Anglais

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Permettre aux étudiants de devenir plus responsables de leur propre apprentissage
- Préparation au test TOEIC/TOEFL/IELTS. Développer des connaissances et compétences linguistiques pour obtenir un niveau minimum B2. (C1 : TOEIC 945+, TOEFL 95/120, IELTS 7)
- Développer des compétences professionnelles pour travailler en entreprise ou en laboratoire de recherche dans un contexte international (en France ou à l'étranger).
- Développer les compétences du 21<sup>e</sup> siècle : compétences en apprentissage et innovation, compétences en information, média et technologie, compétences sociales et professionnelles.
- Examiner les besoins et les enjeux de la société dans le cadre de la transition socio-écologique. Analyser les causes et conséquences du Changement Climatique et de l'effondrement de la biodiversité. Etablir le lien entre les sciences & technologies et une Société durable. Agir en tant qu'Ingénieur citoyen & scientifique à travers la langue anglaise.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, les élèves devront être capables de :

- Identifier leur niveau d'anglais et identifier les besoins pour atteindre un niveau minimum B2
- Travailler en binôme/équipe sur leurs objectifs et analyser les résultats atteints
- Utiliser un outil pour encadrer leur travail
- Comprendre le contenu essentiel de sujets concrets ou abstraits dans un texte complexe
- Communiquer avec un degré de spontanéité et d'aisance.
- S'exprimer de façon claire et détaillée sur une grande gamme de sujets.
- En option Module Conduite de réunion : animer une réunion, faire un compte rendu et utiliser le langage spécifique des réunions

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

- Définir leurs besoins pour améliorer leur niveau d'anglais et développer leurs compétences générales et professionnelles en anglais.
- Travailler en binôme/équipe pour la préparation/entraînement aux tests TOEIC/TOEFL /IELTS et s'auto-évaluer.
- Créer des activités et exercices d'application pour apprendre et mémoriser le vocabulaire, la grammaire et les expressions.
- En option Module Conduite de réunion :
- Qualité de la communication: analyser la participation dans une réunion, étudier le langage spécifique des réunions (l'ordre du jour, langage fonctionnel), faire un compte rendu, simulations, études de cas.
- Rédiger un rapport de travail.

#### TYPE D'EVALUATION

- Validation (note entre 3-5) : Rapport de projet personnel et appréciation de l'enseignant, conduite de réunion.
- Test blanc TOEIC.
- Rattrapage : Test blanc TOEIC, ou un travail personnel.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : niveau B1 minimum. (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : : Preparation For ToEIC , Bruce Rogers

## LVB

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Consolider le niveau A2 // B1 (groupes faibles), atteindre B2/C1 (groupes forts) (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)
- Développer les compétences professionnelles.

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, les élèves devront être capables de :

- Comprendre et restituer tout document écrit et audio/vidéo portant sur divers domaines : vie sociale, culturelle, économique, scientifique
- Rédiger, des résumés, des notes succinctes
- Interagir oralement en groupe, sous-groupe, ou binôme (restitution, échanges, débats, opinions, analyse), présenter un exposé PowerPoint
- S'exprimer sur des sujets complexes ou de la vie courante de façon claire et bien structurée, émettre un avis sur un problème, utiliser la langue de façon efficace et souple dans la vie académique et sociale,
- Comprendre une discussion dans son domaine professionnel, comprendre le contenu de sujets concrets ou abstraits - dans un texte, un programme audio et/ou vidéo - utilisant une langue « standard »,
- Ecrire les différentes phases d'un procédé, processus scientifique en utilisant le vocabulaire et syntaxe adéquats (*selon niveau du groupe*)
- Restituer dans ses grandes lignes tout document écrit et oral « authentiques » portant sur divers domaines : vie sociale, culturelle, professionnelle.

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

- Compréhension orale : Divers documents audio et vidéo authentiques, sites internet, chaînes d'informations.
- Compréhension écrite : résumés, articles de presse, extraits d'articles scientifiques, exercices de grammaire, de vocabulaire.
- Expression orale : restitution, débats, jeux de rôles, échanges, points de vue en utilisant des documents audio/vidéo et écrits comme sources, description des différentes phases d'un procédé, processus scientifique, présentations.
- Expression écrite : résumés, rapports, emails, essais.

### TYPE D'EVALUATION

- Validation : validation des compétences acquises : Tests de contrôle continu (oral et écrit)
- Rattrapage : Test oral et écrit

### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : niveau B1 minimum. (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : allemand / espagnol / français / italien / portugais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°13

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Ingénierie des médicaments		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S7

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Un principe actif est une molécule ou biomolécule qui, dans un médicament, possède un effet thérapeutique. Cette substance peut être de différentes natures et se trouve généralement en très faible proportion dans le médicament par rapport aux excipients.

Au cours des dernières années, de nouvelles techniques de synthèse de ces principes actifs ont vu le jour. L'unité d'enseignement optionnelle présentera le principe de l'ingénierie des médicaments.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de cette option, l'élève sera en mesure de comprendre et de maîtriser des techniques classiques mais également des techniques émergentes permettant l'élaboration de biomolécules et de principes actifs utilisés en recherche et développement dans l'industrie pharmaceutique.

Il pourra aussi comprendre l'intérêt de développer certaines familles de molécules et de pouvoir choisir la technique de synthèse optimale pour la production de certaines familles de biomolécules.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Le contenu sera le suivant :

- Stratégies de synthèse : totale, par fragments, synthèse classique, combinatoire, supportée, ...
- Applications à la synthèse de biomolécules (principes actifs) de type peptides, sucres, hétérocycles à visée thérapeutique.
- Techniques émergentes de synthèse, suivi en ligne.

La formation s'appuiera sur deux séances de cours et un microprojet réalisé en petit groupe :

- Cours de présentation des différentes techniques de synthèse par catégorie
- Cours de présentation des différentes familles de biomolécules et de certaines de leurs propriétés pharmaceutiques
- Microprojet avec rédaction d'une fiche technique : un petit groupe d'élèves choisira une des techniques présentées qu'il développera en fin de session lors d'un exposé oral ; il résumera également son travail sous forme d'une fiche technique afin de la diffuser en tant que support à l'ensemble du groupe.

#### TYPE D'EVALUATION

Soutenance orale et rédaction d'une fiche technique

Rattrapage : examen écrit

#### INFORMATIONS UTILES :

PREREQUIS :

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Génie photophysique et photochimique		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S7

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

La lumière dispose de possibilités de résolution spectrale, temporelle et spatiale. Ces qualités peuvent être exploitées pour des applications spécifiques en spectroscopies, biologie, synthèse ou pour des « nouvelles énergies ». L'objectif de ce cours est de présenter les concepts du domaine et d'examiner comment ils s'intègrent dans le développement d'applications (sans oublier les limites).

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES :

A l'issue de ce module, l'élève-ingénieur devrait être capable de :

- Comprendre les mécanismes mis en cause dans les procédés photophysiques et photochimiques
- Aborder l'usage de la photophysique comme méthode spectroscopique pour l'analyse chimique, biologique...
- Aborder des applications industrielles en photochimie sur de nouvelles énergies
- Illustrer le domaine comme sciences d'interface ouverte à l'interdisciplinarité

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT :

La formation s'appuie sur des séances de cours et un microprojet.

Le microprojet consiste à analyser une application de la photophysique ou de la photochimie.

Des intervenants extérieurs sont sollicités pour transmettre leur expérience aux élèves-ingénieurs.

#### TYPE D'EVALUATION :

- Elaboration d'un microprojet sur le thème de la photophysique ou du génie photochimique
- Examen final sur une partie du cours (1h30)
- Rattrapage : examen écrit

#### INFORMATIONS UTILES :

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°4

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Petite histoire des sciences		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S7

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Rarement évoquée dans les parcours post-baccalauréat, l'histoire des sciences et des techniques rend pourtant les théories nettement moins arides et donne un visage plus sympathique aux savants qui, à leur manière, vivent encore à nos côtés dans chacun de nos gestes quotidiens. L'objectif de cette option est de donner un aperçu global de l'histoire du développement de quelques-unes des grandes disciplines scientifiques des origines à nos jours.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'élève-ingénieur devrait être capable de situer les articulations chronologiques des théories et des applications pratiques relatives aux différents domaines envisagés parmi lesquels figureront chimie, mathématiques, mécanique et astronomie, lumière et couleurs, chaleur et énergie ainsi qu'électricité et magnétisme.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Le contenu de l'enseignement s'organisera autour d'une présentation chronologique et illustrée de l'évolution des idées et des techniques dans chaque domaine considéré, certaines parties du programme donnant lieu à divers gros plans. Quelques études de textes très ponctuelles agrémenteront les séances. Les étudiants se verront offrir la possibilité de découvrir les ouvrages d'époque présents dans les fonds anciens des bibliothèques des Facultés des Sciences et Technologies et de Médecine de Nancy. Une visite facultative du Musée des Arts et Métiers de Paris, institution rassemblant un grand nombre d'objets scientifiques historiques, sera enfin proposée un samedi, permettant ainsi d'évoquer plus concrètement l'histoire des techniques en complément du cours.

#### TYPE D'EVALUATION

Microprojet :

Exposé en petit groupe (3 ou 4 étudiants) sur un sujet d'histoire des sciences et des techniques au choix au sein d'une liste suggérée par l'enseignant ou proposé spontanément par les étudiants eux-mêmes selon leurs thèmes de prédilection

Rattrapage : examen écrit (1h30)

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°10

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Gestion financière et budgétaire		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S7

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Maitriser les acquis théoriques de base en connaissances de l'entreprise
- Définir correctement les notions et concepts de base de l'économie financière, et entrepreneuriale.
- Recueillir et traiter des informations en fonction d'une recherche
- Produire un exposé correct des mécanismes sur l'actualité microéconomique, financière
- Analyser et synthétiser des informations
- Résoudre des problèmes pour lesquels les savoirs, concepts et procédures appris sont maîtrisés

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin du module, l'étudiant devrait être capable de :

- D'établir un budget prévisionnel
- D'identifier et d'optimiser les sources de financement d'un investissement : crédit-bail, emprunts, ou fonds propres...
- De savoir calculer le coût d'un produit (bien ou service)
- D'identifier et de comprendre la nature des crises financières dans le monde

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

La formation s'appuie sur des séances de cours/TD (traité par des études de cas) et sur un microprojet

#### TYPE D'EVALUATION

Les différentes épreuves d'évaluation : exposés par groupe de 4 à 5 étudiants sur un thème qui relève de l'actualité financière et ou d'un point du cours, et évaluation sur la connaissance, et compréhension du cours, sous forme d'étude de cas, ont pour but de vérifier si les différents savoirs et compétences issus de l'actualité économique, financière, commerciale sont acquis.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Gestion financière de l'entreprise (Dov Ogien Dunod), et la PQN en finance

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°12

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Microfluidique		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S7

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

La microfluidique est un domaine actuellement en plein essors. Ses applications sont très diverses : elles vont des procédés intensifiés aux analyses médicales en passant par la chimie verte et l'encapsulation des principes actifs pour des applications pharmaceutiques.

Un des intérêts majeurs de la microfluidique réside dans la très bonne maîtrise des conditions opératoires (températures, débits, concentration, temps de séjour...) ce qui permet aussi bien d'optimiser les rendements que d'avoir une qualité de produits et une reproductibilité inégalable par d'autres procédés.

Le but de ce module est (i) de donner une vue de l'étendue des applications possibles de la microfluidique (ii) de sensibiliser le participant aux problématiques nouvelles apparaissant pour les écoulements à micro-échelle et de donner les ordres de grandeurs concernés (iii) de donner quelques exemples de procédés industriels utilisant la microfluidique

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

- Donner une réelle culture de ce qui se fait dans le domaine de la microfluidique et notamment de souligner l'étendue des domaines concernés
- A partir d'exemples, on essayera de donner les ordres de grandeurs rencontrés : écoulements souvent à bas nombre de Reynolds, échanges de chaleur facilités par un rapport surface/volume très favorable, temps de séjours bien contrôlés, problèmes de tension interfaciale et de mouillage
- Le génie des procédés à l'échelle de la microfluidique
- Exemples spécifiques de procédés industriels microfluidiques

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

La méthode d'enseignement se fera par des cours/TD. Un microprojet sera aussi demandé.

- Présentation des différentes méthodes de fabrication
- Manipulation de gouttes / utilité pour les applications médicales
- Hydrodynamique, transferts à l'échelle micrométrique et mécanismes physiques en jeux
- La microfluidique comme réacteur
- Applications dans le domaine de l'analyse et de santé
- Applications aux procédés industriels : un certain nombre de procédés industriels basés sur la microfluidique seront traités en détails

#### TYPE D'EVALUATION

Examen et Microprojet

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français (ou anglais)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°4

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Biopolymères et polymères biodégradables</b>	<b>OPTIONNEL</b>
	<b>CREDITS ECTS 1</b>
	<b>S7</b>

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'ELEMENT CONSTITUTIF

L'option « Biopolymères et polymères biodégradables » s'attache à :

- Décrire les polymères d'origine naturelle (biopolymères) les plus importants dans le domaine des matériaux ainsi que leurs principales applications
- Présenter les principaux polymères biodégradables développés dans l'industrie issus de ressources pétrochimiques ou, plus récemment, de ressources renouvelables
- Illustrer une démarche exemplaire de développement de polymères techniques biosourcés

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'étudiant(e) sera capable de :

- Identifier les biopolymères et polymères biodégradables les importants dans l'industrie
- Savoir tirer parti de leurs avantages et limites spécifiques pour une application donnée
- Définir les enjeux et les défis pour le développement de nouveaux biopolymères et polymères biodégradables dans l'industrie
- Contribuer au développement de nouveaux matériaux polymères dans le cadre du développement durable

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Les polymères d'origine naturelle (biopolymères) seront tout d'abord présentés en se limitant au domaine des matériaux où ils représentent généralement des enjeux importants. Les polymères biodégradables d'origine synthétique connaissent également un développement sans précédent, qui devrait s'intensifier dans les années futures. En particulier, certains d'entre eux peuvent être obtenus à partir de ressources renouvelables et pourraient représenter à terme des alternatives intéressantes aux polymères issus de la pétrochimie. Les grandes classes de polymères biodégradables synthétiques récemment développées par les industriels seront présentées ainsi que leurs principales applications dans des secteurs clés. Les perspectives et les enjeux industriels des nouveaux matériaux plastiques biosourcés et/ou biodégradables de moindre impact sur l'environnement seront finalement discutés dans l'optique du développement durable.

Cet enseignement associera la présentation/discussion de diapositives de cours, à celle de plusieurs contenus disponibles en ligne et sélectionnés notamment sur les sites internet des industriels leaders dans le domaine des biopolymères et/ou polymères biodégradables. Une conférence industrielle permettra également de présenter les développements industriels exemplaires réalisés par la société Arkema dans le domaine des polymères techniques biosourcés.

#### TYPE D'EVALUATION

Etude de cas industriels avec documents autorisés en 1h.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Connaissances de base sur les polymères et la chimie de polymérisation

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

TELEPHONES PORTABLES: Utilisation non autorisée

REFERENCES DISPONIBLES A LA MEDIATHEQUE DE L'ENSIC :

- Scott G., Polymers and the environment, RSC Paperbacks, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1999, 132.

- Stevens, E. S., Green Plastics: An Introduction to the New Science of Biodegradable Plastics, Princeton University Press, Princeton, 2001.
- Rinaudo M., Les polymères naturels : structure, modification, applications, Initiation à la Science des Polymères Vol 13 du Groupe Français d'Etudes et d'application des Polymères, 2000.

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition des compétences n°4, 10

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Intelligence Artificielle (IA) pour le génie des procédés – Premier contact		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S7

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

L'option « IA pour le génie des procédés – Premier contact » vise à :

- Expliquer la conception des différentes techniques de modélisation (ex., basées sur les données, phénoménologiques, ...) qui peuvent s'appliquer selon le problème traité et illustrer leurs principaux avantages et inconvénients.
- Donner un panorama de ce qui est fait actuellement en milieu industriel dans le cadre de « l'industrie du futur ».
- Présenter une vue d'ensemble des méthodes de traitement de données et d'apprentissage automatique (« Intelligence Artificielle », « Machine Learning », « Deep Learning »), supervisé ou non-supervisé.
- Décrire quelques méthodes emblématiques de régression et de classification.
- Mettre en œuvre ces méthodes sur des cas concrets de Génie des Procédés, en utilisant l'environnement Matlab.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin de l'option, les étudiants devront être capables de :

- Avoir une vision globale des approches d'apprentissage automatique.
- Comprendre quels sont les caractéristiques et les étapes principales de traitement d'un jeu de données.
  - Comprendre pour quelles raisons on développe un modèle d'apprentissage et quelles sont les étapes à suivre.
  - Distinguer et comprendre le principe, l'utilité et l'applicabilité des différentes approches de modélisation (ex. empirique/mécanistique, déterministe/stochastique, etc.).
  - Connaître ce qu'est un Réseau de Neurones et quelles sont leurs caractéristiques principales.
- Appliquer les principales méthodes dans un environnement logiciel adapté.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Les séances sont exclusivement réalisées sur ordinateur en salle informatique, en utilisant les fonctions et toolbox dédiées à l'apprentissage machine dans l'environnement Matlab.

#### TYPE D'EVALUATION

Contrôle individuel sur machine ou QCM (1h)

#### INFORMATIONS UTILES

**PREREQUIS :** UE Informatique, méthodes numériques et statistiques (S5, EC Méthodes statistiques, EC Informatique pour l'ingénieur des industries chimiques I) et UE Systèmes réactifs et Informatique (S6, EC Informatique pour l'ingénieur des industries chimiques II).

**LANGUE D'ENSEIGNEMENT :** français ou anglais

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :**

1. Chloé-Agathe Azencott, « Introduction au machine learning », Ed. Dunod, 2018.
2. Stéphane Tufféry, « Big Data, Machine Learning et apprentissage profond », Ed. Technip, 2019.
3. Ian Goodfellow, « L'apprentissage profond », Massot Editions, 2018.
4. Charu C. Aggarwal, « Data mining – the textbook », Ed. Springer, 2015.

**Nécessaires :** Documents photocopiés ou diapos distribués, fichiers de données distribués via ARCHE.

**Conseillées :** Voir références bibliographiques.

## CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°3

Les enseignements de cette option contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°4

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Procédés hydrométallurgiques		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S7

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Présenter aux étudiants les procédés hydrométallurgiques, en pleine expansion, afin de répondre aux besoins initiés par la 3ème révolution industrielle – la révolution minérale actuellement amorcée, afin de répondre aux besoins de demain. Plusieurs techniques et éléments seront traités :

- La 3ème révolution industrielle – enjeux industriels, économiques, géopolitiques, écologiques, sociétaux,
- Procédés de précipitation, appliqués à l'hydrométallurgie,
- Extraction Liquide/liquide appliqués à l'hydrométallurgie,
- Procédés électrochimiques appliqués à l'hydrométallurgie,
- Procédés de séparation par résines échangeuses d'ions.

Les intervenants sont des membres du Groupement de Recherche PROMETHEE – gdr-promethee.cnrs.fr

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin de l'étude de chacun des thèmes traités les étudiants devront être capables de :

- Avoir une vision globale du contexte, des enjeux industriels, économiques et géopolitiques soulevés par la révolution minérale,
- Comprendre les différentes opérations unitaires relevant de l'hydrométallurgie : lixiviation, précipitation, électrodéposition, électrodéionisation, extractions liquide/liquide et liquide/solide

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

##### Cours et Travaux Dirigés

La 3ème révolution industrielle – enjeux industriels, économiques, géopolitiques, écologiques, sociétaux  
2 h cours ; 1h examen écrit.

##### Procédés de précipitation appliqués à l'hydrométallurgie

1 séance de cours (30 min) ; 1 séance de TD (1h) : condition d'équilibre entre phases liquides et solides, dimensionnement des réacteurs de cristallisation par refroidissement et par évaporation ; 1h examen écrit.

##### Extraction Liquide/liquide appliqués à l'hydrométallurgie

1 séance de cours (1h) ; 1 séance de TD (2h) : séparation de métaux par procédé d'extraction liquide-liquide ; choix des extractants ; 1h examen écrit.

##### Procédés électrochimiques appliqués à l'hydrométallurgie,

1 séance de cours (1h) ; 1 séance de TD (2h) : procédés d'électrodéposition, séparations de métaux par procédés électrochimiques ; 1h examen écrit.

##### Procédés de séparation par résines échangeuses d'ions.

1 séance de cours (30 min) ; 1 séance de TD (1h) : condition d'équilibre entre phases liquides et solides ; extraction liquide – solide ; exemples de procédés innovants ; 1h examen écrit.

#### TYPE D'EVALUATION

Examen écrit

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Chimie Minérale, Procédés d'extraction liquide/liquide, Chimie en solution (équilibres thermodynamiques), Bilan matière & masse, Transfert de matière.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

Documents photocopiés distribués

Conseillées :

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition des compétences n°4, 10

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : La transition énergétique et industrielle		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S7

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Comprendre les causes et conséquences du réchauffement climatique, et plus particulièrement les liens entre climat, énergie, industrie & économie.

