



# SYLLABUS

---

→ **INGÉNIEUR DES INDUSTRIES  
CHIMIQUES**

**2021-2022 (PROMOTION 2024)**

---

27/04/2021

# ENSIC

## Syllabus du Diplôme Ingénieur des Industries Chimiques

2021 – 2022

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*

*Directrice des Etudes du diplôme Ingénieur des Industries Chimiques*  
*Directeur des Etudes du diplôme Ingénieur Spécialité Génie Chimique*  
*Correspondant Pédagogique S5, S6*  
*Correspondant Pédagogique S7 S8*  
*Responsable Parcours PROCEDIS*

Bernard VITOUX  
Alexandra PERE-GIGANTE  
Jean-François PORTHA  
Axelle ARRAULT  
Rainier HREIZ  
François LESAGE

### 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 récente, 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 depuis 2012 l'Université de Lorraine. 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 Spécialité Génie Chimique

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

# DIPLOME INGENIEUR DES INDUSTRIES CHIMIQUES

## I. OBJECTIFS DE LA FORMATION

Interpellée par les 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 « génie des procédés avancé », en « génie des procédés pour les produits », et en « génie des procédés biotechnologiques » dont les enseignements sont dispensés durant les deux derniers semestres de formation académique.

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 devient acteur de sa formation, 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.

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 : l'émergence des parcours de spécialisation « Génie des Procédés pour les Produits » et « Génie des Procédés Biotechnologiques » est l'illustration la plus récente de cette symbiose qui joue un rôle fédérateur dans l'élaboration d'une pédagogie concertée, au même titre que les innovations méthodologiques en Génie des

Procédés. Les 300 chercheurs, enseignants-chercheurs et doctorants contribuent au rayonnement de l'école et fournissent un encadrement pour 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 spécialités, 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 formations 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 : 65 places offertes (50 Filière PC Chimie, 5 MP, 5 PSI, 5 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
Cycle Préparatoire Polytechnique (INP) :	6 places
Cycle Préparatoire Intégré (Chimie de Lille ou de Rennes, FGL) :	10 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
Etudiants ayant validé la 5 <sup>ème</sup> année d'études pharmaceutiques (option industrie) :	15 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'Ingénieur 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 qui leur permet de mettre en application les méthodes de management de projet, de développer une activité d'ouverture 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.

La formation (voir synoptique d'études ci-dessous) débute par un *tronc commun* qui se déroule sur les trois premiers semestres de formation, 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 et travaux pratiques. 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 et font l'objet d'un encadrement et d'une évaluation spécifiques :

- le projet informatique (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 une spécialisation scientifique et technique.

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 intégrés dans le Semestre 8.

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 proposés :

au sein de l'Ecole:

- parcours « Génie des Procédés Avancé » ;
- parcours « Génie des Procédés pour les Produits » ;
- parcours « Génie des Procédés Biotechnologiques » ;

au sein du Collégium regroupant les écoles d'ingénieur de l'Université de Lorraine :

- parcours Inter-écoles « Sciences et Technologies de l'Environnement », en commun avec l'ENSGSI et l'ENSAIA.

A l'issue du Semestre 8, une période de 3 mois est libérée (juin, juillet, août) de façon à permettre à ceux qui le souhaiteraient, 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 (filiale PROCEDIS) ;
- dans une université à l'étranger (peut se limiter à un seul semestre) ;
- dans une autre Ecole d'Ingénieurs de la Fédération Gay Lussac (FGL) ;
- dans un parcours inter-écoles de l'UL (Sciences et Technologies de l'Environnement) ;
- à l'Institut National des Sciences et Techniques du Nucléaire ;
- 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.

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 en bénéficiant 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.

## SYNOPTIQUE DES ETUDES

S10	<b>Stage Ingénieur de 4 à 6 mois</b>			Institut National des Sciences et Techniques du Nucléaire	Parcours PROCEDIS (15 mois en alternance)
S9	<b>Parcours de Spécialisation</b>  <b>Projet d'Innovation</b>	<i>Projet de Recherche et Développement</i>	Parcours inter-écoles Collégium Environnement ou Bioinformatique ou Maîtrise des Risques		
<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>	Parcours inter- écoles Environnement ou Bioinformatique		
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	<b>Tronc Commun</b>	<i>Projet informatique</i>			



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

Divers enseignements et interventions, intégrées 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.