Appréhender la transition énergétique, industrielle et économique nécessaire à la mitigation du réchauffement climatique.

Préciser le rôle de l'ingénieur et des entreprises pour décarboner l'industrie de Procédés

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

Les étudiants devront être capables :

- De développer une vision scientifique, systémique et critique :
  - o des enjeux liés au réchauffement climatique,
  - o de la transition énergétique & industrielle,
  - o des moyens techniques permettant de décarboner l'industrie : Sobriété énergétique et matière, Efficacité énergétique, Cogénération/Trigénération, Recyclage/Valorisation des déchets, Alternative aux ressources fossiles pour l'approvisionnement en matière et en énergie (bio-économie, H<sub>2</sub> bas carbone, électrification).
- D'exposer un de ces sujets de manière synthétique, convaincante et ouverte au débat contradictoire

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Ateliers et présentations :

**Atelier La Fresque du Climat** (basé sur les travaux scientifiques du GIEC, La Fresque du Climat est l'atelier collaboratif de référence pour comprendre collectivement les enjeux du changement climatique).  
3 h d'atelier participatif avec des enseignants de l'ENSIC.

**Atelier En-Roads du MIT** (outil informatique qui permet de simuler les conséquences sur le climat de nos choix politiques, économiques & techniques)  
3h d'atelier participatif avec un intervenant de l'Université de Lorraine.

**Présentation orale en groupe :**

Deux séances de 3h sont organisées avec le schéma suivant : Exposé d'un sujet particulier par un groupe de 3 à 4 étudiants durant 30 min, puis débat de 30 min entre les étudiants, plusieurs enseignants et des invités extérieurs. Les différents sujets de ces exposés seront définis au préalable (au moins 6 semaines à l'avance). A l'issue de chaque séance, les groupes d'étudiants concernés sont évalués.

### TYPE D'EVALUATION

Soutenance orale : L'évaluation porte sur différentes compétences : qualité de la revue bibliographique, approche scientifique et systémique du sujet, esprit de synthèse, esprit critique, rhétorique, capacité à organiser le débat et à répondre aux questions.

### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : THERMODYNAMIQUE, BILANS, PROCEDES.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

Conseillées :

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°9

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Conférences Industrie, Environnement & Société II		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 1	S7

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Découvrir avec des professionnels externes (académiques ou industriels) :
  - o Certains enjeux socio-environnementaux
  - o Différents domaines industriels liés à l'ENSIC.
- Illustrer l'utilisation des compétences de l'ingénieur en génie chimique dans le monde industriel
- Introduire les parcours du semestre 8 (procédés, produits, biotechnologie) par des conférences d'industriels travaillant dans ces 3 secteurs

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin du module, l'étudiant devrait être capable de :

- Identifier certains sujets socio-environnementaux
- Appréhender la diversité du monde industriel et de ses pratiques professionnelles
- Déterminer le rôle de l'ingénieur dans le monde socio-économique
- Orienter son parcours académique en conséquence, ainsi que ses choix de stage, voire de poursuite d'études

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

La formation s'appuie sur :

- 8h de conférences obligatoires de professionnels sur les sujets socio-environnementaux. Par exemple :
  - o Sols, Ressources alimentaires, Agrochimie
  - o Ressources minérales et métallurgiques
  - o Biodiversité & Services écosystémiques
  - o Règlementation environnementale
- 8h de conférences industrielles à choisir parmi différents secteurs (par exemple : Energie, Santé, Chimie, Sécurité, Cosmétique, Traitement des déchets...).

#### TYPE D'EVALUATION

Présence obligatoire. Projet sur table en cas de rattrapage.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : aucune

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°9, 14

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°10



## ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 8

Correspondant pédagogique : Rainier HREIZ

### ORGANISATION GENERALE

<i>Intitulé de l'unité d'enseignement et de ses éléments constitutifs</i>	<i>Responsable</i>	<i>H</i>	<i>CM</i>	<i>TD</i>	<i>TP</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>Ex</i>	<i>ECTS</i>
<b>Management et économie IV</b>	Vera IVANAJ	40	16	16	8				2
<b>Langues IV</b>	E. KASMAREK/M. ADRIAN	44		44					2
<i>Anglais</i>	E. KASMAREK/M. ADRIAN			24					
<i>LV B</i>	E. KASMAREK/M. ADRIAN			20					
<b>Projet industriel</b>	Sabine RODE / Jean-François PORTHA	35,5	4,5	12		18		1	6
<i>Projet industriel</i>	Sabine RODE					18			
<i>Evaluation technico-économique des procédés</i>	Laurent FALK		2	9				1	
<i>Analyse du pincement</i>	Romain PRIVAT/Jean-François PORTHA		2,5	3					
<b>Stage ouvrier</b>	Laurent PERRIN								4
<b>Projet d'ouverture</b>	Valérie Henry	26				6	20		3
<b>Options</b>		18							1
<b>Parcours de spécialisation</b>		156							12
<b>TOTAL</b>		<b>319</b>							<b>30</b>

### OPTIONS

<i>Intitulé de l'option</i>	<i>Responsable</i>	<i>H</i>	<i>CM</i>	<i>TD</i>	<i>TP</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>Ex</i>	<i>ECTS</i>
<b>Fonctionnalisation de surface et applications</b>	Halima ALEM MARCHAND	18	7	8		2		1	1
<b>Aérosols et sécurité</b>	Olivier DUFAUD	18	7	8		2		1	1
<b>Matériaux organiques intelligents: concepts et applications industrielles</b>	Guillaume PICKAERT	18	7	8		2		1	1
<b>Thermodynamique des solutions avancées</b>	Jean-Noël JAUBERT	18	7	8		2		1	1
<b>Méthodologie de traitement des déchets industriels</b>	Alexandra GIGANTE	18	7	8		2		1	1
<b>Produits pour la santé</b>	Cécile NOUVEL	18	7	8		2		1	1
<b>Procédés industriels de polymérisation et développement durable</b>	Alain DURAND	18	7	8		2		1	1
<b>Les nano-objets polymères : synthèses, caractérisations et applications</b>	Khalid FERJI	18	7	8		2		1	1
<b>IA pour le génie des procédés – Initiation</b>	Jean-Marc COMMENGE	18	7	8		2		1	1
<b>Stratégie : développement durable pour l'Industrie</b>	Christian BOUIGEON	18	7	8		2		1	1
<b>Outils de simulation et de décision pour les énergies et matériaux de la transition</b>	Jérémie UNTERBERGER	18	7	8		2		1	1

### PARCOURS DE SPECIALISATION : Procédés pour l'énergie et l'environnement

Responsable : Sabine RODE

<b>Intitulé de l'Unité d'Enseignement et de ses éléments constitutifs</b>	<b>Responsable</b>	<b>H</b>	<b>CM</b>	<b>TD</b>	<b>TP</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>Ex</b>	<b>ECTS</b>
<b>Réacteurs et séparations polyphasiques</b>	Eric SCHAER	60	26	29,5				4,5	4
<i>Génie catalytique</i>	Eric SCHAER		6	4,5				1,5	
<i>Opérations unitaires polyphasiques</i>	Sabine RODE		8	14,5				1,5	
<i>Cristallisation</i>	Marie LE PAGE MOSTEFA		6	4,5				1,5	
<i>Procédés chromatographiques</i>	Eric FAVRE		6	6					
<b>Procédés Durables</b>	Laurent PERRIN	36	15,5	4		7,5	6	3	4
<i>Analyse du cycle de vie</i>	Jean-François PORTHA		3,5	4				1,5	
<i>Sécurité des procédés et environnement</i>	Laurent PERRIN		12				6	1,5	
<i>Projet Sécurité</i>	Laurent PERRIN					7,5			
<b>Conception et simulation de procédés</b>	Romain PRIVAT	58,5	20	34				4,5	4
<i>Thermodynamique énergétique avancée</i>	Jean-Noël JAUBERT		6,5	17				1,5	
<i>Distillation avancée</i>	Sabine RODE		8,5	11				2	
<i>Simulation dynamique des procédés</i>	Abderrazak LATIFI		5	6				1	
<b>TOTAL</b>		<b>154</b>							<b>12</b>

#### PARCOURS DE SPECIALISATION : Produits innovants : de la chimie aux procédés

Responsable : Cécile NOUVEL

<b>Intitulé de l'unité d'enseignement et de ses éléments constitutifs</b>	<b>Responsable</b>	<b>H</b>	<b>CM</b>	<b>TD</b>	<b>TP</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>Ex</b>	<b>ECTS</b>
<b>Produits micro- et nanostructurés</b>	Véronique SADTLER	60	51	5,5			2	1,5	4
<i>Physico-chimie et formulation des systèmes polyphasiques fluides</i>	Véronique SADTLER		21	3,5			2	1,5	
<i>Procédés pour les systèmes fluides dispersés</i>	Huai-Zhi LI		17	2					
<i>Micro et nanoparticules</i>	Laurent MARCHAL- HEUSSLER		13						
<b>Introduction au génie des produits</b>	Alain DURAND	36	17	8,5		7,5		3	4
<i>Analyse du cycle de vie</i>	Jean-François PORTHA		3,5	4				1,5	
<i>Procédés discontinus</i>	Eric SCHAER		6	4,5				1,5	
<i>Du génie des procédés au génie des produits</i>	Alain DURAND		7,5			7,5			
<b>Des molécules aux produits</b>	Cécile NOUVEL	60	18	15,5	24			2,5	4
<i>TP produits formulés</i>	Véronique SADTLER				24				
<i>Rhéologie</i>	Cécile LEMAITRE		7,5	3,5				1	
<i>Structure des molécules et propriétés d'usage</i>	Cécile NOUVEL		10,5	12				1,5	
<b>TOTAL</b>		<b>156</b>							<b>12</b>

#### PARCOURS DE SPECIALISATION : Procédés pour les biotechnologies

Responsable : Nouceiba ADOUANI

<b>Intitulé de l'unité d'enseignement et de ses éléments constitutifs</b>	<b>Responsable</b>	<b>H</b>	<b>CM</b>	<b>TD</b>	<b>TP</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>Ex</b>	<b>ECTS</b>
<b>Introduction aux sciences biologiques</b>	Marie-Christine AVERLANT PETIT	60	39	18				3	4
<i>Biomolécules : Introduction aux sciences biologiques</i>	Marie-Christine AVERLANT PETIT		24	3				1,5	
<i>Méthodes analytiques à l'échelle du laboratoire</i>	Cécile NOUVEL		15	15				1,5	
<b>Biocatalyseurs et bioréacteurs</b>	Nouceiba ADOUANI	36	18	9		6		3	4

<i>Biocatalyseurs et bioréacteurs</i>	Nouceiba ADOUANI		6	6				1,5	
<i>Réacteurs multiphasiques et rhéologie</i>	Eric OLMOS		12	3				1,5	
<i>Projet bioréacteurs</i>	Nouceiba ADOUANI					6			
<b>Bioséparations</b>	Eric FAVRE	60	18	18	20			4	4
<i>TP Biotechnologie</i>	Cécile NOUVEL//Carole ARNAL-HERAULT				20				
<i>Procédés membranaires</i>	Eric FAVRE		6	6				1	
<i>Procédés chromatographiques</i>	Christophe CASTEL/Laurence MUHR		9	7,5				1,5	
<i>Cristallisation</i>	Eric SCHAER		3	4,5				1,5	
<b>TOTAL</b>		<b>156</b>							<b>12</b>

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Management et économie IV		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 2	S8 TRONC COMMUN

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Décrire et comprendre le processus d'innovation technologique en milieu industriel
- Identifier les facteurs favorables et défavorables à la réussite d'une innovation technologique d'un point de vue stratégique, organisationnel, culturel et scientifique
- Concevoir et développer un produit ou un procédé innovant en mobilisant les outils et les principes du management de projet
- Construire un plan d'affaire en développant les différents aspects liés au projet : la concurrence, les fournisseurs, les clients, le budget prévisionnel, la technologie, les aspects juridiques, etc.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

- Maîtriser le processus de création d'un produit ou d'un service nouveau à partir de l'émergence de l'idée jusqu'à sa réalisation
- Construire un plan d'affaires, estimer et mesurer les principaux paramètres internes (humains, matériels et financiers, etc.) et externes (marché, partenaires, réglementations, etc.)
- Mettre en œuvre une stratégie de développement de l'activité à court, moyen et long terme

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

- Management des projets innovants
  - Le projet : définition, objectifs, acteurs
  - Plan de financement / Stratégie de projet
  - Construction du projet
  - Communication / Financement de projet
  - Evaluation des projets
  - Présentation des projets
- Simulation d'une situation de management d'un projet de création d'entreprise durant une semaine en combinant conception et réalisation

#### Les divers métiers de l'ingénieur : Journée métiers - carrière

Cette journée est organisée conjointement par la direction des études, l'association amicale des Anciens élèves et des représentants étudiants (voir fiche module « Management et économie II »).

Des tables rondes et des entretiens individualisés avec de nombreux partenaires industriels permettent aux étudiants de deuxième année de mieux connaître et ainsi de définir plus précisément les carrières et métiers qui leur sont accessibles après l'obtention du diplôme.

#### TYPE D'EVALUATION

Evaluation du projet préparé et présenté oralement

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Connaissance de l'entreprise

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°11

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Langues IV		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 2	S8 TRONC COMMUN

### LVA : anglais

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Développer les compétences langagières pour atteindre/maintenir le niveau B1/B2/C1/C2 (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)
- Développer des compétences professionnelles pour travailler en entreprise ou en laboratoire de recherche dans un contexte international (en France ou à l'étranger).
- Développer les compétences du 21<sup>e</sup> siècle : Compétences en apprentissage et innovation, compétences en information, média et technologie, compétences sociales et professionnelles.
- Présentations orales de procédés industriels incluant et insistant sur le contexte environnemental.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, les élèves devront être capables de :

- Comprendre tout document écrit relatif au domaine scientifique, savoir rédiger un « résumé étendu »
- Présenter oralement, en temps limité, un poster scientifique, dans leur futur domaine professionnel,
- Présenter un sujet avec power point de manière claire et méthodique et répondre aux questions difficiles

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

- Articles, publications scientifiques (génie chimique, génie de procédés, génie des produits, autres sciences) décrivant des procédés, présentant des « résumés étendus », des abstracts, des méthodes, des résultats, des graphiques : le style, les temps, les marqueurs séquentiels, les mots de liaison, le vocabulaire etc.... Exercices d'application.
- Utilisation de documents audio et vidéo en général issus de l'industrie présentant des systèmes/ procédés. Analyse de posters utilisés lors de colloques scientifiques.
- Etude de la structure d'une présentation, utilisation de la voix, apprendre à faire des transitions entre les différentes parties de sa présentation, utilisation de supports visuels : parler de chiffres ; tendances; prévisions ; résultats ; décrire un graphique, expressions pour une bonne conclusion. Maîtriser la réponse aux questions.
- Faire une présentation : filmer et visionner permettront de s'auto évaluer et de prendre conscience de ses faiblesses afin de les travailler : langage, posture gestuelle, élocution.
- Ecrire un résumé d'un procédé lors de présentations de posters.

#### TYPE D'EVALUATION

- Validation (note entre 3-5) :1) présentation powerpoint, 2) présentation d'un poster scientifique, 3)résumés écrits d'un procédé.
- Rattrapage : Présentation poster ou powerpoint ou résumés écrits d'un procédé.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Niveau B2 minimum.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

## LVB

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Développer les compétences langagières pour atteindre/maintenir le niveau B1/B2/C1/C2 (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)
- Développer les compétences professionnelles.

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, les élèves devront être capables de :

- Maîtriser les champs lexicaux, sémantiques et grammaticaux,
- Comprendre et restituer des documents écrits, audio/vidéo portant sur divers domaines : vie culturelle, sociale, économique, savoir rédiger des résumés, des notes succinctes,
- Interagir oralement en groupe, sous-groupe, ou binôme (restitution, échanges, débats, opinions, analyse), expression sur des sujets complexes de façon claire et bien structurée et contrôle des outils d'organisation, d'articulation et de cohésion du discours,
- Comprendre tout document écrit relatif au domaine scientifique, savoir en rédiger des parties (introduction, conclusion ou abstract par exemple), avec un choix sémantique approprié et un bon contrôle grammatical, lexical et sémantique,
- Présenter un sujet avec power point de manière claire et méthodique
- Rédiger un C.V., une lettre de motivation, un e-mail.
- Décrire les différentes phases d'un processus ou un système.
- Se préparer pour un entretien d'embauche

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

- Utilisation de divers documents - écrits, vidéos, audios, sites internet avec entraînement à l'oral par le biais de « pair work », discussions, jeux-de rôles, simulations, portant sur divers domaines : vie sociale, culturelle, économique, scientifique.
- Présenter un sujet avec power point
- Simuler un entretien d'embauche
- Langage fonctionnel pour rédaction de CV, lettres de motivation, e-mails formels, informels. Vocabulaire et termes propres à l'ENSIC
- Langage fonctionnel pour décrire les différentes phases d'un processus ou un système
- Divers exercices de préparation et d'entraînement aux diplômes internationaux (ex : Instituto Cervantes) dans toutes les aptitudes,
- Préparation à la prise de parole en public, exploitation de documents (écrit et audio) afin de travailler la structure, les expressions nécessaires, la description d'un graphique, le contenu et l'utilisation des slides sur powerpoint, la gestion du non-verbal.

### TYPE D'EVALUATION

- Validation : validation des compétences acquises : divers tests de contrôle continu (oral et écrit)
- Tests de niveau : compréhension orale et écrite
- Rattrapage : Test oral et écrit

### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : niveau B2 minimum (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : allemand, espagnol, italien, français, portugais.

Références bibliographiques :

Nécessaires :

### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°13

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°10

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Projet industriel</b>		<b>OBLIGATOIRE</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> 6	<b>S8 TRONC COMMUN</b>

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le projet vise à :

- Concevoir un procédé de production industriel dans un cadre de travail collectif et en autonomie
- Interagir avec des experts académiques et avec des ingénieurs travaillant dans l'industrie
- Apprendre à rédiger un document scientifique en langue anglaise

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin du projet l'étudiant devrait être capable de :

- Avoir une vue synthétique des enseignements de tronc commun
- Savoir chercher des informations scientifiques nécessaires à la résolution d'un problème
- Choisir une méthodologie permettant de concevoir un procédé
- Echanger des données et des résultats scientifiques avec des pairs
- S'organiser avec des pairs dans un contexte de travail collectif
- Rédiger un document scientifique en langue anglaise

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Le projet de conception met en œuvre une méthodologie d'apprentissage intégrée, proposant un problème ouvert. Il s'agit de la conception d'un procédé de production industriel comportant les étapes suivantes : choix du procédé, choix des conditions opératoires, recherche de données (techniques, physico-chimiques), bilans globaux, dimensionnement détaillé d'équipements sélectionnés, analyse technico-économique. Plusieurs sujets sont proposés chaque année en collaboration avec des partenaires industriels. Les élèves travaillent par groupe de cinq.

Le travail est encadré en grande partie par des ingénieurs travaillant dans l'industrie.

Le projet est évalué par un rapport rédigé en anglais et une soutenance.

La qualité linguistique est évaluée par des enseignants de langues

Un sujet dédié est proposé aux élèves suivant la filière Pharma plus.

#### TYPE D'EVALUATION

Evaluation sur les rapports écrits et sur les exposés oraux.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : connaissances en génie chimique

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français, anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : Documents distribués aux élèves ; bases de données scientifiques

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°3, 4, 7

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°6, 10, 13

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Stage ouvrier		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S8 TRONC COMMUN

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Ce stage revêt la forme d'un stage opérateur, il a pour objectif principal de permettre à l'élève-ingénieur de prendre contact avec la vie professionnelle et de jauger ses propres facultés d'adaptation. Ce stage a surtout pour but de mettre l'élève-ingénieur dans une position d'observateur privilégié de la vie de l'entreprise sous tous ses aspects, mais ceci dans une situation participante.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

Le thème principal du stage porte sur la santé et la sécurité au travail.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Les enseignements préparant au stage ouvrier font partie des UE Management et économie I et II.

Ce stage correspond à 120 heures de travail personnel encadré par tuteur industriel.

#### TYPE D'EVALUATION

Rapport de stage

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : UE Management et économie I - S5 et Management et économie II - S6

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Cette UE contribue directement à l'acquisition des compétences n°2, 6, 7, 8, 11, 13, 14

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <b>Projet d'ouverture sociétale</b>		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 3	S8 TRONC COMMUN

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le module vise à :

- Permettre aux étudiants de sortir du cadre scolaire pour gérer un projet qui leur tient à cœur. Ce projet comportera une dimension sociétale en prenant en compte les besoins de la société et comportera des aspects environnementaux et/ou sociaux et/ou éthiques.
- Appliquer sur un cas pratique les outils de gestion de projet vus en cours
- Devenir chef de projet : encadrer un groupe, gérer un budget, un planning, contrôler et ajuster
- Tester ses propres limites et mieux se connaître
- Mettre en avant ses capacités d'innovation et d'inventivité
- Enrichir et différencier son CV par une expérience originale

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES :

A la fin du projet l'étudiant devrait être capable de :

- Définir de manière synthétique un projet
- Concevoir un projet dans son ensemble, en définir les acteurs, la planification, la budgétisation et les objectifs attendus, les risques, leur priorisation et leur prévention
- Mettre en œuvre l'action en tant que chef de projet
- Auto-évaluer les actions entreprises et les résultats livrés, développer son esprit critique, synthétiser son retour d'expérience
- Valoriser le travail réalisé à l'écrit (rapport) comme à l'oral (soutenance)

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT :

##### Conférence sur la gestion de projet :

- Une conférence introductive pour présenter les attentes vis-à-vis du module et les outils de gestion de projet
- Chaque étudiant définit ensuite, seul ou en groupe, le projet sur lequel il souhaite travailler. Le responsable pédagogique valide la définition du projet et attribue à chaque projet un tuteur.
- Durant l'année, plusieurs conférences sur des thématiques variées permettent aux étudiants d'élargir le spectre de leurs connaissances et de nourrir leur réflexion par rapport à leur projet.
- Régulièrement, chaque étudiant ou groupe d'étudiants est amené à rencontrer le tuteur-projet pour faire le point quant à l'avancement du projet, les résultats obtenus et les questions éventuelles.

##### Simulations d'entretien :

- Apprendre à se présenter, à identifier et valoriser ses compétences au travers de deux ateliers « Pitch » et « Compétences »
- Entretiens d'embauche : à partir d'un dossier de candidature à une offre d'emploi sélectionnée par les étudiants, deux entretiens d'embauche sont simulés auprès de professionnel de l'industrie. Ces entretiens sont suivis d'un retour comprenant une synthèse et des conseils.

#### TYPE D'EVALUATION :

Rapport écrit et soutenance orale devant jury

**INFORMATIONS UTILES :**

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT: français

**CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES**

Cette UE contribue directement à l'acquisition des compétences n°10, 12, 14

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Fonctionnalisation de surface et applications</b>		<b>OPTIONNEL</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> 1	<b>S8</b>

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Dans tous les domaines d'applications des matériaux, les propriétés de surface et de volume jouent un rôle primordial dans la fonctionnalité d'un dispositif. Par exemple dans le cas d'un matériau à visée biomédicale, ses propriétés mécaniques sont non seulement importantes mais sa biocompatibilité est également indispensable, et cela passe par sa fonctionnalité de surface. De nombreux matériaux peuvent en effet présenter d'excellentes propriétés mécaniques, électriques ou physico-chimiques mais leurs propriétés de surface restent inadéquates. Ce cours a pour but de sensibiliser les étudiants aux notions de propriété de surface, de décrire les procédés de fonctionnalisation de surface et les méthodes de diagnostic de ces surfaces, c'est-à-dire leur caractérisation complète par des techniques expérimentales.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce cours, l'élève ingénieur devrait être capable de :

- Proposer une méthode afin d'élaborer des surfaces avec des propriétés spécifiques et de pouvoir discuter des avantages et inconvénients de la méthode
- Proposer une technique de caractérisation adaptée à une modification de surface donnée
- Connaître des méthodes de synthèse et de fonctionnalisation de nanoparticules

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT :

Cet enseignement s'appuiera sur des séances de cours et de travaux dirigés et sur des microprojets relatifs au sujet de cet enseignement. Gustavo Luengo (L'Oréal) transmettra son expérience sur la peau et le cheveu lors d'une séance de 2 heures.

#### TYPE D'EVALUATION :

Première session :

- Microprojet (soutenance)
- Examen (1h30)

#### INFORMATIONS UTILES :

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Conseillées :

1. Physics and Chemistry of Interfaces, Hans-Jürgen Butt, Karlheinz Graf, Michael Kappl; 2003 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°4

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Aérosols et sécurité</b>		<b>OPTIONNEL</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> 1	<b>S8</b>

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

La sécurité des procédés, des biens et des personnes, le traitement des effluents gazeux et l'évaluation des impacts des procédés industriels sur l'environnement constituent des problématiques sociétales très importantes. Par exemple, nous pouvons citer les épisodes de pollutions urbaines aux particules fines, l'exposition aux fumées de soudage ou brouillards d'huile aux postes de travail ou même l'explosion de mélanges hybrides gaz/solides en bioraffineries. Toutes ces thématiques sont liées à la présence d'aérosols et sont sources de questions scientifiques et d'ingénierie.

Afin de réduire le risque à la source et d'améliorer la protection des salariés et de l'environnement (riverains et milieu naturel), il est essentiel de développer de nouveaux outils relatifs à l'étude des procédés et systèmes industriels générant ces aérosols. Les évolutions techniques et scientifiques dans le domaine des aérosols portent donc sur :

- l'acquisition de connaissances pour une meilleure compréhension des processus physiques et chimiques régissant la physique des aérosols, le transfert de matière aux interfaces lors de leur dispersion et leur inflammation,
- la mesure et/ou la visualisation par des méthodes avancées de ces processus à différentes échelles,
- l'étude, l'optimisation, la modélisation d'opérations unitaires et de combinaisons d'opérations (réactions chimiques ou séparations -adsorption, filtration- pour la conception et l'optimisation de procédés propres et sûrs.

Ces cours optionnels donnent aux étudiants de S8 un aperçu de ces enjeux et de ces évolutions.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

L'objectif de ce module est de permettre aux élèves-ingénieurs :

- D'évaluer les principaux risques liés aux aérosols (inflammation, auto-inflammation, explosion, inhalation, dispersion et pollution atmosphérique...)
- De connaître les techniques d'analyse et de métrologie des aérosols liquides ou solides, micrométriques ou nanométriques (granulométrie optique, impacteurs, compteur de noyaux de condensation, analyseur de mobilité électrique...) et être capable de choisir la technique de caractérisation adéquate en fonction des besoins exprimés
- De dimensionner des procédés de séparation et de purification des effluents gazeux biphasiques (filtration, colonnes à bulles, lits granulaires...)
- De proposer des équipements de prévention et de protection adaptés aux risques liés à la génération d'aérosols (masques, filtres, ventilation, événements...).

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT :

- La formation s'appuiera sur des séances de cours appliqués réalisés par des enseignants-chercheurs travaillant dans le domaine des aérosols, ainsi que sur une visite des laboratoires de l'équipe de recherche SAFE du LRGP (Sécurité, Aérosols, Filtration, Explosions)
- Des intervenants extérieurs seront sollicités pour transmettre leur expérience aux élèves-ingénieurs (par exemple, INRS, INERIS)
- Des TDs utilisant des outils informatiques spécifiques à l'évaluation quantitative des risques liés à la dispersion atmosphérique et à l'explosion seront utilisés

Equipe pédagogique :

O. DUFAUD (ENSIC)	Explosion des aérosols solide, liquide et hybride
	Notions avancées d'explosion de poussières, interaction turbulence/combustion
	Etudes de dangers : études de cas (utilisation de logiciels dédiés à la dispersion : Aloha, Marplot...)
L. PERRIN (ENSIC)	Auto-inflammation d'aérosols et emballage thermique de stockages
	Visite des installations filtration/explosion d'aérosols LRGP
D. THOMAS (IUT Dpt GCGP Nancy)	Métrologie des aérosols
	Filtration
A. CHARVET (IUT Dpt GCGP Nancy)	Procédés alternatifs de séparation des aérosols
S. CHAZELET (INRS)	Equipements de protection respiratoires
A. VIGNES (INERIS)	Risques liés aux nanoparticules / nanomatériaux

Responsable : O.DUFAUD

#### TYPE D'ÉVALUATION :

- Contrôle sur table : Examen final court
- Une session de rattrapage constituée d'un devoir unique regroupant l'ensemble des thèmes traités sera proposé par semestre

#### INFORMATIONS UTILES :

PREREQUIS : UE Procédés industriels et développement durable – S7

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

A consulter :

1. Laurent A. (2011). Sécurité des Procédés Chimiques - connaissances de base et méthodes d'analyse de risques, Tec&Doc Lavoisier, 2<sup>nd</sup> édition, Paris.
2. Eckhoff R. (2003). Dust explosions in the process industries, 3rd edition, Gulf Professional Publishing, Boston.
3. Renoux A., Boulaud D. (1998). Les aérosols : physique et métrologie, Tec&Doc Lavoisier, Paris.

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition des compétences n°4, 7

Les enseignements de cette option contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°3

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Matériaux organiques intelligents: concepts et applications industrielles		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S8

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Ce module a pour objectif :

- D'initier les élèves aux concepts et principes permettant d'élaborer des édifices hautement organisés, et d'étudier leurs applications pour la mise au point de matériaux à haute valeur ajoutée.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue du module, l'élève devra :

- Maîtriser le contenu de la « boîte à outils » permettant de construire des matériaux à base de super-molécules (interactions faibles, processus de reconnaissance moléculaire, auto-organisation moléculaire...)
- Connaître différents domaines d'application des matériaux issus d'organisations supramoléculaires telles que les gels de faible masse molaire, les cristaux-liquides ainsi que les polymères
- Replacer dans un contexte économique et industriel les avantages et opportunités qu'offrent ces matériaux de spécialité

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

L'enseignement sera dispensé sous forme de cours magistraux, d'interventions d'industriels et de tutorat.

#### TYPE D'EVALUATION

Evaluation écrite individuelle et présentation, sous forme d'un poster, d'une publication qui sera remise lors de la première séance. Ce travail sera effectué en binôme.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : FRANÇAIS

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Conseillées :

1. La Chimie Supramoléculaire, Concepts et Perspectives, Jean-Marie Lehn, DeBoeck Université.

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°4

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Thermodynamique de solutions avancée		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S8

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le cours de thermodynamique des solutions avancée vise à présenter les différentes approches permettant de calculer un diagramme de phases indispensable au dimensionnement d'une unité de séparation (distillation, extraction liquide-liquide, cristallisation).

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue du module, l'élève devra :

- Savoir calculer un diagramme de phases isotherme ou isobare quelconque (déviations positives ou négatives à l'idéalité, azéotropie homogène ou hétérogène, double azéotropie, démixtion liquide-liquide, présence de phases solides) à partir d'une équation d'état ou d'un modèle de coefficients d'activité
- Maitriser les différents algorithmes de résolution des conditions d'équilibre entre phases
- Savoir choisir un modèle thermodynamique (modèle de coefficients d'activité ou équation d'état) en fonction du problème à traiter
- Maitriser les différentes règles de mélange et les concepts théoriques sur lesquels reposent les modèles
- Savoir calculer les propriétés d'un système multi-constituants (grandeurs molaires totales, grandeurs d'excès, grandeurs de mélange ...) avec une équation d'état
- Savoir tester la stabilité d'un système multi-constituants afin de discriminer les états stables des états métastables ou instables

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Cours et travaux dirigés

#### TYPE D'EVALUATION

Examen écrit (1,5 h), Projet

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : procédés de séparation thermique (cours de Jean-Noël JAUBERT)

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. Molecular Thermodynamics of fluid-phase equilibria (J.M. Prausnitz, R.N. Lichtenthaler, E.G. De Azevedo)
2. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics (J.M. Smith, Hendrick Van Ness, Michael Abbott)
3. Thermodynamics: Fundamentals for Applications (Cambridge Series in Chemical Engineering) (J. P. O'Connell, J. M. Haile)

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°4

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Méthodologie de traitement des déchets industriels		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S8

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

« *Le meilleur déchet est celui que l'on ne produit pas !!!* » : Vœu pieux puisque dans toute industrie manufacturière la transformation de la matière (physique ou chimique) génère inexorablement des sous-produits (communément appelés déchets) non valorisables directement et dont certains peuvent également représenter un danger.

La gestion des déchets est donc une problématique complexe pour tout site de production et répond globalement à deux exigences :

- la première est d'ordre législatif et environnemental à savoir que l'on ne peut pas rejeter tout et n'importe quoi dans le milieu naturel.
- la seconde est qu'une production pérenne est synonyme de production rentable ; recycler une fraction des déchets et/ ou les valoriser (notons ici qu'il peut s'agir d'une valorisation de la matière ou d'une valorisation énergétique) est donc souhaitable.

Dans ce contexte et pour répondre simultanément aux deux exigences précédentes, il s'agit de mettre en place une véritable **stratégie** de traitement ou plutôt de traitement(s) des déchets.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

L'objectif de ce module optionnel est donc de concilier l'ensemble des connaissances acquises en tronc commun dans les domaines de la chimie, physico-chimie, thermodynamique, cinétique, génie de la réaction chimique, opérations unitaires mécaniques et thermiques pour :

- qualifier le déchet tant au niveau de sa composition (espèces en présence) que de sa nature physique (système mono ou polyphasique),
- déterminer la ou les finalités du traitement global,
- imaginer une chaîne d'opérations technologiquement et économiquement viables en réponse aux objectifs.

Au regard de la diversité des concepts impliqués, la vocation de ce module optionnel n'est pas de faire de l'auditeur un spécialiste de chaque technique ou technologie évoquée mais plutôt de lui apporter toutes les informations utiles au développement d'une réflexion constructive basée sur le bon sens et visant à envisager la solution la plus pertinente dans un contexte donné.

Notre seul objectif avoué est de confronter l'élève-ingénieur aux réalités industrielles et de lui permettre de mettre en œuvre ses connaissances pour l'élaboration d'un schéma de procédés cohérent en y associant les contraintes environnementales et économiques

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Par essence même, ce module optionnel fait appel à un éventail de disciplines très large. Pour chaque déchet, pris dans sa globalité, les stratégies envisageables sont nombreuses, il faut cependant faire des choix. Notre méthodologie pédagogique est en accord avec ce principe, elle relève également de choix. Nous développerons donc notre propos selon les items suivants :

Partie 1 : Définition des objectifs visés au regard de la nature du déchet considéré, stratégie globale de traitement

Les 2 parties suivantes s'intéressent plus particulièrement à la gestion des déchets dont la phase continue est une phase aqueuse

Partie 2 : Traitement de la pollution insoluble : physico-chimie des systèmes polyphasiques et procédés de séparation mécanique associés

Partie 3 : Traitement de la pollution soluble : chimie de la transformation de la pollution soluble, procédés de séparation mécanique à l'échelle sub-colloïdale

Partie 4 : Traitement thermiques des déchets pour une valorisation des produits ou énergétique :

- Caractéristique des déchets en filière traitement thermique - PCS, PCI, Analyses des combustibles et déchets,
- Etude du procédé d'incinération (Équations de la combustion, formation des polluants gazeux, présentation des sous-produits (mâchefers et refiom), intérêt de la valorisation énergétique avec description du cycle vapeur/eau
- Présentation des unités de traitement des fumées
- Présentation des autres voies de traitements thermiques (pyrolyse, méthanisation, gazéification, ...)

#### TYPE D'ÉVALUATION

- Etude de cas avec documents (1h30 environ)
- Mini-projet

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Connaissances fondamentales abordées dans toutes unités d'enseignement du tronc commun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : FRANÇAIS

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°9

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Produits pour la santé		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S8

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

La conception de nouveaux médicaments et de produits utilisables dans le domaine de la santé est un enjeu majeur dans nos sociétés modernes. Le développement de nouveaux produits demande un cahier des charges bien précis selon l'application biomédicale envisagée et entraîne de fortes contraintes notamment en termes de biocompatibilité. Les (macro)molécules utilisées sont de plus en plus d'origine naturelle, biosourcées et/ou biodégradables mais elles peuvent également être synthétisées. D'ailleurs, un intérêt se développe pour les produits stimulables dits « intelligents ». Dans ce contexte, il s'agit de familiariser les étudiants avec la conception de produits pour des applications en santé et de leur montrer les dernières avancées et les enjeux dans ce domaine (cahier des charges, stratégie de développement, ...). On s'attachera à étudier les exemples de produits commerciaux mais aussi ceux encore en développement, dans des domaines à forts enjeux (pharmacie, cosmétique, biomatériaux...).

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'élève-ingénieur devrait être capable de :

- Comprendre et d'expliquer le cahier des charges à respecter pour la conception de produit pour la santé
- Comprendre la démarche utilisée pour concevoir un médicament depuis la synthèse de la molécule jusqu'à sa mise sur le marché.
- Connaître le potentiel d'utilisation des polymères dans le domaine de la santé et notamment leur intérêt pour la conception de biomatériaux

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Cet enseignement s'appuiera sur des séances de cours incluant une conférencière, et sur un microprojet associé à des séances de présentation du projet/TDs/tutorats (3,5h) et s'achèvera par une soutenance finale devant tous les groupes de projets (2h). Hors conférence, projet et introduction, le cours sera structuré en 2 parties :

Partie 1. De la molécule au médicament (4,5h) : il s'agira d'expliquer comment une molécule synthétisée peut devenir un médicament. Plusieurs étapes et surtout de nombreuses années sont nécessaires à la réalisation de cet objectif : l'étude des cibles biologiques, la synthèse, l'action d'une molécule sur la cible et les études cliniques. Ces différentes étapes seront présentées de manière à donner les bases pour une évolution dans l'industrie pharmaceutique.

Partie 2. Polymères pour des applications biomédicales (6 h) :

- a. Introduction générale-notion de biomatériaux - principales contraintes liées à leur cahier des charges, types de polymères utilisés
- b. Présentation plus détaillée d'un certain nombre d'exemples de biomatériaux : matériaux pour la chirurgie (vis d'ostéosynthèse, endoprothèses...), polymères pour la galénique et la nanomédecine (systèmes de délivrance de médicaments, diagnostic médical...), hydrogels pour la délivrance de médicaments, la réparation tissulaire et les pansements, biomatériaux pour l'ingénierie tissulaire...

#### TYPE D'EVALUATION

- Mini-projet : présentation orale

#### INFORMATIONS UTILES

NOMBRE DE PARTICIPANTS MAXIMAL : 25

PREREQUIS : Connaissances de base en chimie et physico-chimie

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : Français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Conseillées :

1. Dumitri S., Polysaccharides in medicinal Applications , Ed. Marcel Dekker, 1996, 779 p
2. Li S., Tiwari A., Prabakaran M. and Aryal S., Smart polymer materials for biomedical applications, Ed., Collection, 2010, 405 p
3. Ramakrishna, S., Ramalingam, M., Sampath Kumar T. S. et al., Biomaterials : a nano approach, Ed. CRC Press, 2010, 350 p
4. Kewal J. K. Drug Delivery Systems, Ed. Human Press, 2008, 251 p.

**CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES**

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°4

Les enseignements de cette option contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°1, 6, 11

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Procédés industriels de polymérisation et développement durable</b>		<b>OPTIONNEL</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> 1	<b>S8</b>

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

La conception des procédés de polymérisation suit une méthodologie qui est celle du génie des procédés. Cependant, les polymères se différencient des produits habituels de l'industrie chimique par plusieurs spécificités : ce sont des produits à caractéristiques distribuées (masse molaire, composition chimique, ramifications...), l'avancement de la réaction de polymérisation entraîne généralement une variation importante des propriétés physiques du milieu réactionnel (viscosité, diffusivité thermique ...) avec des conséquences sur les performances du réacteur, enfin les propriétés d'application (notamment de mise en forme) dépendent étroitement de la forme de la distribution des caractéristiques des macromolécules (qui elle-même est liée de près au fonctionnement du réacteur et au schéma cinétique).

Par ailleurs, la production et l'utilisation des polymères soulèvent de nombreuses questions liées à leur impact environnemental et à la notion de développement durable. Ces questions sont abordées sur des exemples précis.

Ce module vise à prolonger les concepts de base vus dans le tronc commun de la formation, en associant des interventions d'industriels, des séances de cours et une visite de site industriel.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce cours, l'étudiant devra connaître et comprendre :

- Le principe de la conception d'un procédé de polymérisation en chaîne et par étapes
- Les principaux liens entre conception du procédé et caractéristiques des polymères obtenus
- Le fonctionnement des réacteurs de polymérisation
- Les enjeux liés au développement durable dans le cycle de vie des polymères

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Le module alternera des cours et des conférences d'industriels. Les enseignements de ce module seront complétés par la visite d'un site industriel de production de polymères.

#### TYPE D'EVALUATION

Evaluation individuelle sous forme de QCM portant sur le contenu des séances de cours et des conférences. Mini-projet réalisé en groupe et présenté oralement. Les élèves doivent aborder en groupe la conception d'un procédé de polymérisation et exposer les enjeux liés au développement durable dans le cas du polymère qu'ils ont étudié.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Conseillées :

1. Génie de la Réaction Chimique, J. Villermaux, Tec et Doc, Lavoisier, 1993.
2. Cinétique et Catalyse, G. Scacchi, M. Bouchy, JF. Foucault, O. Zahraa, Lavoisier, Tec et Doc, 1996.