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 spécialités 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, 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 Semestres 8 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
- Présentation du monde industriel et de la typologie des entreprises
- Présentation des différents métiers d'ingénieurs

De nombreuses manifestations sont organisées : visites de sites industriels, présentations de sociétés à l'ENSIC, notamment lors de la « Journée Entreprise » organisée aux Semestres 5, 7 et 9, organisation aux Semestres 6 et 8 de la « Journée Métiers et Carrières » avec les anciens élèves de l'ENSIC, 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 à la rédaction de curriculum vitae et de lettres de motivations, mise en situation grâce à des simulations d'entretiens d'embauches. Ces éléments sont apportés à la fois dans des séances et grâce à l'organisation dans le cadre du projet d'ouverture, de deux journées simultanées de simulations d'entretiens d'embauche avec des professionnels de l'industrie.

## 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 industrielles I	1	12			12
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>321,5</b>	<b>98</b>	<b>10,5</b>	<b>430</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	24	28		52
Procédés industriels et développement durable	7	79	24		103
Phénomènes de transfert III	3	32	24		56
Procédés de séparation thermique	5	54	24	2	80
Process systems engineering	5	68			68
Management et économie III	2	24			24
Langues III	3	40			40
Options	1	12			12
Conférences industrielles II	1	12			12
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>345</b>	<b>100</b>	<b>2</b>	<b>448</b>
<b>TOTAL TRONC COMMUN SEMESTRES 5 à 7</b>	<b>90</b>	<b>1074</b>	<b>258</b>	<b>18,5</b>	<b>1351</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 2400 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	12		18	30
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	60			60

### 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>314</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	60			60
Propriétés et qualité des produits	4	61,5			61,5
Etude de cas - projet de conception de produits innovants	4	24		9	33

<b>TOTAL</b>	<b>30</b>				<b>Env. 250</b>
--------------	-----------	--	--	--	-----------------

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

<b>PRESENTIEL FORMATION COMPLETE : SEMESTRES 5 à 10</b>	<b>Environ 1920 h</b>
---	-----------------------

CM : cours magistral ; TD : Travaux Dirigés ; TP : Travaux Pratiques

## VII. PARCOURS EN ALTERNANCE PROCÉDES OU PRODUITS OU BIOTECHNOLOGIES- PROCÉDIS

Cette formation s'adresse aux élèves ingénieurs de l'école qui souhaitent effectuer leur dernière année de formation en alternance dans une entreprise des secteurs de la Chimie Fine, la Chimie de Spécialités, la Pharmacie ou Parachimie, la Cosmétologie ou encore l'Agro-alimentaire. Cette formation, qui permet de répondre à des besoins existants, contribue de plus à intégrer les nouvelles exigences en matière de Développement Durable en accentuant l'interactivité entre le milieu professionnel et l'institution académique.

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.

Les objectifs pédagogiques visés par la filière sont :

- Donner les bases théoriques permettant d'aborder les nombreuses facettes relatives à la conception d'un produit formulé donné, sur le plan physico-chimie des colloïdes et interfaces, d'une part, et de génie des procédés appliqué aux milieux complexes d'autre part.
- Développer les connaissances relatives aux différents états de la matière mis en jeu en génie des produits (systèmes solides massifs ou dispersés, systèmes dispersés fluides, polymères et gels), ainsi que les bases de compréhension des principales méthodes de caractérisation et des phénomènes susceptibles de se dérouler lors de la fabrication ou de l'utilisation du produit.
- Maîtriser les principaux procédés biotechnologiques existant dans les industries pharmaceutique, chimique et de l'énergie.
- Savoir intégrer les spécificités de la mise en œuvre industrielle de biocatalyseurs (couplages, contraintes).
- Savoir utiliser les outils spécifiques du génie des bioprocédés pour la compréhension et la conduite des procédés de production.
- Fournir les concepts théoriques et pratiques nécessaires au dimensionnement ou la simulation ainsi qu'au choix des équipements discontinus faisant partie d'un atelier de production batch.
- Apporter les connaissances et les outils nécessaires à la mise en place et la gestion d'un atelier batch mono ou multiproduit et à l'ordonnancement des tâches.