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition des compétences n°4, 9, 13

Les enseignements de cette option contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°14

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Les nano-objets polymères : synthèses, caractérisations et applications		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S8

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Actuellement, les nano-objets à base de polymères sont largement employés dans différents domaines d'applications comme l'industrie pharmaceutique, agroalimentaire et cosmétique. Les propriétés chimiques et physiques des polymères sont de plus en plus variées, et il est désormais possible d'élaborer des nano-objets intelligents répondant à des stimuli extérieurs comme le pH, la lumière ou la température. De plus, des nouvelles méthodologies plus rapides et plus économiques permettant d'accéder à des nano-objets aux morphologies avancées (sphérique, cylindrique, et vésiculaire) sont en plein développement, ce qui les rend plus attractifs pour une production industrielle. Le principal objectif de ce cours est d'exposer aux élèves ingénieurs les dernières méthodologies développées dans le monde académique en ce qui concerne la formulation de nano-objets polymères. Les procédés transposables ou qui sont potentiellement utilisables à l'échelle industrielle seront privilégiés. Les caractérisations physico-chimiques de ces nano-objets seront exposées en accordant une attention particulière à la diffusion de la lumière et à la microscopie.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin de l'étude de chacun des thèmes traités, les étudiants devront être capables de :

- Connaître les nouveaux procédés d'élaboration des copolymères amphiphiles.
- Connaître les nouvelles technologies d'auto-assemblage des copolymères amphiphiles.
- Connaître les méthodes de caractérisation par diffusion de la lumière et par microscopie.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Ce cours s'appuiera sur des séances de cours magistral (12h), travaux dirigés (4h) ainsi qu'une séance pratique (2h) où les techniques de formulation et caractérisation des nano-objets seront employées.

#### TYPE D'EVALUATION

Projet et soutenance orale par équipe.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Connaissance de base en chimie des polymères.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français.

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°1

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : : Intelligence Artificielle (IA) pour le génie des procédés – Initiation		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S8

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

L'option « IA pour le génie des procédés – Initiation » vise à :

- Présenter une vue d'ensemble des méthodes de traitement de données massives (« Big Data ») et d'apprentissage automatique (« Intelligence Artificielle », « Machine Learning », « Deep Learning »), supervisé ou non-supervisé.
- Décrire quelques méthodes emblématiques de réduction de dimension, de clustering et de régression, parmi la famille de méthodes d'apprentissage automatique.
- Illustrer l'intérêt de modèles de substitution (« surrogate models », métamodèles) et leurs caractéristiques.
- Proposer une première introduction à l'apprentissage profond (« Deep Learning »).
- Mettre en œuvre ces méthodes sur des cas concrets de Génie des Procédés, en utilisant l'environnement Matlab.

*Cette option constitue la suite de l'option de S7, intitulée « IA pour le génie des procédés – Premier contact », sans que cette dernière soit un prérequis. Des rappels synthétiques des notions vues en S7 seront proposés en début de séances.*

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin de l'option, les étudiants devront être capables de :

- Avoir une compréhension complète des approches d'apprentissage automatique.
- Appliquer quelques méthodes caractéristiques de chaque catégorie de problème, selon l'objectif visé (régression, clustering, réduction de dimensions...), y compris le prétraitement des données disponibles.
- Comprendre les avantages et les points faibles de ces méthodes.
- Avoir une première idée de l'intérêt et des capacités des méthodes d'apprentissage profond.
- Appliquer les principales méthodes dans un environnement logiciel adapté.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Les séances sont exclusivement réalisées sur ordinateur en salle informatique, en utilisant les fonctions et toolbox dédiées à l'apprentissage machine dans l'environnement Matlab.

#### TYPE D'EVALUATION

Contrôle individuel sur machine ou QCM (1h)

#### INFORMATIONS UTILES

**PREREQUIS :** UE Informatique, méthodes numériques et statistiques (S5, EC Méthodes statistiques, EC Informatique pour l'ingénieur des industries chimiques I) et UE Systèmes réactifs et Informatique (S6, EC Informatique pour l'ingénieur des industries chimiques II).

**LANGUE D'ENSEIGNEMENT :** français

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :**

1. Chloé-Agathe Azencott, « Introduction au machine learning », Ed. Dunod, 2018.
2. Stéphane Tufféry, « Big Data, Machine Learning et apprentissage profond », Ed. Technip, 2019.
3. Ian Goodfellow, « L'apprentissage profond », Massot Editions, 2018.
4. Charu C. Aggarwal, « Data mining – the textbook », Ed. Springer, 2015.

**Nécessaires :** Documents photocopiés ou diapos distribués, fichiers de données distribués via ARCHE.

Conseillées : Voir références bibliographiques.

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°3

Les enseignements de cette option contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°4

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Stratégie : développement durable pour l'industrie		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S8

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Ce cours vise à :

- Connaître les définitions et les principes du Développement Durable et de la RSE,
- Comprendre l'ensemble des défis apportés par le Développement Durable dans l'industrie,
- Être capable d'analyser et de contribuer à une stratégie d'entreprise,
- Intégrer le Développement Durable comme axe gagnant dans une stratégie d'entreprise, notamment en termes de valeur ajoutée.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin du module, l'étudiant devrait être capable de :

- Connaître les principaux leviers du développement Durable actionnables dans l'industrie,
- Connaître les implications pour chaque fonction de l'entreprise (cas particulier des RH et des Achats),
- Savoir lire le bilan RSE d'une société,
- Intégrer la dimension communication afin de savoir convaincre les parties prenantes et d'éviter le greenwashing,
- S'intégrer dès sa prise de poste dans la démarche RSE de sa société / Mettre en place les fondements RSE dans la création de sa société.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

La formation s'appuie sur :

- Des cours,
- TD sur des exemples de cas réels,
- Un business case à mener en équipes (TP),
- Une contribution au projet RAISPIR de l'ENSIC.

#### TYPE D'EVALUATION

Soutenance suite à des travaux de groupes

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS :

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : Documents photocopiés distribués

Conseillées :

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°9

Les enseignements de cette option contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°14

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Outils de simulation et de décision pour les énergies et matériaux de la transition		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 1	S8

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

L'option « Outils de simulation et de décision pour les énergies et matériaux de la transition » vise à :

- Comprendre l'évolution des inputs (énergie, matière) et outputs (émissions CO<sub>2</sub>eq) en fonction de scénarios socio-économiques à l'aide d'un simulateur à grande échelle de type « stock-flow » .
- Construire et évaluer des alternatives socio-techniques sectorielles.
- Apprendre à optimiser des arbitrages en fonction de choix collectifs et de contraintes physiques.

#### COMPETENCES RECHERCHEES

- Sensibilisation à la thématique de la transition (enjeux industriels, matériels et socio-économiques).
- Formation à la pensée systémique.
- Gestion des systèmes complexes (modélisation, simulation, optimisation, analyse, prévision).
- Utilisation de simulateurs pour la prospective.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Les séances sont ou bien sous forme de cours interactif, ou bien sous format atelier, ou bien sur ordinateur en salle informatique (travail en Matlab). Tout au long de l'U.E., des intervenants enrichiront la discussion, apporteront leur expertise et permettront une discussion contradictoire.

- Séance 1. Transition énergétique et Prospective : un état des lieux. Introduction générale, enjeux climatiques, enjeux de la transition. Présentation de la SNBC (Stratégie Nationale Bas-Carbone) pour la France. Nécessité d'un chiffrage.
- Séance 2. Exploration de STAX. A partir de contraintes sectorielles définies par chaque groupe (interface Matlab/Excel).
- Séances 3-4. Exploration de DyMEMDS. Exploration sectorielle en petits groupes de la version « générateur de modèles » (en Matlab).
- Séances 5-6. Ateliers participatifs. Réflexion collective, ordres de grandeur. Choix de propositions chiffrées de réduction d'émissions partir de la base carbone ADEME et de données diverses. Elaboration de scénarios participatifs à partir des choix exprimés de classement des propositions suivant la méthode des loteries maximales.

#### TYPE D'EVALUATION

Rendu de rapport sur les travaux exploratoires et ateliers participatifs.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : bases de programmation Matlab

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français ou anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. David J. C. MacKay (2012). *L'énergie durable. Pas que du vent !*, De Boeck.
2. ADEME, *Transition(s) 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat*
3. *Plan Robuste pour l'Economie française*, rapport du Shift Project (2026).

Nécessaires : Documents photocopiés ou diapos distribués, fichiers de données distribués via ARCHE.

Conseillées : Voir références bibliographiques.

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°9

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Réacteurs et séparations polyphasiques		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S8 PARCOURS PROCEDES

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Ce cours vise à :

- Approfondir les connaissances en génie catalytique et dans le domaine des réacteurs polyphasiques
- Etre capable d'analyser et de dimensionner un contacteur polyphasique mettant en œuvre une réaction
- Etre capable d'analyser et de dimensionner des procédés de cristallisation et de précipitation, des procédés chromatographiques

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue des enseignements, l'élève devra :

- Savoir développer des modèles originaux de réactions et de réacteurs catalytiques
- Savoir prendre en compte les phénomènes de désactivation des catalyseurs
- Comprendre et mettre en œuvre des procédés avec régénération des catalyseurs
- Connaître et décrire le fonctionnement hydrodynamique des réacteurs à lits fixes et à lits fluidisés.
- Comprendre la modélisation du couplage transfert-réaction dans les systèmes G-S, G-L, G-L-S
- Savoir estimer la vitesse terminale d'une inclusion fluide
- Savoir estimer la perte de charge en conduite d'un écoulement gaz-liquide
- Savoir analyser l'hydrodynamique des écoulements dans les contacteurs gaz-liquide et gaz-liquide-solide, colonne à bulles, réacteur catalytique à lit fixe ruisselant.
- Etre capable de choisir et de dimensionner un réacteur hétérogène
- Etre capable de choisir et de dimensionner une séparation par cristallisation
- Etre capable de choisir et de dimensionner une séparation par chromatographie

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Génie catalytique : réacteurs catalytiques hétérogène à lit fixe et à lit fluidisé, cinétique catalytique, limitations de transfert, désactivation des catalyseurs.

Absorption avec réaction chimique : choix de l'absorbeur, régime de réaction, facteur d'accélération, critère de Hatta.

Réacteurs polyphasiques : choix du contacteur, hydrodynamique des écoulements diphasiques et triphasiques, limitations de transfert, modèles de réacteurs.

Cristallisation : cinétiques et mécanismes de cristallisation, bilans de population, cristallisoirs industriels, précipitation.

Procédés Chromatographiques : modélisations des transferts, lit mobile simulé, réacteurs chromatographiques.

#### TYPE D'EVALUATION

Travaux Maison (2) Examens écrits (3)

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Connaissances de base en chimie, en génie chimique et en transferts

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : Polycopiés de cours en génie chimique

Opérations polyphasiques en génie des procédés, hydrodynamique, transferts, réactions, séparations mécaniques. Paris ; éditions Ellipses, 2<sup>e</sup> éd. 2023

Conseillées :

1. Génie de la Réaction Chimique, J. Villermaux, Tech & Doc, Lavoisier, 1993, Paris.

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°2, 4

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°4, 9, 11

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Procédés durables		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S8 PARCOURS PROCEDES

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

L'unité d'enseignement vise à apporter durant les différentes phases de vie d'un procédé des réponses adaptées et motivées en regard des préoccupations d'hygiène, de sécurité, de protection de l'environnement et de développement durable.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue des enseignements, l'élève devra :

- Etre capable de réaliser une analyse de risques sur un système industriel complexe
- Connaître les réglementations et spécificités du traitement des eaux industrielles
- Etre capable de mettre en œuvre un management environnemental
- Savoir mettre en œuvre une analyse de cycle de vie

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Analyse de cycle de vie : définition de l'objet et du champ d'étude, analyse de l'inventaire du cycle de vie, évaluation des impacts du cycle de vie, interprétations.

Sécurité des procédés : Méthodologie MOSAR (analyse de risques), sûreté nucléaire.

Environnement : Management environnemental, Normes ISO 1400x, Eco-audit, Traitement des effluents gazeux, Traitement des eaux industrielles.

#### TYPE D'EVALUATION

Contrôle Continu (QCM de fin de cours), Projet utilisant la méthodologie MOSAR sur des accidents industriels majeurs. Rapport de projet et soutenance orale.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS :

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°4, 6, 7, 8, 9, 11

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°3, 10

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Conception et simulation de procédés		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S8 PARCOURS PROCEDES

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

L'unité d'enseignement a pour objectif d'approfondir et de compléter les enseignements généraux liés à la simulation et à la conception de procédés. L'unité d'enseignement vise à :

- Aborder les concepts de base de la thermodynamique énergétique et de l'analyse exergetique
- Décrire les méthodologies utilisées afin d'aborder la séparation de mélanges complexes par distillation  
Présenter les bases de la simulation dynamique des procédés

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin de l'étude de chacun des thèmes traités, les étudiants devront être capables de :

- Reconnaître et différencier les principaux types de systèmes énergétiques
- Réaliser un bilan exergetique quelle que soit la complexité du procédé étudié
- Réaliser une analyse pinch
- Construire et interpréter une courbe de résidu de distillation
- Identifier les procédés de distillation envisageables pour la séparation d'un mélange complexe donné
- Envisager l'intégration thermique d'une distillation
- Analyser plusieurs configurations d'une distillation multiconstituant zéotropique
- Passer d'un modèle de procédé en régime permanent à un modèle en régime transitoire
- Simuler un procédé décrit par des systèmes d'équations différentielles ordinaires, algébro-différentiels ou algébro-différentiels partiels.

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Méthodes d'enseignement : cours et Travaux Dirigés

Contenus :

#### Thermodynamique énergétique avancée

- Modes de fonctionnement des différents éléments d'un cycle moteur ou frigorifique
- Machines thermiques, procédés de production de froid, liquéfaction des gaz.
- Introduction à l'analyse exergetique et à la thermo-économie.
- Analyse et technologie pinch.
- Optimisation de l'architecture d'un procédé
- Etude de cas (procédés articulant les notions présentées dans les autres éléments constitutifs du module).

#### Distillation avancée

- Construction et interprétation de courbes de résidu
- Distillation azéotropique et distillation extractive
- Intégration thermique de la distillation
- Distillation de mélanges zéotropiques multiconstituants

#### Simulation dynamique des procédés

- Présentation de procédés dont le modèle est décrit par des équations différentielles ordinaires, algébro-différentielles, ou algébro-différentielles ordinaires
- Spécification des conditions initiales
- Méthodes d'intégration simple et avancée (BDF combinée à la méthode de Newton)
- Notion d'index et systèmes d'équations algébro-différentielles d'index élevé
- Utilisation du logiciel Dynsim ou gPROMS pour la simulation de procédés (flash, réacteurs, distillation)

### TYPE D'EVALUATION

Contrôles écrits (thermodynamique, distillation, simulation dynamique) et rapport écrit (thermodynamique : étude de cas)

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : UE Thermodynamique et énergétique, UE Procédés de séparation thermique, UE Process systems engineering et UE Systèmes réactifs et procédés II (EC : procédés de séparation I)

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

Documents photocopiés distribués

Séparations thermiques en génie des procédés, distillation, air humide, séchage. Paris ; éditions Ellipses, 2021

Conseillées :

1. Separation Process Engineering: Includes Mass Transfer Analysis: International Edition Broché – Phillip C. Wankat
2. Fundamentals of Engineering Thermodynamics 7th Edition – Wiley – Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, Daisie D. Boettner, Margaret B. Bailey
3. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1985, T.J. Kotas.
4. Product and Process Design Principles: synthesis, analysis and evaluation, 3<sup>rd</sup> edition, Wiley, 2009 W.D. Seider, J.D. Seader, D.R. Lewin, S. Widagdo

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°3, 4

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°9, 11

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Produits micro et nanostructurés		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S8 PARCOURS PRODUITS

## OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le cours vise à :

- Faire découvrir les produits micro et nano structurés (émulsion, dispersions colloïdales, microparticules).
- Acquérir des connaissances en caractérisation et en analyse du comportement des molécules utilisées dans les produits formulés.
- Comprendre le lien entre les caractéristiques structurales et le comportement des produits, notamment aux interfaces.
- Décrire les principales lois de comportement des micro et nanoparticules et les utiliser dans le processus de conception (formule, procédé, usage) d'un produit à fonction d'usage spécifique.

## OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'élève-ingénieur devrait être capable de :

- Analyser une formulation de produits et comprendre en particulier le comportement des molécules tensioactives utilisées dans ces produits.
- Choisir et justifier le choix d'un composé (tensioactif) dans la formule d'un produit.
- Intégrer la transition écologique dans la formulation d'un produit.
- Faire le lien entre les caractéristiques structurales et comportementales des produits, notamment aux interfaces.
- Etudier les procédés pour les systèmes dispersés
- Concevoir des procédés de fabrications de produit à fonction d'usage spécifique contenant des micro ou des nanoparticules.
- Analyser le processus de pollution aux microplastiques et concevoir des stratégies de remplacement des micro et nanoparticules non biodégradables par des systèmes biodégradables dans les produits formulés

## CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

### 1. Physico-chimie et formulation des systèmes polyphasiques fluides

- Physico-chimie des interfaces
- Dynamique d'étalement
- Formulation et fabrication de mousses
- Classes, spécificité et comportement des tensioactifs en solution
- Micellisation, adsorption aux interfaces, phases cristal liquides
- Emulsion : définition, concept de formulation, procédés d'élaboration
- Déformulation : analyse de produits formulés
- Reformulation de produits : adaptation des produits à la transition écologique et intégration dans l'économie circulaire
- Conférence par un intervenant issu du monde industriel

### 2. Procédés pour les systèmes fluides dispersés

- Emulsification assistée mécaniquement, les appareils
- Essai de modélisation des phénomènes spatio- temporels ; exemples de modélisation semi-empirique
- Micro-technologie pour l'émulsification contrôlée, nucléation et croissance : principes et mécanismes de base
- Relation entre la qualité d'un système dispersé et le coût énergétique
- Atomisation : caractérisation des dispersions et dispositifs d'atomisation ; mécanismes et caractéristiques de l'atomisation

### 3. Procédés pour les systèmes solides dispersés

- Caractérisation des systèmes dispersés : granulométrie, énergies et potentiels de surface
- Description qualitative et quantitative du mouvement brownien, des instabilités physiques et physico-chimiques (DLVO), du mécanisme de libération contrôlée, du mécanisme de filmification
- Etude des Technologies de fabrication de nanoparticules et microparticules
  - Par analyse d'un schéma PID de fabrication batch : émulsification-évaporation de solvant
  - Par analyse descriptive d'autres procédés : procédés sol-gel, diffusion de solvant, atomisation, pyrolyse, atomisation-séchage, polymérisation interfaciale

#### TYPE D'EVALUATION

1. Physico-chimie et formulation de systèmes polyphasiques fluides : un contrôle écrit en fin de module
2. Procédés pour les systèmes fluides dispersés : mini projet sous forme de devoir à la maison
3. Procédés pour les systèmes solides dispersés : QCM ou rapport d'étude de schémas de procédés ou PID

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : niveau L3, connaissance de base en génie chimique et en chimie

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Conseillées :

1. Physical chemistry of surfaces, *A.W. Adamson*, John Wiley and Sons
2. Fundamentals of Interfacial Engineering, *Robert J. Stokes, D. Fennell Evans*, Wiley 1996

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°4

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Introduction au génie des produits		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S8 PARCOURS PRODUITS

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le cours d'introduction au génie des produits vise à :

- Comprendre l'organisation de l'industrie chimique et le positionnement de l'industrie des produits formulés
- Mettre en évidence les spécificités de ces industries
- Appréhender les particularités de procédés discontinus
- Présenter et expliciter l'analyse du cycle de vie d'un produit

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'élève-ingénieur devrait être capable de :

- Aborder les nombreuses facettes relatives au génie des produits
- Choisir et justifier le choix d'un procédé discontinu
- Analyser le cycle de vie d'un produit

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

#### 1. Du génie des procédés au génie des Produits

- Positionnement de la thématique
- Notion de propriété d'usage
- Méthodologies spécifiques
- Propriété intellectuelle
- Eco-conception

#### 2. Procédés discontinus

- Bilans de matière et de chaleur en réacteurs discontinus
- Optimisation du rendement et de la sélectivité
- Stabilité et emballement thermiques en réacteurs discontinus
- Conduite des réactions hétérogènes en réacteur discontinu
- Cristallisation en mode discontinu

#### 3. Analyse du cycle de vie

- Définition de l'objet et du champ d'étude
- Analyse de l'inventaire du cycle de vie
- Evaluation des impacts du cycle de vie, interprétations
- Conférence par un intervenant issu du monde industriel

### TYPE D'EVALUATION

1. Du génie des procédés au génie des Produits : Recherches documentaires et exposés en groupes de 3-4 personnes
2. Procédés discontinus : Un contrôle écrit en fin de module
3. Analyse du cycle de vie : QCM

### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : niveau L3, connaissance de base en génie chimique et en chimie

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Conseillées :

1. [Chemical Product Design \(Cambridge Series in Chemical Engineering\)](#), E.L. Cussler; Cambridge University Press; 2<sup>nd</sup> edition
2. Génie De La Réaction Chimique - Conception et Fonctionnement Des Réacteurs , Jacques Villiermaux ; Lavoisier Tech & Doc

**CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES**

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°2, 4, 9, 13

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°10, 14

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Des molécules aux produits		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S8 PARCOURS PRODUITS

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le cours d'introduction au génie des produits vise à :

- Aller de la stratégie de conception d'un produit par le choix des molécules et de sa forme (liés au cahier des charges et aux propriétés d'usages ciblées) à son procédé spécifique de fabrication et à la caractérisation du produit fini.
- Mettre en évidence l'importance de la structure chimique des molécules utilisées dans la formulation d'un produit et son lien avec propriétés physiques qui en découlent et au final avec les propriétés d'usages attendues pour ce produit
- Acquérir des notions de base en rhéologie. Appréhender la rhéologie comme outil de caractérisation des systèmes complexes dans l'industrie.
- Mettre en œuvre des fabrications de produits à l'échelle laboratoire, et caractériser les produits élaborés.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'élève-ingénieur devrait être capable de :

- dans une démarche d'ingénierie inverse», de développer une stratégie de conception d'un produit par le choix des molécules et de la forme du produit (liés au cahier des charges et aux propriétés d'usages ciblées) jusqu'au procédé spécifique de fabrication
- d'analyser la structure chimique des molécules et faire le lien avec leurs propriétés physico-chimiques avec certaines des propriétés d'usage attendues pour le produit final
- expliquer le comportement de systèmes moléculaires complexes en fonction de leur environnement.
- justifier l'utilisation de certaines fonctionnalités dans la formulation d'un produit
- de concevoir et mettre en œuvre des produits formulés
- de caractériser le produit fini
- maîtriser la rhéologie comme outil de caractérisation des systèmes complexes

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

1. TP-Produits Formulés - 24h : Conception et mise en œuvre de produits formulés- de fabrication et à la caractérisation du produit fini :
  - Synthèse de molécules
  - Elaboration de particules, gels, émulsions, dispersions
  - Etude du phénomène de mouillage
  - Caractérisation des produits (granulométrie, tension interfaciale, rhéologie...)
  - Optimisation du rendement et de la sélectivité
2. Rhéologie (11h)
  - Présentation des concepts et équations de base de la rhéologie
  - Description des principaux comportements rhéologiques (newtonien, rhéofluidifiant, à seuil, thixotrope) à partir d'exemples issus des secteurs cosmétiques, hygiène, industrie des revêtements
  - Description de l'ambivalence solide-liquide des systèmes formulés et des comportements viscoélastiques
  - Ecoulement de fluides rhéologiquement complexes
  - Appareils et méthodes de caractérisation rhéologique
  - Rhéologie systémique
3. Structure des molécules et propriétés d'usages (22,5h)  
Cette UE se structure autour de 3 études de cas sur les thématiques suivantes.

- Stabilité/Labilité d'un produit : Principales fonctions- Influence de l'environnement/Prévention
- Stimulation et propriétés déclenchées à la demande : Formation/destruction d'interactions/de liaisons réversibles ou non sous l'action stimulus
- Activité -Toxicité : Notion de site actif/Centre actif en lien avec la structure chimique-Introduction aux principales méthodes d'obtention d'un produit actif.

L'enseignement permet de montrer la complexité des relations structures-propriétés et de sensibiliser en fin de session l'élève-ingénieur à certaines méthodes de prédiction.

#### TYPE D'EVALUATION

1. TP-Produits Formulés: rapports de TP
2. Rhéologie: Examen Final 1h
3. Structure des molécules et propriétés d'usages : présentations Intermédiaires sur les Etudes de Cas -Examen Final 1,5h. La note moyenne des présentations d'études de cas et celle de l'examen comptent chacun pour la ½ de note de l'élément constitutif

La note Finale est la moyenne pondérée des notes de chaque EC calculée au prorata du temps de présence, à savoir 2/1/2

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Connaissance de base en génie chimique et en chimie

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Conseillées :

1. Chemical Product Design (Cambridge Series in Chemical Engineering), E.L. Cussler; Cambridge University Press; 2<sup>nd</sup> edition
2. Product Design and Engineering: Formulation of Gels and Pastes, U. Brockel -W. Meier (Editor), G. Wagner, Wiley
3. Product Design and Engineering, 2 Volume Set, , U. Brockel -W. Meier (Editor), G. Wagner , Wiley
4. Product engineering : molecular structure and properties, J. Wei, Oxford University Press, 2007
5. Comprendre la rhéologie, P. Coussot, J.L. Grossiord, EDP Sciences

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°4, 8, 11, 13

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°3, 5

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Introduction aux sciences biologiques		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S8 PARCOURS BIOTECHNOLOGIES

## OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le but de ce module est d'acquérir des notions de base en biologie et biochimie ainsi qu'un vocabulaire qui permettra aux étudiants de comprendre leurs collaborateurs biologistes et de faciliter ainsi les collaborations. La cellule, son fonctionnement et ses constituants principaux seront abordés en même temps que leurs fonctions et les utilisations qui peuvent en être faites dans les biotechnologies. Ce dernier point sera juste une introduction aux modules suivants. Enfin seront présentées les techniques de caractérisations structurales, physico-chimiques et de séparation des biomolécules à l'échelle du laboratoire.

## OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module l'élève-ingénieur devrait être capable de :

- Connaître les principaux constituants de la cellule et leurs fonctions
- Comprendre le fonctionnement de la cellule, en particulier les principes de base de son métabolisme, de la réplication et de l'enzymologie
- Connaître les principales techniques de caractérisations structurale, biochimique et de séparation des biomolécules

## CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

### 1) Biomolécules : Introductions aux sciences biologiques (27h)

Dans un premier temps la cellule et ses composants, membranes, organelles, biomolécules, seront décrits. Le fonctionnement d'une cellule sera abordé afin de comprendre comment la cellule fonctionne : quels sont ses besoins ? Quelles sont les réactions biochimiques impliquées ? Quelques exemples de voies métaboliques seront choisis dans la production d'énergie et la synthèse de biomolécules (glycolyse, cycle de Krebs, biosynthèse des biomolécules ...).

Deux familles de biomolécules seront plus particulièrement abordées, les acides nucléiques et les protéines (enzymes, anticorps), qui sont les acteurs principaux utilisés en transgénése par exemple ou encre dans les procédés agro-alimentaires. Plusieurs approches seront développées : tout d'abord une approche descriptive ; les structures chimiques seront décrites mais également les structures tridimensionnelles qui sont essentielles dans la compréhension des mécanismes de ces molécules. Pour ce faire les différentes méthodes biophysiques seront également exposées. La seconde approche décrira les fonctions cellulaires importantes dans les biotechnologies. En particulier il sera fait une part importante à la réplication cellulaire en s'appuyant sur des exemples issus des développements actuels en transgénése et de l'utilisation du génie génétique, et les bases de l'enzymologie seront jetées.

### 2) Méthodes analytiques à l'échelle du laboratoire (30h)

Dans cette seconde partie nous décrivons les différentes techniques analytiques présentes à l'échelle du laboratoire ; qu'elles soient (a) biophysiques et dédiées à l'analyse structurale (spectroscopie infrarouge, dichroïsme circulaire, RMN, cristallographie, intelligence artificielle et modélisation moléculaire, ...), (b) biochimiques pour la caractérisation des biomolécules (Elisa ; PCR ; westernblot ; ...) ou l'étude des interactions moléculaires ou enfin (c) séparatives pour la purification des biomolécules : précipitation, filtration, centrifugation, différentes chromatographies (phase inverse, exclusion stérique, interaction hydrophobes, échangeuse d'ions, affinité...), électrophorèses (capillaire, SDS page...).

Les aspects éthiques relatifs aux biotechnologies seront abordés et débattus, en lien avec la responsabilité sociétale et le développement durable.

Les méthodes d'enseignement comprennent des cours magistraux et des travaux dirigés, mais également des méthodes nouvelles d'enseignement telles que des cours inversés et jeux de rôles.

#### TYPE D'ÉVALUATION

Examens écrits 3h et exposés oraux

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : connaissances de base en chimie

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

#### CONTRIBUTION DE L'UNITÉ D'ENSEIGNEMENT À L'ACQUISITION DES COMPÉTENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°1, 4

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°3, 8, 11

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Biocatalyseurs et bioréacteurs</b>		<b>OBLIGATOIRE</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> 4	<b>S8 PARCOURS</b> <b>BIOTECHNOLOGIES</b>

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le but de ce module est d'acquérir les bases du génie des procédés biologiques. Il s'agira dans un premier temps de maîtriser les fondamentaux des cinétiques enzymatiques et bactériennes et dans un second temps, l'écriture des bilans de matières dans les réacteurs biologiques fermés, continus et semi-continus. Une partie des cours traitera de l'hydrodynamique et des phénomènes de transfert de matière et de chaleur pour les principales technologies de réacteurs utilisées dans la filière. Enfin, le module proposera une initiation à la modélisation de bioprocédés et le dimensionnement des principaux équipements spécifiques mis en œuvre et posera les bases de l'extrapolation d'échelle du laboratoire à l'industrie.

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'élève ingénieur doit être capable de :

- Représenter des réactions enzymatiques et microbiennes par les lois cinétiques appropriées
- Ecrire des bilans de matière sur différents types de réacteurs biologiques enzymatiques et microbiens et maîtriser la modélisation de réacteurs biologiques
- Représenter l'hydrodynamique des réacteurs biologiques en tenant compte des phénomènes de transferts de chaleur et de matière
- Traiter la complexité de l'extrapolation d'un procédé de l'échelle du laboratoire à celle du pilote puis de l'industrie

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

1. Biocatalyse et bioréacteurs : de l'échelle de la cellule à celle du réacteur et du procédé a) Caractérisation des mécanismes de biocatalyses enzymatique (cinétique michaélienne) et microbienne (loi de Monod). Le cours sera appuyé par des travaux dirigés sous forme d'exercices mais également de tests en ligne afin de favoriser la mémorisation de l'apprentissage. b) Génie des réacteurs enzymatiques et microbiens : écoulements, réacteurs continus, fermés, semi-continus, bilans de matières. Des travaux dirigés de modélisation en salle informatique permettront de familiariser l'élève avec la modélisation en biotechnologies. Des aspects d'instrumentation, de contrôle-commande et de traitement de données seront également abordés.
2. Réacteurs à lits fixes et réacteurs gaz-liquide et gaz-liquide-solide : l'étude de ces réacteurs permettra aux élèves d'étudier l'hydrodynamique d'un réacteur et de comprendre les transferts de matière et de chaleur qui s'y passent, la rhéologie des milieux biologiques et ainsi d'écrire des bilans détaillés.
3. Extrapolation d'échelle : cette partie traitera des problèmes de passage de l'échelle de laboratoire à l'échelle industrielle et permettra à l'étudiant d'avoir un aperçu sur ce savoir-faire.

### TYPE D'EVALUATION

- Examen écrit (3h)
- Microprojet avec rapport écrit et soutenance orale (6h de présentiel)

### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : connaissances du logiciel Matlab.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°1, 2,4 et 6.

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°3,7, 9 et 11

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Bioséparations</b>		<b>OBLIGATOIRE</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> 4	<b>S8 PARCOURS</b> <b>PRODUITS</b>

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le cours vise à :

- Sensibiliser les élèves ingénieurs aux différentes technologies séparatives employées en production biotechnologique
- Former les élèves à une démarche structurée conduisant à l'analyse des phénomènes mis en jeu dans les procédés de bioséparation
- Donner les connaissances de base nécessaires au calcul des différents procédés de séparation employés en biotechnologie
- Sensibiliser les élèves aux critères de choix d'un équipement et à l'importance d'une démarche globale (chaîne de concentration / purification)
- Mettre en œuvre des bioréactions et une caractérisation adaptée aux protéines à différentes échelles

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin du module l'étudiant doit :

- Connaître les principaux procédés employés en bioséparation et les principes sur lesquels ils reposent
- Savoir sélectionner un procédé de séparation en fonction d'un jeu de contraintes (nature du mélange à séparer, performances visées, conditions opératoires)
- Etre capable de dimensionner un procédé pour une application donnée en prenant en compte les spécificités des biomolécules
- Comprendre les interactions entre les différents types de procédés intervenant dans une chaîne de concentration / purification d'une molécule biologique

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Centrifugation / Filtration : 2 séances de cours (1h30) – 2 séances de TD (1h30)

Procédés membranaires : 5 séances de cours (2h00) – 4 séances de TD (2h00)

Notion de sélectivité, taux de réjection et perméabilité ; différents types de procédés membranaires (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, osmose inverse, dialyse, pervaporation, contacteurs membranaires) ; matériaux et modules membranaires ; transfert de matière/ loi de flux, polarisation de concentration ; effets osmotiques ; études de cas industriels (concentration batch d'un mélange complexe ; dimensionnement d'une unité d'ultrafiltration de protéines ; traitement d'une solution par osmose inverse ; séparation par dialyse ; dégazage d'un mélange liquide par contacteur).

Procédés chromatographiques : 6 séances de cours (1h30) – 6 séances de TD (1h30)

Différents types d'adsorbants. Différents modes de mise en œuvre (élution, frontale). Bilans de matière généraux. Notion de front d'onde de concentration. Résolutions des équations générales (analytiques et numériques). Procédés cycliques. Application aux biomolécules. Séparation d'énantiomères par Lit Mobile Simulé. Procédés multicolonnés séquentiels et continus.

Cristallisation : 2 séances de cours (1h30) – 3 séances de TD (1h30) – 1 examen (1h30)

Mécanismes de nucléation, croissance, agrégation et brisure. Influence des conditions physico-chimiques et des paramètres de procédé. Conduite de cristallisation discontinue. Bilans de population. Etudes de cas industriels.

Travaux pratiques de Biotechnologie :

1. Caractérisation de protéines inconnues par SDS-Page.
2. Mise en œuvre et analyse d'une cinétique enzymatique
3. Préparation d'une culture cellulaire

#### 4. Utilisation d'une culture cellulaire dans un bioréacteur/Fermenteur pilote

##### TYPE D'ÉVALUATION

Examen

TP-biotechnologie: rapports de TP

##### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS :

LANGUE D'ENSEIGNEMENT :

##### CONTRIBUTION DE L'UNITÉ D'ENSEIGNEMENT À L'ACQUISITION DES COMPÉTENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°4, 5, 8, 11, 13



## ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 9

### ORGANISATION GENERALE

<i>Intitulé de l'Unité d'Enseignement et de ses éléments constitutifs</i>	<i>Responsable</i>	<i>H</i>	<i>CM</i>	<i>TD</i>	<i>TP</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>Ex</i>	<i>ECTS</i>
<b>Management et économie V</b>	Vera IVANAJ	40	20	20					2
<b>Langue V</b>	E. KASMAREK/M. ADRIAN	48		48					3
	<i>Anglais</i>			48					
<b>Projet de recherche et développement</b>	Khalid FERJI								10
<b>Options</b>		19							3
<b>Parcours de spécialisation</b>		Env. 147							12
<b>TOTAL</b>		Env. 254							<b>30</b>

### OPTIONS

<i>Intitulé de l'option V</i>	<i>Responsable</i>	<i>H</i>	<i>CM</i>	<i>TD</i>	<i>TP</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>Ex</i>	<i>ECTS</i>
<b>Recyclage des plastiques : technologies, enjeux et challenges</b>	Dimitrios MEIMAROGLOU	19	8	8		3			3
<b>Matériaux et nano matériaux pour la catalyse</b>	Halima ALEM-MARCHAND	19	8	8		3			3
<b>Cinétique de combustion des carburants, bio-carburants et e-carburants</b>	Olivier HERBINET	19	8	8		3			3
<b>Résolution numérique des équations de transport</b>	François LESAGE	19	7	7		3		2	3
<b>Génie électrochimique appliqué à l'énergie et la protection de l'environnement</b>	Emmanuel MOUSSET	19	7	7		3		2	3
<b>Verres, Métaux, Céramiques : le monde industriel des très hautes températures</b>	Christian BOUIGEON	19	8	8		3			3
<b>Solutions technologiques pour la capture, le stockage et l'utilisation du CO<sub>2</sub></b>	Bouchra BELAISSAOUI	19	9			8		1,5	3

### PARCOURS DE SPECIALISATION : Procédés pour l'énergie et l'environnement

Responsable : Sabine RODE

<i>Intitulé de l'Unité d'Enseignement et de ses éléments constitutifs</i>	<i>Responsable</i>	<i>H</i>	<i>CM</i>	<i>TD</i>	<i>TP</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>Ex</i>	<i>ECTS</i>
<b>Génie des procédés et énergie</b>	Olivier HERBINET	60	14	10			33	3	4
	<i>Conférences industrielles</i>						33		
	<i>Combustion</i>		6	6				1,5	
	<i>Analyse exergetique</i>		8	4				1,5	
<b>Optimisation dynamique et commande avancée</b>	Abderrazak LATIFI	46	30	10		6			4
	<i>Optimisation dynamique</i>		20			3			
	<i>Commande avancée</i>		10	10		3			
<b>Intensification des procédés et innovation</b>	Jean-Marc COMMENGE	33	12	9		9		3	4
	<i>Intensification des procédés</i>		6	4,5				1,5	
	<i>Procédés membranaires</i>		6	4,5				1,5	
	<i>Projet d'innovation</i>					9			

<b>TOTAL</b>		<b>139</b>							<b>12</b>
--------------	--	------------	--	--	--	--	--	--	-----------

**PARCOURS DE SPECIALISATION : Produits innovants : de la chimie aux procédés**

Responsable : Cécile NOUVEL

<b>Intitulé de l'unité d'enseignement et de ses éléments constitutifs</b>	<b>Responsable</b>	<b>H</b>	<b>CM</b>	<b>TD</b>	<b>TP</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>Ex</b>	<b>ECTS</b>
<b>Produits de spécialité</b>	Alain DURAND	59,5	45	6			3	5,5	4
<i>Copolymères : des procédés aux applications</i>	Anne JONQUIERES		10,5	4,5				1,5	
<i>Formulation matières plastiques</i>	Cécile NOUVEL		9				3	1	
<i>Polymères en solution, aux interfaces et en émulsion</i>	Alain DURAND		25,5	1,5				3	
<b>Propriétés et qualité des produits</b>	Anne JONQUIERES	62,5	36,5	18				8	4
<i>Procédés pour les produits de santé</i>	Laurent MARCHAL-HEUSSLER		8	6				1	
<i>Plan d'expériences</i>	Graciela CARES		6	6				1	
<i>Propriétés thermophysiques des polymères</i>	Anne JONQUIERES		19,5	1,5				4,5	
<i>Cristallisation</i>	Eric SCHAEER		3	4,5				1,5	
<b>Etude de cas - projet de conception de produits innovants</b>	Laurent MARCHAL-HEUSSLER	33	18	3		9		3	4
<i>Projet de conception de produits innovants</i>	Laurent MARCHAL-HEUSSLER		9			9		3	
<i>Procédés de fabrication des solides inorganiques</i>	Mohammed BOUROUKBA		9	3					
<b>TOTAL</b>		<b>155</b>							<b>12</b>

**ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 10**

<b>Intitulé de l'unité d'enseignement</b>	<b>Responsable</b>	<b>H</b>	<b>CM</b>	<b>TD</b>	<b>TP</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>Ex</b>	<b>ECTS</b>
<b>Stage Ingénieur</b>	Laëtitia CESARI								30
<b>TOTAL</b>									<b>30</b>

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Management et Economie V</i>		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 2	S9

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Pratiquer une simulation de gestion globale d'entreprise conduisant les élèves à faire des choix stratégiques et opérationnels rapides, en fonction de l'évolution du marché, de la concurrence et d'autres éléments conjoncturels

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES :

Savoir piloter une entreprise fictive en compétition avec d'autres sociétés sur un marché économique simplifié (simulation par ordinateur)

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

1. Estimation d'un marché : potentiel et incidence de la conjecture
2. Gestion de la production et des ventes
3. Risques financiers et investissements
4. Gestion du personnel
5. Stratégie marketing

Finalisation du projet personnel et professionnel : Journée entreprise

Le format de cette journée (voir fiches modules « management et Economie I » et « management et Economie III ») permet aux élèves de dernière année de finaliser leur projet personnel et professionnel : recherche d'un stage industriel pour le S10, rencontres individualisées avec des professionnels de secteurs industriels ciblés.