Les étudiants doivent suivre l'un des parcours proposé au Semestre 8 (« Génie des Procédés Avancé », « Génie des Procédés pour les Produits », « Génie des Procédés Biotechnologiques ») et valider les Chapitres 1 et 2. La formation comporte à l'ENSIC un volume horaire total de 540 heures aux Semestres 9 et 10. 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 :

- Environ 264 heures de formation en pédagogie interactive mettant en avant l'apprentissage par la découverte, déclinée selon le tableau de répartition horaire par chapitre qui suit.
- Environ 276 heures réservées à une formation pratique et technique au travers d'un projet de fin d'étude tutoré ayant pour objectif de réaliser l'étude de la mise en œuvre d'un nouveau produit sur les équipements disponibles dans l'atelier (conception et dimensionnement des équipements), d'en déterminer les contraintes et les investissements nécessaires, de définir le prix de revient et de réaliser l'étude de marché.

<i>Unités d'Enseignement des Semestres 9 et 10</i>	<i>ECTS</i>	<i>CM/TD</i>	<i>TP</i>	<i>Tutorat</i>	<i>Total Présentiel</i>
Management et économie V	2	40			40
Langues V	3	48			48
Projet tutoré	9				
Parcours de spécialisation (2 UE)	8	93			93
Génie des procédés discontinus	4	66			66
Conception et conduite d'installations multiproduits	4	6		11	17
Stage Ingénieur	30				
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>253</b>		<b>11</b>	<b>264</b>

## 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. Des informations utiles, concernant les prérequis et des références bibliographiques sont également fournies.

ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 5 .....	12
ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 6 .....	30
ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 7 .....	46
ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 8 .....	76
ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 9 .....	112
ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 10 .....	113
ENSEIGNEMENTS DES SEMESTRES 9 et 10 - PARCOURS PROCEDIS .....	133

## 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		25,5	19,5				3	
<i>Chimie organique : avancé</i>	Guillaume PICKAERT		27	18				3	
<i>Chimie organique soutien</i>	Axelle ARRAULT		9	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>	Eric SCHAER		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 et mathématiques appliquée</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 informatique</i>	Romain PRIVAT					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>	Jude BOWDEN	40		40					3
<i>Anglais</i>	Jude BOWDEN			20					
<i>LV 2</i>	Jude BOWDEN			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
HEURES PRESENTIEL 88	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 147 h	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

Contrôle écrit intermédiaire (Ei : 1h) + contrôle écrit final (Ef : 2h) + rapport de TP (en anglais)

→ Note UE = (Ei + 2xEf + TP)/4

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



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Chimie organique I – niveau 2			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 88	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 147 h	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)
- Une soutenance de projet tutoré et un QCM (PT)

$$\text{Note} = (E1 + E2 + TP + PT)/4$$

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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Systèmes réactifs et procédés I			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 104	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 174	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 et connaître ses propriétés
- Connaître les principaux modèles de cinétique catalytique hétérogène
- Connaître, identifier et prendre en compte les différentes étapes de limitations d'une réaction catalytique 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
- BET
- 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 : 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 : 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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Thermodynamique et énergétique			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	S5 TRONC COMMUN
60	105	4	

#### 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

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

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.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Phénomènes de transfert I			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	S5 TRONC COMMUN
48	84	3	

### 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.

#### TYPE D'ÉVALUATION

Évaluation de deux partiels 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).



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Informatique, méthodes numériques et statistiques			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 94	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 214	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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Management et économie I			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 40	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 70	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

#### 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

#### 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.
2. Les enjeux humains, sociaux, économiques et juridiques de la S&ST.
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.

## TYPE D'ÉVALUATION

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

## 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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Langues I			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 40	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 70	CREDITS ECTS 3	S5 TRONC COMMUN

### LV1 : 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.

#### 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 :

## LV2

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

- Consolider et acquérir un niveau de compétence solide et une bonne maîtrise de la langue allemande ou espagnole 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.