Responsable : Cornélius Schrauwen

#### TYPE D'EVALUATION

Evaluation des résultats de gestion obtenus par le groupe en situation de simulation et présentation orale des résultats obtenus.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Gestion d'entreprise : comptabilité, finance, marketing, gestion des ressources humaines

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°12

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Langues V		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 3	S9

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Consolider le niveau B2/ C1 (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)
- Développer des compétences professionnelles pour travailler en entreprise ou en laboratoire de recherche dans un contexte international (en France ou à l'étranger).
- Développer les compétences du 21<sup>e</sup> siècle : Compétences en apprentissage et innovation, compétences en information, média et technologie, compétences sociales et professionnelles.
- Etude des cas d'école traitant des problématiques environnementales.
- Co-construire des diagnostics et des solutions d'atténuation & d'adaptation à l'épuisement des ressources, de la biodiversité & du Changement Climatique à travers la langue anglaise.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, les élèves devront être capables de :

- Utiliser la langue de façon efficace et souple dans la vie sociale, professionnelle ou académique.
- Savoir restituer des faits de sources écrites ou orales de façon cohérente et détaillée, en démontrant une solide maîtrise d'un vaste répertoire lexical et sémantique.
- Utiliser les techniques et outils pour utiliser la pensée créative dans le contexte de l'ingénierie chimique.
- Animer une réunion, faire un compte rendu et utiliser le langage spécifique des réunions.
- Prendre des initiatives dans un entretien d'embauche, élargir et développer leurs idées.
- Travailler dans une équipe en anglais et en utilisant les compétences du 21<sup>e</sup> siècle et les « soft skills ».

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Les élèves suivent 2 modules et un cours de « Creativity » (obligatoire : module « meetings » et 1 module au choix parmi plusieurs sujets), ainsi qu'une semaine de session intensive (21h). Ci-après : quelques exemples de modules /ateliers.

- **Module « réunions »** : Etude et acquisition du langage spécifique utilisé lors de réunions, qualité de la [communication](#) et observation/ analyse de la participation, comportements, attitudes et réactions lors de réunions. Travail écrit : ordre du jour, compte rendu. Entraînement à l'oral par le biais de jeux de rôles, études de cas, simulations.
- **Module « Science Facts and Science Fictions »**: Ce module est consacré à l'étude de différents domaines scientifiques plus ou moins controversés de nos jours. Les activités comprennent l'examen de documents vidéo, débats en groupe et jeux de rôle.
- **Module Ad it up** : L'objectif du cours est de familiariser les étudiants avec le monde de la publicité à travers l'analyse d'exemples. Le cours abordera les termes et concepts de base tels que les slogans et les phrases d'accroche. Le sujet sera également abordé sous d'autres angles tels que les médias, l'endossement par des célébrités ainsi que la publicité subliminale. Les tendances passées et actuelles seront également discutées lors de débats et les étudiants auront l'occasion de faire preuve de créativité en créant une campagne publicitaire.
- **Module préparation TOEIC ou projet personnel** : Définir leurs besoins pour améliorer leur niveau d'anglais. Travailler en binôme/équipe pour la préparation TOEIC et s'auto-évaluer ou travailler sur un projet personnel
- Entretien d'embauche : Etude et acquisition du langage spécifique utilisé lors d'entretiens d'embauche. Simulation d'entretien d'embauche : filmée et visionnée. Cette mise en situation permettra de s'auto-évaluer et de prendre conscience de ses faiblesses : décryptage langage, posture gestuelle, élocution.
- Session intensive : projets en petits groupes et présentation powerpoint.
- 2 Rapports du travail (un pour chaque module)

#### TYPE D'ÉVALUATION

- Validation (note entre 3-5) : 1) 2 Rapports du travail et appréciation de l'enseignant, 2) Entretien professionnelle, 3) présentation du projet de session.
- Rattrapage : Travail personnel avec présentation powerpoint et rapport.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : avoir atteint le niveau B2+

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : ANGLAIS

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

#### CONTRIBUTION DE L'UNITÉ D'ENSEIGNEMENT À L'ACQUISITION DES COMPÉTENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°13

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Projet de recherche et développement (PRD)</b>	<b>OBLIGATOIRE</b>	
	<b>CREDITS ECTS</b> 10	<b>S9</b>

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Il s'agit d'un stage individuel de type recherche et développement qui peut se dérouler soit dans une entreprise, soit dans un laboratoire universitaire. Le sujet du travail doit être à caractère scientifique ou technologique. D'une durée de 2 mois à la fin du S9, il a lieu en France ou à l'étranger.

L'objectif de ce projet de recherche et développement est d'apporter à l'élève-ingénieur une initiation à la démarche de recherche/développement.

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue du PRD, l'élève devra être capable de :

- Faire une bibliographie détaillée et complète autour d'une thématique de recherche donnée
- S'insérer dans une équipe de Recherche et Développement universitaire ou industrielle
- Rédiger un rapport synthétique du travail effectué
- Avoir un avis scientifique éclairé sur sa thématique de recherche
- Faire preuve d'autonomie vis-à-vis du sujet de recherche qu'on lui confie

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Chaque année, l'école diffuse au cours du S9 une liste de sujet de PRD proposés par les laboratoires de recherche du site. Les élèves-ingénieurs suivant les parcours « génie des procédés avancé », « génie de procédés pour les produits » et « génie des procédés biotechnologiques » sont invités à faire leur choix parmi ces propositions. Les élèves-ingénieurs peuvent également proposer à la Direction des Etudes des sujets de recherche et de développement se déroulant dans un service dédié en entreprise (dans le cadre d'un stage-ingénieur...).

La liste des sujets attribués est publiée.

### TYPE D'EVALUATION

L'évaluation est basée sur un rapport de recherche dont le contenu, la longueur et la date de remise sont à définir avec l'encadrant. Des soutenances orales sont organisées dans la dernière semaine du PRD. Le jury de soutenance est composé d'au moins trois personnes dont un membre extérieur à l'équipe de recherche. La durée de la soutenance orale est de 20 minutes suivie de 20 minutes de questions. La note du jury tient compte du travail fourni (25%), de la démarche mise en œuvre par l'élève pour mener à bien le projet (25%), ainsi que de la qualité du rapport écrit (25%) et de la soutenance orale (25%).

### INFORMATIONS UTILES :

#### PREREQUIS :

- Avoir défini un projet professionnel.
- Connaître les bonnes pratiques permettant de rédiger un rapport.
- Maîtriser l'ensemble des concepts enseignés lors de la formation à l'Ecole.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français, sauf si le stage se déroule à l'étranger (dans ce cas l'Anglais est préféré).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Recyclage des plastiques : technologies, enjeux et challenges</i>		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 3	S9

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Présenter une vue globale de la problématique de recyclage des plastiques.
- Présenter les différentes technologies et solutions vers une économie circulaire des matériaux plastiques et illustrer les principaux facteurs inhibiteurs associés.
- Analyser les différents points de vue autour du débat sur l'interdiction des produits plastiques à l'aide des arguments purement scientifiques.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'élève-ingénieur devrait être capable de :

- Savoir quels sont les différentes technologies de recyclage des plastiques
  - Savoir quels sont les principales étapes de chaque technologie, ses avantages et ses inconvénients
- Être capable de comprendre les dangers, les bénéfices et les alternatives liés à l'utilisation de différents produits plastiques dans la vie quotidienne

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

L'enseignement est dispensé sous la forme de cours généraux et plus spécifiques ainsi que sous la forme d'étude de cas. Une visite dans un centre de recyclage est également envisagée. Les thèmes abordés lors du cours sont les suivants :

- Modèles d'économie circulaire du plastique ; État de l'art sur le cadre juridique
- Procédés de recyclage / revalorisation
- Le rôle des additives
- Collecte et technologies de tri ; labélisation et traçage
- Biopolymères ou « recyclable-by-design » ?
- L'image complète du problème ; information et désinformation ; dangers vs bénéfices

#### TYPE D'EVALUATION

Évaluation individuelle sous forme de QCM

Possibilité de compléter avec une veille bibliographique sur un sujet (à convenir avec l'équipe enseignante)

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition des compétences n°3, 9, 10

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Matériaux et nanomatériaux pour la catalyse</i>		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 3	S9

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Au cours des dernières années, la catalyse a connu un essor important avec le développement de nouveaux (nano)-matériaux. Ces derniers ont permis d'améliorer l'efficacité de nombreux procédés chimiques allant de la chimie fine jusqu'à l'abattement de liquides ou de gaz.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

- Les matériaux et les techniques de caractérisation associées
- Les complexes organométalliques et les nanoparticules utilisés en catalyse homogène ou hétérogène
- Matériaux pour la photocatalyse

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Les matériaux et les techniques de caractérisation associées.

Les complexes organométalliques et les nanoparticules utilisés en catalyse homogène ou hétérogène

Matériaux pour la photocatalyse

#### TYPE D'EVALUATION

1<sup>ère</sup> session : projet + présentation orale

2<sup>ème</sup> session : examen

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : notions de base en catalyse

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°4

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Cinétique de combustion des carburants, bio-carburants et e-carburants</i>		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 3	S9

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

L'objectif est de proposer une introduction aux techniques expérimentales permettant de réaliser l'étude cinétique des réactions de combustion en phase gazeuse et à la modélisation cinétique détaillée de ces réactions.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

Maîtriser la nature des processus élémentaires mis en jeu lors des réactions de combustion pour :

- Comprendre les phénomènes particuliers observés lors de ces réactions (flamme froide, coefficient négatif de température, auto-inflammation)
- Être capable de construire un mécanisme de combustion pour des molécules modèles simples
- Être capable de réaliser l'analyse cinétique d'un modèle pour identifier les principales voies de consommation des réactifs et les réactions les plus sensibles
- Connaître les différentes techniques expérimentales utilisées pour réaliser les études cinétiques pour être capable de choisir la technique la mieux appropriée à un problème posé (mesure de délais d'auto-inflammation, de vitesse de flamme, de profils d'espèces, etc...)

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Les notions fondamentales seront présentées sous forme de cours magistraux. Des exercices sur des problèmes concrets permettront d'illustrer les notions fondamentales vues en cours. Un exercice consistera en la construction d'un mécanisme cinétique détaillé pour un alcane de petite taille en utilisant des règles de construction systématique. Un logiciel sera utilisé pour réaliser une simulation avec un modèle cinétique détaillé et pour réaliser l'étude cinétique de ce modèle.

#### TYPE D'EVALUATION

Evaluation individuelle sous forme de QCM et d'exercices.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : connaissances de base en cinétique

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Conseillées :

G. Scacchi, M. Bouchy, J.F. Foucaut, O. Zahraa, Cinétique et catalyse, Lavoisier-Tec & Doc  
F. Battin-Leclerc, J. M. Simmie, E. Blurock, Cleaner Combustion, Springer

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°3

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Résolution numérique des équations de transport</i>		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 3	S9

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

L'objectif est de proposer une courte introduction aux techniques de résolution numérique pour les écoulements et transferts, diffusifs et convectifs, couplés. Ce cours doit permettre d'aborder une formation aux outils professionnels (par exemple Ansys Fluent), et de programmer des codes de calcul pour des problèmes simples.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

Il s'agit en particulier de :

- Connaître les méthodes et principaux algorithmes pour la résolution numérique des écoulements et transferts couplés
- Savoir implanter ces méthodes dans un code de calcul (dans des cas raisonnablement simples)
- Avoir une démarche critique vis-à-vis des résultats numériques, et savoir discerner en particulier l'influence de la méthode de discrétisation, du maillage, des méthodes numériques de résolution, des réglages de ces méthodes...
- Savoir exploiter les résultats obtenus (post-processing)

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Les notions fondamentales (discrétisation, algorithmes de résolution, ...) seront présentées sous forme de cours magistraux. Un projet faisant appel à l'intégralité des notions présentées sera distribué dès le début de l'enseignement, et évoluera au fur et à mesure de l'avancement du cours. Les séances d'exercices pourront être soit des exemples simples illustrant des notions vues en cours, soit du suivi de projet.

#### TYPE D'EVALUATION

Evaluation collective avec le projet

#### INFORMATIONS UTILES

##### PREREQUIS :

- Bonne connaissance d'au moins un langage de programmation
- Bonne connaissance des méthodes numériques classiques
- Bonne connaissance de la physique des écoulements fluides et des transferts

Dans le cursus ENSIC, ceci correspond aux modules « Informatique et méthodes numériques » et « Phénomènes de transfert I et II »

- Les étudiants ayant suivi « Mécanique des Fluides numériques 1 » au S8 ne sont pas autorisés à s'inscrire au présent module, la formation dispensée étant très similaire.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

##### Obligatoire :

1. E. Saadjan, « Les bases de la mécanique des fluides et transferts de chaleur et de masse pour l'ingénieur », 2009, Ed. Sapiaientia

##### Conseillée :

1. H.K. Versteeg et W. Malalasekera, « An introduction to computational fluid dynamics », 1995, Longman Scientific & Technical

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition des compétences n°2, 3

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Génie électrochimique appliqué à l'énergie et la protection de l'environnement		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 3	S9

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

- Acquérir les connaissances de base en électrochimie théorique et en génie électrochimique
- Avoir une vue synthétique de l'application du génie électrochimique dans les domaines de l'énergie et de la protection de l'environnement

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin de la formation l'étudiant devrait :

- Etre familiarisé avec les procédés électrochimiques
- Savoir évaluer les cinétiques de transfert de charge et de transport de matière via la détermination des constantes de transfert de charge et de transport de matière, respectivement.
- Savoir établir des bilans de matière dans les électrolyseurs idéaux.
- Etre capable de dimensionner
  1. Une pile à combustible à membrane ou un électrolyseur d'eau
  2. Une cellule électrochimique pour l'oxydation anodique appliquée au traitement des eaux.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Le génie électrochimique connaît un vif d'intérêt tant au niveau de la conversion et du stockage de l'énergie que dans des applications émergentes dans le domaine de la protection de l'environnement. La formation est constituée d'un socle théorique commun :

- Rappel de thermodynamique pour les systèmes électrochimiques, potentiels et tensions de cellule, énergie, relation de Nernst, constante d'équilibre et potentiel redox, spontanéité des réactions, notion d'électrodes (anode et cathode), effet Joule, notions de réacteurs électrochimiques et de générateurs,
- Quantité d'électricité, loi de Faraday et courants faradiques ou capacitifs,
- Notion de catalyseur et de cinétique électrochimique, relation de Butler-Volmer et droites de Tafel, transport de matière et transfert de charge, distribution de courant électrique

L'enseignement d'électrochimie général est suivi de la présentation des deux applications visées :

- Energie : dimensionnement de piles et d'électrolyseurs et bilans énergétiques globaux,
- Protection de l'environnement : bilan de matière dans les électrolyseurs idéaux, application de l'électrolyse au traitement de l'eau (matériaux d'électrodes, oxydants formés, paramètres et contrôle de la réaction), application de l'oxydation anodique à la désinfection et au traitement des eaux usées (méthodologie, modèles cinétiques, dimensionnement, équipements mis en œuvre, coûts, aspects d'hygiène et sécurité).

Cette formation, sous forme de TD intégrés dans le cours (Cours/TD), est délivrée par deux chercheurs du CNRS qui développent ces thématiques au sein du Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (LRGP).

#### TYPE D'EVALUATION

Examen final en 2 h par écrit (100%)

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Connaissances en Génie Chimique

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : Documents distribués aux élèves ; bases de données scientifiques

Conseillées :

## CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition des compétences n°3, 9

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Verres, Métaux, Céramiques : le monde industriel des très hautes températures		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 3	S9

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Cet enseignement vise à :

- Appréhender les différences facettes de l'industrie lourde (verre, métaux, céramiques), dont les aspects matières premières et développement durable,
- Comprendre la logique de formulation d'un verre et de continuum de propriétés,
- Comprendre à travers des exemples les interactions entre produits, propriétés, procédés et marchés,
- Appréhender les réactions et les réacteurs chimiques à très hautes températures,
- Connaître les caractéristiques principales de ces produits emblématiques et les applications marché qui en découlent (cas des vitrocéramiques).

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin du module, l'étudiant devrait être capable de :

- Echanger avec des interlocuteurs industriels concevant, produisant et commercialisant ces matériaux,
- Maîtriser les bases des structures de ces matériaux qui sont par ailleurs utilisés dans l'industrie chimique pour la mise en œuvre de réacteurs,
- Connaître les différents aspects du métier de formulateur,
- Connaître les analogies verre/polymère/métal/céramique,
- Appréhender le monde des matières premières et de leurs transformations,
- Connaître les métiers de la transformation verrière (formage, usinage, moulage, ...) et du traitement de surface,
- Être sensibilisé aux exigences clients.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

La formation s'appuie sur :

- Des cours : structure des produits (présentation d'échantillons), réactions chimiques à haute température (souvent improprement appelées fusion), réacteurs chimiques
- Des exemples de cas réels (marchés, industries),
- Des TD de mise en situation : les étudiants travailleront sur des exercices de détermination de taille de marché, de conception de produits, de développement durable, de formulation, ...
- Une visite de site industriel (industriel lourde) est organisée.

#### TYPE D'EVALUATION

QCM et exercice analogue à ce qui aura été vu en cours

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais (ou français selon les participants)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : Documents photocopiés distribués

Conseillées :

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition des compétences n°4 et 7

Les enseignements de cette option contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°14

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Solutions technologiques pour la capture, le stockage et l'utilisation du CO2		OPTIONNEL
	CREDITS ECTS 3	S9

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Les objectifs généraux de l'unité d'enseignement sont les suivants :

- Connaître les différents aspects technologiques du Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS),
- Comprendre les aspects liés à la demande d'énergie, au coût et à l'impact sur l'environnement des options technologiques du CCUS,
- Comprendre les défis liés à leur déploiement industriel.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

Les objectifs spécifiques de l'unité d'enseignement sont les suivants :

- Avoir une vue d'ensemble des stratégies de capture, d'utilisation et de stockage du carbone,
- Comprendre le choix stratégique de la technologie de capture en fonction des sources de CO<sub>2</sub> et des voies d'utilisation,
- Être capable de concevoir une unité de capture de CO<sub>2</sub> en utilisant un logiciel de simulation de procédés,
- Savoir analyser l'impact des conditions opératoires sur la performance du procédé (pureté de H<sub>2</sub> et taux de récupération de CO<sub>2</sub>) à travers une étude paramétrique,
- Évaluer et discuter les besoins énergétiques de la capture du CO<sub>2</sub> (OPEX)

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

**Cours magistraux** : (Total 9h)

- Introduction au CCUS
- Prétraitement des fumées de post-combustion
- Capture du dioxyde carbone
- Utilisation du dioxyde de carbone

**Travail encadré de dimensionnement** (Total 8h) : quatre sessions de suivi de projet de 2h chacune

**Soutenance orale du travail de dimensionnement** (1h30)

#### TYPE D'EVALUATION

Les étudiants réalisent un travail de dimensionnement d'une unité de capture du CO<sub>2</sub> utilisant un logiciel de simulation de procédés. Le rapport de projet et la soutenance orale réalisés par les étudiants sont évalués par une note chacun.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : bases générales de génie des procédés : phénomènes de transports et transferts, hydrodynamique Génie des séparations, échangeurs de chaleurs, Conception de procédé assistée par ordinateur.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : Anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

NECESSAIRES :

CONSEILLEES :

#### CONTRIBUTION DE L'OPTION A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette option contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°9

Les enseignements de cette option contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°14

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Génie des procédés et énergie		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S9 PARCOURS PROCEDES

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Les enseignements visent à :

- Sensibiliser les élèves aux défis technologiques et sociétaux liés à la production énergétique, à travers des conférences effectuées par des intervenants industriels et des visites de sites de production d'énergie.
- Comprendre les principaux phénomènes chimiques mis en jeu dans la combustion pour des applications industrielles (chaudières, moteurs, turbines à gaz, ...). Conséquences de l'apparition de nouveaux carburants (bio et e-carburants) et de nouveaux modes de combustion sur les procédés.
- Comprendre comment réaliser l'analyse exergetique d'un procédé afin d'y réduire les dégradations d'énergie

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin du module l'étudiant devrait :

- Comprendre le contexte mondial de production et de demande énergétique
- Connaître les principaux procédés dédiés à la transformation de l'énergie
- Savoir analyser des paramètres de combustion et savoir calculer les principaux paramètres chimiques associés
- Savoir construire des diagrammes de combustion et les appliquer à des cas pratiques
- Être capable d'évaluer l'exergie de fluides purs ou de mélanges à partir de données appropriées
- Être capable d'effectuer des bilans exergetiques sur des systèmes fermés (réactifs ou non-réactifs) et ouvert en régime permanent.

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Combustion : 4 cours (1h30), 4 séances d'exercices (1h30) ; sensibilisation aux enjeux de la transition énergétique (préservation des ressources, nouveaux types de carburants, nouveaux modes de combustion), définition et détermination de paramètres physico-chimiques impliqués en combustion ; approche thermodynamique de la combustion : les diagrammes de combustion ; indice de Wobbe, rendement de combustion et notion de pertes par les produits de combustion, application à la combustion dans les chaudières et dans les moteurs à combustion interne, cycles thermodynamiques idéaux ; 1h30 examen.

Analyse exergetique : 8h de cours, 4h de TD ; définition de l'exergie ; bilans exergetiques en systèmes fermé et ouvert ; calcul de l'exergie de systèmes multiconstituants par les approches gamma-phi et phi-phi ; analyse exergetique de systèmes réactifs ; applications pratiques aux procédés des industries chimiques, 1h30 examen.

Conférences industrielles et visites : 11 créneaux de 3h (5 créneaux pour Procédés) ; thématiques abordées : contexte mondial de l'énergie, extraction du pétrole et procédés oil & gas, capture et stockage du CO<sub>2</sub>, énergie éolienne et hydroélectrique, énergie solaire, biomasse et énergie, énergie nucléaire et gestion des déchets nucléaires, procédés de méthanisation ; Evaluation : QCM final, rédaction de résumés et présence.

### TYPE D'EVALUATION

Présence obligatoire aux conférences, QCM final et rédaction de résumés (20%) ; examen combustion (40%), examen analyse exergetique (40%)

## INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : connaissances en génie chimique, en cinétique et en thermodynamique

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais pour Combustion et français pour Conférences industrielles et Analyse exergétique

## CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°4, 8, 9

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <b>Optimisation dynamique et commande avancée</b>		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S9 PARCOURS PROCEDES

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le cours d'optimisation dynamique de procédés vise à :

- Rappeler les différents types de modèles dynamiques de procédés (différentiels, algébro-différentiels et algébro-différentiels partiels).et les méthodes de résolution couramment utilisées
- Définir et formuler un problème d'optimisation dynamique
- Présenter la méthode de résolution CVP combinée à la méthode des sensibilités
- Utiliser le logiciel gPROMS pour quelques applications

Le cours de commande avancée vise à :

- Découvrir les méthodes d'identification paramétrique afin de déterminer les modèles de fonction de transfert
- Découvrir les méthodes de commande par fonction de transfert pour les systèmes monovariables et dans l'espace d'état pour les systèmes multivariables

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin des deux cours, l'étudiant devrait être capable de :

- Simuler un procédé décrit par des équations différentielles ordinaires, algébro-différentiels ou algébro-différentiels partiels
- Formuler un problème d'optimisation dynamique
- Utiliser le logiciel gPROMS pour résoudre les problèmes d'optimisation dynamique, avec et sans contraintes
- Identifier un système monovariante à l'aide d'une fonction de transfert
- Mettre au point une commande par fonction de transfert pour les systèmes monovariables et dans l'espace d'état pour les systèmes multivariables, pour des exemples pris dans le domaine du génie des procédés

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

##### I.Optimisation dynamique

##### 1. Modèles dynamiques de procédés

- Modèles décrits par des équations différentielles ordinaires (ODE)
- Modèles décrits par des équations algébro-différentielles (DAE)
- Modèles décrits par des équations algébro-différentielles partielles(PDAE) et leur transformation en ODE ou DAE

##### 2. Simulation dynamique

- Spécification des conditions initiales
- Formules d'intégration simple et d'ordre supérieur (BDF combinée à la méthode de Newton, prédiction-corrrection)
- Notion d'index et systèmes d'équations algébro-différentielles d'index élevé
- Utilisation du logiciel gPROMS pour la simulation de réacteurs batch et fedbatch

##### 3. Optimisation dynamique

- Rappels sur l'optimisation statique
  - Conditions d'optimalité de Karush-Kuhn-Tucker (KKT)
  - Optimisation quadratique successive (SQP)
- Définition et formulation mathématique d'un problème d'optimisation dynamique

- Calcul des gradients à l'aide de la méthode des sensibilités
- Résolution à l'aide de la méthode « paramétrisation de la variable de commande » (CVP)
- Utilisation du logiciel gPROMS pour l'optimisation de réacteurs batch

#### 4. Projet

- Description et modélisation d'un procédé (colonnes de distillation, réacteurs, ...)
- Simulation à l'aide du logiciel gPROMS
- Définition et formulation de problèmes d'optimisation dynamique
- Résolution à l'aide du logiciel gPROMS

## II. Commande avancée

- Utilisation de l'environnement Matlab Simulink pour l'étude de systèmes dynamiques linéaires dans l'espace d'état et la synthèse de régulateurs
- Synthèse de régulateurs améliorés
- Commande multivariable en temps continu
- Commande monovariable en temps discret

Projet : mise au point d'une commande monovariable ou multivariable sur un réacteur modèle à l'aide de Matlab.

### TYPE D'ÉVALUATION

Projet optimisation (50 %) ; projet commande avancée (50 %)

### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : méthodes du Génie Chimique, écriture des bilans, méthodes d'analyse numériques et d'optimisation, Informatique (programmation)

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : Polycopiés

Conseillées :

1. Applied Optimal Control: Optimization, Estimation, and Control, Arthur E. Bryson and Yu-Chi Ho, Taylor & Francis Inc; Revised Edition, (1988)
2. Nonlinear Programming: Theory and Algorithms, Mokhtar S. Bazaraa, Hanif D. Sherali, C. M. Shetty, Wiley; 2nd edition, (1993)
3. Commande des Procédés, Jean-Pierre Corriou, Lavoisier Tec & Doc, 2<sup>ème</sup> édition (2003)

### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°3

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°11

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Intensification des procédés et innovation		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S9 PARCOURS PROCEDES

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le cours d'intensification des procédés et innovation vise à :

- Sensibiliser les élèves aux équipements et technologies permettant l'intensification des procédés
- Former les élèves à une démarche structurée conduisant à l'intensification des procédés et à l'innovation
- Donner les connaissances de base nécessaires au calcul des procédés de séparation membranaires
- Sensibiliser les élèves à l'importance d'une démarche d'innovation et aux méthodologies associées

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A la fin du module l'étudiant devrait

- Être capable d'analyser et de proposer des améliorations pour un procédé donné (détermination des phénomènes limitants, mise en place d'une stratégie d'intensification)
- Savoir sélectionner un procédé de séparation membranaire en fonction d'un jeu de contraintes (nature du mélange à séparer, performances visées, conditions opératoires)
- Être capable de dimensionner un procédé à membranes pour une application donnée et confronter ses performances à d'autres technologies (efficacité énergétique, productivité)
- Comprendre l'importance et l'interaction entre les trois piliers de l'innovation : la créativité (génération de nouveautés) ; la valeur (d'estime, d'usage et d'échange) ; la socialisation (maîtrise de la conduite du changement)

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Intensification des procédés : 4 séances de cours (1h30) – 3 séances de TD (1h30) ; définition de l'intensification ; technologies existantes (réacteur à disque tournant, distillation réactive, etc.) ; intensification par microstructuration ; généralisation du choix de stratégie d'intensification par l'analyse des limitations (transfert, équilibre, risque, saturation, etc.) et identification de technologies permettant de lever ces limitations ; étude de cas industriels sur des procédés de synthèse ou de traitement d'effluents.

Procédés membranaires : 4 séances de cours (1h30) – 3 séances de TD (1h30) ; notion de sélectivité, taux de réjection et perméabilité ; matériaux et modules membranaires ; transfert membranaire, polarisation de concentration ; effets osmotiques ; études de cas industriels (concentration d'une solution macromoléculaire, dessalement d'eau de mer par osmose inverse, intensification des procédés d'absorption gaz-liquide par contacteurs).

Projet d'innovation : Travail sur les différentes facettes de l'innovation et mise en œuvre d'une démarche innovante sur un exemple issu des industries chimiques (en collaboration avec nos partenaires industriels).

### TYPE D'EVALUATION

Examen écrit d'intensification et de procédés membranaires (25 %), projet d'innovation (75%).

### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : connaissances en génie chimique, en cinétique et en thermodynamique

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : documents de cours

## CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°2, 4, 6, 9

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) aux compétences n°11, 12

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Produits de spécialité</b>		<b>OBLIGATOIRE</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> 4	<b>S9 PARCOURS</b> <b>PRODUITS</b>

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le cours vise à :

- Introduire les notions de base sur la copolymérisation radicalaire
- Illustrer les principaux types de copolymères et leurs caractéristiques
- Décrire le calcul des réacteurs de copolymérisation radicalaire
- Initier les élèves à l'industrie de la plasturgie et aux différents procédés de mise en forme des matières plastiques
- Introduire la physico-chimie des polymères en solution, aux interfaces et en émulsion
- Acquérir des connaissances en caractérisation et en analyse du comportement des polymères utilisés dans les produits formulés
- Décrire les principaux polymères hydrosolubles (neutres, chargés et amphiphiles) pour des applications en formulation dans des domaines variés

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'élève-ingénieur devrait être capable de :

- Comprendre la spécificité et l'intérêt des copolymères par rapport à de simples mélanges d'homopolymères
- Réaliser les calculs cinétiques qui sont des prérequis au dimensionnement des réacteurs de copolymérisation
- Concevoir et mettre en œuvre des réacteurs de copolymérisation radicalaire
- Formuler et mettre en forme des matières plastiques
- Tirer parti des propriétés des polymères en solution, aux interfaces et en émulsion pour des applications en formulation dans des domaines variés
- Comprendre le lien entre les caractéristiques structurales et le comportement des produits, notamment aux interfaces

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

#### 1. Copolymères : des procédés aux applications

- Introduction à la copolymérisation radicalaire
- Cinétique de copolymérisation
- Principaux types de copolymères produits à l'échelle industrielle et leurs caractéristiques
- Modélisation et conception de réacteurs de copolymérisation
- Introduction à la polymérisation radicalaire contrôlée pour la synthèse de copolymères à architecture contrôlée
- Exemples d'applications à l'élaboration de copolymères à architecture contrôlée en privilégiant les applications marquantes développées par les industriels français Arkema et Solvay ces dernières années

#### 2. Formulation et mise en forme des matières plastiques

- Présentation de l'industrie de la plasturgie et des différents procédés de mise en forme des matières plastiques : extrusion, injection, calandrage, thermoformage, rotomoulage, moulage haute pression des thermodurcissables
- Dimensionnement d'un procédé d'extrusion : relation débit et perte de charge en extrusion, calcul de l'auto-échauffement des polymères en cours d'extrusion, relations entre les conditions opératoires du procédé et la structure du produit fini
- Formulation des matières plastiques : concepts et méthodologie, planification d'expériences en formulation, choix des résines de base, charges, additifs, adjuvants.

### 3. Polymères en solution, aux interfaces et en émulsion

- Polymères en solution :
- Physico-chimie des polymères neutres et chargés en solution
- Généralités sur les polymères en solution: solubilité, différents régimes de concentration et températures critiques de solubilité
- Thermodynamique des solutions de polymère diluées
- Méthodes de caractérisation des polymères : osmométrie, tonométrie, viscosimétrie, diffusion de la lumière, chromatographie par exclusion stérique et leur couplage dans des systèmes avancés de caractérisation des polymères
- Généralités sur les polymères hydrosolubles pour des applications en formulation dans des domaines variés (cosmétique, pharmacie, chimie fine, etc...)
- Polymères aux interfaces :
- Importance de la notion de polymères aux interfaces dans les produits formulés
- Conformation des polymères aux interfaces
- Aspects cinétiques et thermodynamiques de l'adsorption des macromolécules
- Polymères en émulsion :
- Application des latex dans les produits formulés
- Liens entre la formulation d'un latex et ses propriétés macroscopiques
- Mécanisme d'une réaction de polymérisation en émulsion : cas général et cas limites
- Influence des conditions de réaction sur les propriétés du latex formé
- Copolymérisation en émulsion

#### TYPE D'ÉVALUATION

1. Copolymères : des procédés aux applications : un contrôle final écrit de 1h30 en fin de module
2. Formulation et mise en forme des matières plastiques : un contrôle final écrit de 1h30 en fin de module
3. Polymères en solution, aux interfaces et en émulsion : un contrôle écrit en fin de module

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Bases de chimie et physico-chimie des interfaces et macromoléculaire. Connaissances générales en génie chimique. Connaissances élémentaires en chimie des polymères.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : aucune

Conseillées :

#### 1. Copolymères : des procédés aux applications

1. Principles of Polymer Chemistry, G. Odian, 3<sup>ème</sup> édition, John Wiley and Sons, 1991, Chapitre 6 "Chain copolymerization", pages 452-531.
2. Polymer Chemistry – An introduction, R.B. Seymour, C.E. Carraher, 6<sup>ème</sup> édition, Marcel Dekker, 2003, Chapitre 9 "Copolymerization", pages 332-367.

#### 2. Formulation et mise en forme des matières plastiques

1. Matières plastiques - Propriétés, mise en forme et applications industrielles des matériaux polymers, Marc Carrega, Vincent Verney, 3e édition, Dunod,, 2012.
2. Polymer Extrusion, Pierre G. Lafleur Bruno Vergnes, Wiley, First published: 8 May 2014.

#### 3. Polymères en solution, aux interfaces et en émulsion

1. Chimie et physico-chimie des polymères, M. Fontanille et Y. Gnanou, 2<sup>ème</sup> édition, Dunod, 2010.
2. Initiation à la chimie et à la physico-chimie des polymères, volume 1, Physico-chimie des polymères, édité par le Groupe Français d'études et d'applications des polymères (le GFP).
3. Initiation à la chimie et à la physico-chimie des polymères, volume 5, exercices et travaux dirigés, édité par le Groupe Français d'études et d'applications des polymères (le GFP).

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition de la compétence n°4

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°11

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Propriétés et qualités des produits		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S9 PARCOURS PRODUITS

## OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Le cours vise à :

- Appréhender les plans d'expériences et leur utilisation
- Faire découvrir la planification en atelier batch
- Faire le lien entre les propriétés macroscopiques des polymères et les caractéristiques structurales et morphologiques associées
- Introduire les différents types de dégradation possibles pour les polymères et l'impact sur leurs propriétés
- Présenter les méthodes de stabilisation des polymères qui permettent leur mise en forme et applications
- Aborder le phénomène de transport dans les polymères et gels
- Connaître le procédé de cristallisation et le modéliser
- Analyser le processus de mise en forme d'un médicament dans le respect des spécificités de l'industrie pharmaceutique et/ou cosmétique selon la démarche « Quality by Design » (QbD)

## OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'élève-ingénieur devrait être capable de :

- Mettre en œuvre un plan d'expérience
- Optimiser la production en atelier batch
- Concevoir et dimensionner un réacteur conduisant au produit souhaité et aborder les relations procédés-structure-propriétés
- Identifier la cause de la dégradation d'un polymère sur la base d'informations collectées sur le terrain
- Définir une stratégie pour la prévention de la dégradation et mettre en œuvre les stabilisants de façon adaptée
- Stabiliser efficacement un polymère pour sa mise en forme ou pendant sa durée de vie
- Comprendre le transport dans les polymères et les gels
- Modéliser par les bilans de population le procédé de cristallisation, agrégation et brisure
- Concevoir et mettre en œuvre des opérations unitaires spécifiques de la fabrication des médicaments et des cosmétiques :
  - o Mélange et granulation
  - o Compaction et enrobage
  - o nano-Emulsification et Microencapsulation
  - o Lyophilisation

## CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

### 1. Plan d'expériences

- Introduction : histoire, processus d'acquisition des connaissances, terminologie, modélisation mathématique à priori de la réponse
- Méthodologie des plans d'expériences : définition du problème, construction du modèle, sélection des facteurs et réponses (moyen mnémotechnique)
- Types de Plans : Matrices de criblage, plans factoriels, plans fractionnaires, plans pour surface de réponses
- Interprétation des résultats : Matrices d'Hadamard, signification des coefficients et des interactions, diagramme des effets
- Notion de Statistique : Modélisation, dispersion des coefficients, facteurs et interactions influents
- Mise en situation avec utilisation d'un outil : Excel et Design-Expert®

### 2. Polymères : propriétés thermophysiques, dégradation et stabilisation

#### Propriétés thermophysiques des polymères

- Généralités sur les matériaux polymères : structure chimique, morphologie, propriétés
- Température de transition vitreuse et température de fusion : définition, mesure et méthodes d'estimation
- Relation entre structure chimique et transitions thermomécaniques : interprétation à partir de considérations physiques, conséquences en applications et mise en forme des matériaux

#### Dégradation et stabilisation des polymères

- Conséquences de la dégradation des polymères sur leurs propriétés
- Présentation des différents types de dégradation : physique, mécanique et chimique
- Différents mécanismes de la dégradation chimique : dégradations thermique, thermique oxydante, photo-oxydante, hydrolytique, radiochimique, biodégradation
- Différentes classes de stabilisants : thermiques, photochimiques, fongicides et bactéricides, ignifuges
- Impact des stabilisants sur l'environnement et la santé

### 3. Transport dans les polymères, libération contrôlée

- Notion de perméabilité et modèle de solution-diffusion
- Méthodes expérimentales de détermination des coefficients de transport
- Mécanismes et modèles de diffusion dans les polymères et gels
- Libération contrôlée de principes actifs (systèmes réservoir / systèmes matriciels) : processus et modélisation des cinétiques de libération
- Procédés d'élaboration, produits et exemples d'applications

### 4. Cristallisation

- Procédés de cristallisation, agrégation et brisure
- Modélisation par les bilans de population (théorie DLVO)

### 5. Produits de santé

- Nature et contenu des recommandations ICH et GLP : Validation vs QbD
- Principes, technologies et dimensionnement des opérations unitaires pharmaceutiques (OUPs)
- Apprentissage Par Problème (APP)

## TYPE D'ÉVALUATION

Plan d'expériences : contrôle intermédiaire (online-test réalisé pendant la 3ème séance du CM) + contrôle écrit final

Cristallisation : évaluation de 1h30

Polymères : propriétés thermophysiques, dégradation et stabilisation : contrôle écrit en fin de module

Transport dans les polymères, libération contrôlée : Projet suivi d'une soutenance orale

Produits de santé : QCM

## INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Bases de chimie et physico-chimie macromoléculaire. Connaissances élémentaires en chimie des polymères. Connaissances générales en mécanique des fluides et thermique des milieux continus.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : aucune

Conseillées :

1. Vieillessement chimique des plastiques : aspects généraux, J. Verdu, Les techniques de l'ingénieur, Traité plastiques et composites, Volume AM 3 151, 2002.
2. Stabilisation des plastiques : aspects généraux, S. Girois, Les techniques de l'ingénieur, Traité plastiques et composites, Volume AM 3 232, 2004.
3. La stabilisation des polymères, J. Ecole, Nathan, Encyclopédie technique pratique, 1991.  
Polymers and the environment, G. Scott, RSC Paperbacks, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1999.

## CONTRIBUTION DE L'UNITÉ D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°4, 5, 6, 13

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°3

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Etude de cas - projet de conception de produits innovants</b>		<b>OBLIGATOIRE</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> 4	<b>S9 PARCOURS</b> <b>PRODUITS</b>

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Les objectifs sont :

- Développer la pensée créative et l'appliquer en créant virtuellement un produit innovant
- Construire et exécuter un plan de conception de produit innovant, de l'idée à l'atelier pilote
- Mobiliser les compétences existantes en génie chimique dans un processus de conception de produit chimique de spécialité à fonction d'usage spécifique
- Connaître et adapter un outil d'évaluation de la rentabilité potentielle d'un nouveau produit lors des différentes étapes de la conception
- Intégrer l'impact environnemental et sociétal du projet et du produit dans la démarche de conception

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

Les objectifs plus spécifiques sont :

- Mobiliser les connaissances et compétences scientifiques, techniques et organisationnelles acquises dans les semestres précédents pour concevoir un produit innovant de l'idée jusqu'à la preuve de concept
- Calculer la rentabilité potentielle du projet et inclure ce critère dans les critères de transition de phases du projet
- Chiffrer l'impact environnemental et sociétal du projet à l'aide d'outils appropriés et inclure ce critère dans les critères de transition de phases du projet
- S'intégrer rapidement et efficacement en tant qu'expert scientifique dans une activité structurée en groupe de projet
- Analyser la propriété intellectuelle relative au produit innovant et de mettre en œuvre une stratégie pour la contourner si nécessaire

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

- Contenu
  - o Les processus innovants, leur organisation, leurs facteurs clé de succès, leur planification
  - o Les relations structure-propriétés des produits dispersés complexes
  - o Les outils de conduite de projets innovants : investissements, coûts, rentabilité, profitabilité
  - o Le fonctionnement humain d'un groupe de projet
- Méthodes d'enseignement
  - o Team working
  - o Etude de cas
  - o Apprentissage par l'expérience
  - o Apprentissage par problèmes

#### EVALUATION

- Rapport de preuve de concept et présentation orale du projet

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : connaissances et compétences en génie chimique niveau M1

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : anglais et/ou français

## CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°4, 6, 7, 9, 11, 13

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Stage Ingénieur</i>		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 30	S10

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Il s'agit d'un stage à caractère professionnalisant se déroulant obligatoirement en entreprise ou dans un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial, d'une durée minimale de 5 mois et maximale de 6 mois. Le stage a lieu en France ou à l'étranger. Ce stage est la première expérience significative dans le monde professionnel. Il a pour but d'amener l'élève-ingénieur à être confronté à la réalité du métier d'ingénieur, tant dans ses aspects techniques que dans ses dimensions humaines, organisationnelles et réglementaires.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

À l'issue du stage ingénieur, l'élève devra être capable de :

- remplir une mission d'ingénieur par la résolution de problèmes techniques complexes (avec des objectifs fixés en termes de délais, de coût et de qualité),
- faire preuve d'imagination et de créativité ; être proactif et de faire preuve d'autonomie vis-à-vis de la mission qu'il lui a été confiée,
- présenter des conclusions et des propositions concrètes ; apporter une expertise technique et une aide à la décision ; faire passer un message avec force et conviction,
- rédiger un rapport répondant aux attentes académiques et industrielles.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Le sujet du stage est défini à l'avance et doit être approuvé par la Direction des Études. Le travail demandé au stagiaire doit correspondre aux métiers auxquels prépare l'école et doit permettre à l'élève-ingénieur de mobiliser les connaissances acquises au cours des 5 semestres précédents de la formation et de poursuivre l'acquisition de compétences. Un tuteur industriel (de l'entreprise) et un tuteur universitaire (un enseignant-chercheur de l'école) sont désignés pour chaque stagiaire.