### 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.

### TYPE D'EVALUATION

- Validation : Une note 10/20 : divers tests de contrôle continu (oral, écrit)
- Rattrapage : test oral et écrit

### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : niveau minimum : A1 (en LV2) (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)

LANGUES D'ENSEIGNEMENT : allemand / espagnol / français / autres langues

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

## 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>	Nathalie HUBERT				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>	François LESAGE			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>	Jude BOWDEN	40		40					3
<i>Anglais</i>	Jude BOWDEN			20					
<i>LV 2</i>	Jude BOWDEN			20					
<b>Conférences industrielles I</b>	Axelle ARRAULT	12					12		1
<b>TOTAL</b>		<b>430</b>							<b>30</b>



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Chimie Minérale			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	S6 TRONC COMMUN
80	133	5	

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 thermo-chimiques, 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 constituants : 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. Thermo-chimie 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'ÉVALUATION

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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Chimie et génie analytique			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 80	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 132	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 tous les aspects d'un processus analytique depuis l'échantillonnage jusqu'à l'exploitation des résultats  
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 différentes étapes de l'analyse chimique
- 5.2 Méthodes spectroscopiques
- 5.3 Conférence industrielle : rôle de la chimie analytique dans l'industrie

## 6. Travaux Pratiques : 32h élèves

Méthodologie, chimie des ions en solution, titrages, chromatographies; électrochimie, spectroscopies

### TYPE D'ÉVALUATION

Examen écrit (3h)

Travaux pratiques (évaluation de la préparation ; évaluation de la pratique expérimentale théoriques – évaluation écrite du rendu 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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <b>Systèmes réactifs et procédés II</b>			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	S6 TRONC COMMUN
60	105	4	

### 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
- Choisir et dimensionner 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,
    - notion de débit de solvant minimal
    - Efficacité de plateau et transfert de matière
    - Echangeur progressif
    - Méthodologie de dimensionnement d'une installation
  - 2.3. Absorption gaz-liquide et stripping :
    - Applications industrielles

- Eléments de technologie des installations
- 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. Adsorption & chromatographie :
  - Types d'adsorbants et principales applications
  - Notion de facteur de résolution
  - Equation générale (bilan différentiel) et notion de vitesse de propagation de front
  - Adsorption en écoulement piston : solution analytique de Rosen
- 2.6. Séparations par membranes :
  - Typologie des séparations membranaires
  - Notion de facteur de séparation idéal
  - Perméation gazeuse : applications et méthodologie de dimensionnement d'une installation
  - Osmose inverse : notion de pression osmotique et applications industrielles

#### 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'ÉVALUATION

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 :

Nécessaires :

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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Systèmes Réactifs et Informatique			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 30	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 102	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.

#### 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 :

- 8 séances de TD (2h) d'utilisation et de programmation Matlab : concepts, calcul matriciel, intégration, intégration de systèmes différentiels, tracé de fonctions, interpolation
- 7 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 trois compte-rendus intermédiaires et 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 (10 min)

par enseignant). La note finale du projet est calculée comme la moyenne de 5 notes correspondant aux 3 CR (10% chacun), au rapport final (50%) 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 nouveau sujet fourni aux étudiants à l'issue du jury du semestre 6. Ce projet fait l'objet d'un unique rapport rendu à l'équipe enseignante 6 semaines plus tard et suivi d'une soutenance orale.

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.



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Phénomènes de transfert II			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 88	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 183	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. Convection forcée détermination des coefficients de transfert thermique dans les écoulements internes et externes en régime laminaire ou turbulent. Convection naturelle, nombres de Grashof et de Rayleigh, stabilité hydrodynamique, nombre de Rayleigh critique dans certains cas simples. Convection mixte. 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, 3h de TD, 5h de projet

#### 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. Le projet 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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Management et économie II			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 40	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 68	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
- 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'EVALUATION

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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Langues II			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 40	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 70	CREDITS ECTS 3	S6 TRONC COMMUN

### LV1 : 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

#### 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, décryptage et analyse

#### TYPE D'EVALUATION

- Validation (note entre 3-5) : 1) Rapport 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 :