#### TYPE D'EVALUATION :

À la fin de son stage, l'élève-ingénieur doit produire un rapport écrit présentant l'objet de son travail ainsi que les résultats obtenus. Il doit par ailleurs présenter oralement son travail devant un jury constitué du tuteur industriel et du tuteur universitaire ainsi que d'un enseignant-chercheur de l'école n'ayant pas suivi le travail. L'évaluation du stage est effectuée sur la base d'un référentiel de compétences. Pour chaque compétence, un niveau requis de référence sera nécessaire pour la validation du stage. Une liste des points d'évaluation est également déterminée pour le rapport final et pour la soutenance orale. Toute compétence évaluée à un niveau inférieur à celui du niveau de référence requis sera considéré comme non-acquise pour ce stage. L'acquisition des compétences par le stagiaire doit être motivée de façon claire et précise dans le rapport de stage et également lors de la soutenance orale. Une auto-évaluation est aussi demandée au stagiaire.

#### INFORMATIONS UTILES :

##### PREREQUIS :

- Avoir défini un projet professionnel.
- Savoir rédiger un Curriculum Vitae et une lettre de motivation.
- Maîtriser les atouts qui permettent de réussir un entretien d'embauche.
- Connaître les bonnes pratiques permettant de rédiger un rapport.
- Maîtriser l'ensemble des concepts enseignés lors de la formation à l'Ecole.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français, sauf si le stage se déroule à l'étranger (dans ce cas l'Anglais est préféré).

RESSOURCES : offres de stage et fiches pratiques disponibles sur le CAREER CENTER JOBTEASER

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Cette UE contribue directement à l'acquisition des compétences n°2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14

## ENSEIGNEMENTS DES SEMESTRES 9 et 10 - PARCOURS PROCEDIS

(alternance sous contrat de professionnalisation)

### TRONC COMMUN :

Responsable : Olivier HERBINET

<i>Intitulé de l'Unité d'Enseignement et de ses éléments constitutifs</i>	<i>Responsable</i>	<i>H</i>	<i>ECTS</i>
<b>Management et économie V</b>	Vera IVANAJ	40	2
<b>Langues V</b>	E. KASMAREK/M. ADRIAN	48	3
<b>Projet Recherche et Développement</b>	Olivier HERBINET	238/ 191,5 <sup>1</sup>	9
<b>Parcours de spécialisation (voir détail dans les tableaux ci-dessous)</b>		75,5/ 122 <sup>1</sup>	8
<b>Génie des procédés discontinus</b>	Olivier HERBINET	66	4
<i>Simulation des réactions discontinues</i>	Olivier HERBINET	18	
<i>Optimisation dynamique de procédés</i>	Abderrazak LATIFI	18	
<i>Cristallisation industrielle</i>	Hervé MUHR	30	
<b>Conception et conduite d'installations multiproduits</b>	Olivier HERBINET	92,5	4
<i>Conduite et conception d'installations multiproduits</i>	Olivier HERBINET	88	
<i>Initiation au management et à la gestion de projet</i>	Laurent MARCHAL-HEUSSLER	4,5	
<b>Stage ingénieur PROCEDIS</b>	Olivier HERBINET		30
<b>TOTAL</b>		<b>560</b>	<b>60</b>

<sup>1</sup> Selon parcours de spécialisation

### PARCOURS DE SPECIALISATION : Procédés pour l'énergie et l'environnement

Responsable : Sabine RODE

<i>Intitulé de l'Unité d'Enseignement et de ses éléments constitutifs</i>	<i>Responsable</i>	<i>H</i>	<i>ECTS</i>
<b>Génie des procédés et énergie</b>	Olivier HERBINET	42,5	4
<i>Conférences industrielles</i>	Olivier HERBINET	15,5	
<i>Combustion</i>	Olivier HERBINET	13,5	
<i>Analyse exergetique</i>	Jean Noël JAUBERT	13,5	
<b>Intensification des procédés et innovation</b>	Jean-Marc COMMENGE	33	4
<i>Intensification des procédés</i>	Jean-Marc COMMENGE	12	
<i>Procédés membranaires</i>	Eric FAVRE	12	
<i>Projet d'innovation</i>	Jean-Marc COMMENGE	9	
<b>TOTAL</b>		<b>75,5</b>	<b>8</b>

**PARCOURS DE SPECIALISATION : Produits innovants : de la chimie aux procédés**

Responsable : Cécile NOUVEL

<i>Intitulé de l'Unité d'Enseignement et de ses éléments constitutifs</i>	<i>Responsable</i>	<i>H</i>	<i>ECTS</i>
<b>Produits de spécialité</b>	Alain DURAND	59,5	4
<i>Copolymères : des procédés aux applications</i>	Anne JONQUIERES	16,5	
<i>Formulation matières plastiques</i>	Sandrine HOPPE	13	
<i>Polymères en solution, aux interfaces et en émulsion</i>	Alain DURAND	30	
<b>Propriétés et qualité des produits</b>	Anne JONQUIERES	62,5	4
<i>Procédés pour les produits de santé</i>	Laurent MARCHAL-HEUSSLER	15	
<i>Plan d'expériences</i>	Graciela CARES	13	
<i>Propriétés thermophysiques des polymères</i>	Anne JONQUIERES	25,5	
<i>Cristallisation</i>	Eric SCHAEER	9	
<b>TOTAL</b>		<b>122</b>	<b>8</b>

***Liens vers les fiches détaillées des Unités d'Enseignements***

Tronc commun :

[Management et économie V](#)[Langues V](#)[Projet Recherche et Développement](#)[Génie des procédés discontinus](#)[Conception et conduite d'installations multiproduits](#)[Stage ingénieur PROCEDIS](#)

PARCOURS DE SPECIALISATION : Procédés pour l'énergie et l'environnement

[Génie des procédés et énergie](#)[Intensification des procédés et innovation](#)

PARCOURS DE SPECIALISATION : Produits innovants : de la chimie aux procédés

[Produits de spécialité](#)[Propriétés et qualité des produits](#)

<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Projet Recherche et Développement (PRD)</b>		<b>OBLIGATOIRE</b>
	<b>CREDITS ECTS</b> 9	<b>S9 ET S10</b> <b>PARCOURS</b> <b>PROCEDIS</b>

### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Il s'agit d'un stage individuel de type recherche et développement qui se déroule pendant les périodes à l'école. Le sujet de ce projet doit être à caractère scientifique ou technologique.

L'objectif de ce projet de recherche et développement est d'apporter à l'élève-ingénieur une initiation à la démarche de recherche/développement.

Le sujet est proposé dès le début de l'année par l'entreprise qui accueille l'élève-ingénieur alternant selon les principaux critères ci-après :

- le sujet proposé doit revêtir un intérêt pour l'entreprise et doit être différent des missions confiées en stage, mais peut toutefois être en lien direct,
- le travail demandé au stagiaire doit correspondre aux métiers auxquels prépare l'école et doit permettre à l'élève-ingénieur de mobiliser les connaissances au cours des deux premières années de la formation (tout comme le projet industriel de fin d'études) et de poursuivre l'acquisition de compétences,
- le projet est réalisé par l'élève lorsqu'il est présent à l'ENSIC : les travaux demandés doivent donc être réalisables avec les moyens disponibles à l'école, par exemple des travaux bibliographiques, ou des travaux assistés par ordinateur sous réserve de la disponibilité des logiciels nécessaires.

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue du PRD, l'élève devra être capable de :

- faire une bibliographie détaillée et complète autour d'une thématique de recherche donnée,
- s'insérer dans une équipe de Recherche et Développement universitaire ou industrielle,
- rédiger un rapport synthétique du travail effectué,
- avoir un avis scientifique éclairé sur sa thématique de recherche,
- faire preuve d'autonomie vis-à-vis du sujet de recherche qu'on lui confie.

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Le sujet du PRD est défini à l'avance avec le tuteur industriel (de l'entreprise) et doit être approuvé par la Direction des Etudes. Le travail demandé au stagiaire doit correspondre aux métiers auxquels prépare l'école et doit permettre à l'élève-ingénieur de mobiliser les connaissances acquises au cours des deux premières années de la formation et de poursuivre l'acquisition de compétences. Un tuteur industriel (de l'entreprise) et un tuteur universitaire (un enseignant-chercheur de l'école) sont désignés pour chaque stagiaire.

Les objectifs techniques du projet seront fixés au début de l'enseignement et décriront le cahier des charges du programme.

### TYPE D'EVALUATION

A la fin de sa formation, l'élève-ingénieur doit produire un rapport écrit présentant l'objet de son travail ainsi que les résultats obtenus. Il doit par ailleurs présenter oralement son travail devant un jury constitué du tuteur industriel et du tuteur universitaire ainsi que d'un enseignant-chercheur de l'école n'ayant pas suivi le travail. L'évaluation du PRD se fait par l'attribution d'une note qui prend en compte les points suivants (chacun noté sur 3 points) :

- la qualité du rapport écrit,
- la qualité de la présentation orale,
- le travail fourni durant le projet

La présentation orale a lieu le même jour que celle du stage ingénieur. Le rapport de PRD est distinct du rapport de stage.

#### INFORMATIONS UTILES

PRE-REQUIS :

- Connaître les bonnes pratiques permettant de rédiger un rapport.
- Maîtriser l'ensemble des concepts enseignés lors de la formation à l'Ecole.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français (anglais accepté)

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Cette UE contribue directement à l'acquisition des compétences n°2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 13

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Génie des procédés discontinus</i>		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S9 PARCOURS PROCEDIS

## OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Les cours de ce module visent à :

- Apprendre à résoudre les bilans matière et chaleur dans un réacteur en utilisant l'outil Matlab
- Introduire les bases nécessaires pour résoudre un problème d'optimisation dynamique ; présenter la méthode de résolution CVP combinée à la méthode des sensibilités
- Exposer les aspects fondamentaux et technologiques de la cristallisation et précipitation industrielles

## OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'élève-ingénieur devrait être capable de :

- Simuler des réacteurs chimiques discontinus avec l'objectif de définir les conditions opératoires qui conduisent à la gestion optimale du procédé
- Simuler un procédé décrit par des équations différentielles ordinaires, algébro-différentiels ou algébro-différentiels partiels
- Formuler un problème d'optimisation dynamique et utiliser le logiciel gPROMS pour résoudre les problèmes d'optimisation dynamique avec et sans contraintes
- Concevoir, dimensionner et analyser le fonctionnement des appareils de cristallisation et de précipitation

## CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

### Simulation des réactions discontinues

Ecriture et résolution de bilans de matière et de chaleur en présence de réaction chimique dans les réacteurs discontinus; en régime transitoire dans les réacteurs piston avec ou sans dispersion axiale. Bilans de population en mode discontinu. Simulation et optimisation du rendement et de la sélectivité.

### Simulation et optimisation dynamique de procédés

- Modèles dynamiques de procédés : modèles décrits par des équations différentielles ordinaires (ODE), algébro-différentielles (DAE) ou algébro-différentielles partielles (PDAE) et leur transformation en ODE ou DAE
- Simulation dynamique : spécification des conditions initiales, formules d'intégration simple et d'ordre supérieur (BDF combinée à la méthode de Newton, prédiction-correction), notion d'index et systèmes d'équations algébro-différentielles d'index élevé, utilisation du logiciel gPROMS pour la simulation de réacteurs batch et fedbatch
- Optimisation dynamique : rappels sur l'optimisation statique (conditions d'optimalité de Karush-Kuhn-Tucker (KKT) et optimisation quadratique successive (SQP)); définition et formulation mathématique d'un problème d'optimisation dynamique ; calcul des gradients à l'aide de la méthode des sensibilités ; résolution à l'aide de la méthode « paramétrisation de la variable de commande » (CVP) ; utilisation du logiciel gPROMS pour l'optimisation de réacteurs batch
- Projet tutoré : description et modélisation d'un procédé (colonnes de distillation, réacteurs, ...) ; définition et formulation de problèmes d'optimisation dynamique ; simulation et résolution à l'aide du logiciel Gproms

### Cristallisation et précipitation industrielles

Connaissances de base sur les solutions et détermination des courbes de solubilité ; caractérisation des solides ; cinétiques de cristallisation : nucléation, croissance cristalline, agglomération, brisure, mûrissement et influence des impuretés et du solvant sur la cristallisation; conception et analyse globale des procédés de cristallisation à partir des bilans de matière et thermique ; conception, dimensionnement et analyse de

fonctionnement des appareils de cristallisation basés sur les bilans de populations : procédés continus et discontinus ; précipitation, génie de la réaction chimique appliqué au calcul des précipiteurs ; applications industrielles de la cristallisation : procédés et équipements, cristallisation en bain fondu ; approche industrielle pour la maîtrise de la qualité des solides divisés et optimisation de la chaîne du solide ; aspects fondamentaux et appliqués du polymorphisme des composés moléculaires et pharmaceutiques : approches thermodynamique et structurale, méthodes de caractérisation, exemples et implications pour les procédés industriels.

#### TYPE D'ÉVALUATION

Simulation des réactions discontinues : 3h d'examen sous forme de projet tutoré

Simulation et optimisation dynamique de procédés : 3h d'examen sous forme de projet tutoré

Cristallisation et précipitation industrielles : pas d'évaluation

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Phénomènes de transferts II, cinétique chimique, Thermodynamique Chimique, Génie de la réaction chimique, Méthodes du Génie Chimique, Méthodes d'analyse numériques et d'optimisation, Informatique (programmation).

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : FRANÇAIS

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : Polycopiés

Conseillées :

1. Applied Optimal Control: Optimization, Estimation, and Control, Arthur E. Bryson and Yu-Chi Ho, Taylor & Francis Inc; Revised Edition, (1988)
2. Nonlinear Programming: Theory and Algorithms, Mokhtar S. Bazaraa, Hanif D. Sherali, C. M. Shetty, Wiley; 2nd edition, (1993)

#### CONTRIBUTION DE L'UNITÉ D'ENSEIGNEMENT À L'ACQUISITION DES COMPÉTENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°3, 4

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Conception et conduite d'installations multiproduit</i>		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 4	S9 PARCOURS PROCEDIS

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Les cours de ce module visent à :

- Faire découvrir la planification en atelier batch
- Exposer la méthodologie permettant de concevoir une unité batch à partir de données de laboratoire.
- Fournir et rappeler les notions nécessaires au dimensionnement d'installations discontinues
- Fournir les notions élémentaires liées à la gestion opérationnelle d'une entreprise
- Donner la capacité de s'intégrer rapidement et efficacement en tant qu'expert scientifique dans une activité structurée en groupe de projet

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue de ce module, l'élève-ingénieur devrait être capable de :

- Appliquer la méthodologie de conception d'une unité batch qui consiste à construire, à l'échelle industrielle, une installation discontinue à partir d'un protocole de synthèse chimique réalisée à l'échelle du laboratoire.
- Optimiser la production en atelier batch
- Maîtriser les techniques de dimensionnement des équipements discontinus, semi-continus et continus faisant partie d'un atelier de production discontinu
- Planifier et conduire un projet simple de conception de produit chimique innovant,

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

##### Conception et conduite d'installations multiproduit dans une unité batch

Définition d'une unité Batch. Différences avec l'unité continue.

Schéma de blocs, analyse et planning des tâches du procédé, détermination de la durée d'un batch.

Méthodologie de conception d'une unité batch à partir de données de laboratoire.

Bilan matière, schéma procédé, technologie des équipements utilisés dans les unités Batch

Structure et fonctionnement des installations discontinues. Dimensionnement des installations discontinues pour un et/ou plusieurs produits en se basant sur le critère "investissement minimal". Gestion d'un parc d'appareils pour composer une installation discontinue.

##### Initiation au management et à la gestion de projets innovants

Construction d'une réponse à un appel d'offre lancé par l'union Européenne

#### TYPE D'EVALUATION

Conception d'installations multiproduits et conduite d'une unité batch : Projet tutoré de réalisation d'une unité batch pour la fabrication d'un produit : technologie et dimensionnement des appareils discontinus qui constituent l'unité et ordonnancement des tâches.

Initiation au management et à la gestion de projets innovants : pas d'examen

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Bases générales de Génie des Procédés : Phénomènes de Transports et Transferts, Cinétique Chimique, Génie de la Réaction Chimique. Génie des Séparations, opérations Unitaires Mécaniques.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : Polycopiés

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Les enseignements de cette UE contribuent directement à l'acquisition des compétences n°3, 4

Les enseignements de cette UE contribuent indirectement (en tant que ressources) à la compétence n°11

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Stage Ingénieur PROCEDIS</i>		OBLIGATOIRE
	CREDITS ECTS 30	S9 ET S10 PARCOURS PROCEDIS

#### OBJECTIFS GENERAUX DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Il s'agit d'un stage à caractère professionnalisant se déroulant obligatoirement en entreprise ou dans un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial, d'une durée minimale de 33 semaines et de 43 semaines au maximum. Le stage a lieu en France. Ce stage est la première expérience significative dans le monde professionnel. Il a pour but d'amener l'élève-ingénieur à être confronté à la réalité du métier d'ingénieur, tant dans ses aspects techniques que dans ses dimensions humaines, organisationnelles et réglementaires.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

A l'issue du stage ingénieur, l'élève devra être capable de :

- Remplir une mission d'ingénieur par la résolution de problèmes techniques complexes (avec des objectifs fixés en termes de délais, de cout et de qualité)
- Faire preuve d'imagination et de créativité ; d'être proactif et de faire preuve d'autonomie vis-à-vis de la mission qu'il lui a été confiée
- Présenter des conclusions et des propositions concrètes ; d'apporter une expertise technique et une aide à la décision ; de faire passer un message avec force et conviction
- Rédiger un rapport répondant aux attentes académiques et industrielles

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Le sujet du stage est défini à l'avance et doit être approuvé par la Direction des Etudes. Le travail demandé au stagiaire doit correspondre aux métiers auxquels prépare l'école et doit permettre à l'élève-ingénieur de mobiliser les connaissances acquises au cours des deux premières années de la formation et de poursuivre l'acquisition de compétences. Un tuteur industriel (de l'entreprise) et un tuteur universitaire (un enseignant-chercheur de l'école) sont désignés pour chaque stagiaire.

#### TYPE D'EVALUATION :

A la fin de son stage, l'élève-ingénieur doit produire un rapport écrit présentant l'objet de son travail ainsi que les résultats obtenus. Il doit par ailleurs présenter oralement son travail devant un jury constitué du tuteur industriel et du tuteur universitaire ainsi que d'un enseignant-chercheur de l'école n'ayant pas suivi le travail. L'évaluation du stage-ingénieur se fait par l'attribution d'une note qui prend en compte les points suivants (chacun noté sur 4 points) :

- la qualité du rapport écrit,
- la qualité de la présentation orale,
- le travail fourni durant le stage,
- l'appréciation du tuteur industriel.

La présentation orale a lieu le même jour que celle du projet recherche & développement (PRD). Le rapport de stage est distinct du rapport de PRD.

#### INFORMATIONS UTILES :

##### PREREQUIS :

- Avoir défini un projet professionnel.
- Savoir rédiger un Curriculum Vitae et une lettre de motivation.
- Maîtriser les atouts qui permettent de réussir un entretien d'embauche.

- Connaître les bonnes pratiques permettant de rédiger un rapport.
- Maîtriser l'ensemble des concepts enseignés lors de la formation à l'Ecole.

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : Guide du stage ingénieur disponible sur l'ENT

#### CONTRIBUTION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT A L'ACQUISITION DES COMPETENCES

Cette UE contribue directement à l'acquisition des compétences n°2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14