## LV2

### 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
- 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 : *Une note 10/20 : tests de contrôle continu (oral, écrit)*
- *Tests de niveau : compréhension orale et écrit, expression orale et écrite.*
- Rattrapage : Test oral et écrite ou Tests de niveau

### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : niveau minimum : A1 (en LV2) (cfr : Descriptif CTI 2010, ou CECRL)

LANGUES D'ENSEIGNEMENT : allemand / espagnol / français / autres langues

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires :

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Conférences industrielles I			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 12	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 21	CREDITS ECTS 1	S6

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

Illustrer par des conférences différents domaines industriels.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

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

- Mieux appréhender le monde industriel
- Mieux savoir ce qu'on attendra de lui dans ce monde
- Mieux décider de son parcours

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

La formation s'appuie sur des conférences d'industriels relativement courtes (1h30 ou 2h) et regroupées sur 4 demi-journées.

En général, deux conférences seront proposées en parallèles aux élèves pour qu'ils aient la possibilité de choisir des conférences qui les motivent a priori.

#### TYPE D'EVALUATION

QCM à l'issue des conférences.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : aucune

## 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	28			2,5	3
<i>Chimie des polymères</i>	Anne JONQUIERES		13,5	8				1,5	
<i>TP Chimie des polymères</i>	Khalid FERJI				28			1	
<b>Procédés industriels et développement durable</b>	Alain DURAND	103	43	28	24		3	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	6				1	
<i>TP Systèmes réactifs et procédés III</i>	Marie LE PAGE MOSTEFA				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>	Souhila PONCIN		4,5	4,5				1	
<i>TP Phénomènes de transfert III</i>	Marie LE PAGE MOSTEFA				24				
<b>Procédés de séparation thermique</b>	Sabine RODE	80	25	24	24	2		5	5
<i>Thermodynamique des équilibres entre phases</i>	Jean-Noël JAUBERT		13	8				2	
<i>Distillation binaire</i>	Sabine RODE		7	8				1,5	
<i>Air humide et séchage</i>	Sabine RODE		5	8		2		1,5	
<i>TP Procédés de séparation thermique</i>	Marie LE PAGE MOSTEFA				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>	Alexandra GIGANTE		2	2					
<b>Langues III</b>	Jude BOWDEN	40		40					3
<i>Anglais</i>	Jude BOWDEN			20					
<i>LV 2</i>	Jude BOWDEN			20					
<b>Options</b>		12							1
<b>Conférences industrielles II</b>	Guillain MAUVIEL	12					12		1
<i>Conférences industrielles</i>	Guillain MAUVIEL						12		
<b>TOTAL</b>		<b>448</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>Big Data et Intelligence Artificielle</b>	Jean-Marc COMMENGE	12	5	6				1	1
<b>Outils de modélisation pour l'ingénieur</b>	Dimitrios MEIMAROGLOU	12	5	6				1	1
<b>Procédés hydrométallurgiques</b>	Marie LE PAGE MOSTEFA	12	5	6				1	1



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Chimie des polymères			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 52	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 84	CREDITS ECTS 3	S7 TRONC COMMUN

#### 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 10 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 5 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.

31h 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 d'1h30 correspondant à l'enseignement magistral et de TD, comptant pour 2/3 de la note finale

- Une évaluation des TP par le biais de brefs comptes-rendus sur des fiches pré-formatées, du comportement en salle et d'un contrôle final de TP d'1h, 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> édition, John Wiley and Sons, 1991.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Procédés industriels et développement durable			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 103	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 174	CREDITS ECTS 7	S7 TRONC COMMUN

### 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 (28 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) ; étude d'un réacteur autotherme (4h) ; dynamique des systèmes (4h).

#### **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. Foucalt, 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.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Phénomènes de transfert III			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 56	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 92	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)

##### Ecoulement 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 ; 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 (28h)

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) ; filtration : filtration sur filtre presse, résistance du gâteau et de la toile (4h) ; échangeur à plaques : bilans enthalpiques, courbes d'efficacité, coefficients de transfert (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 :

Documents photocopiés distribués

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. 2nd. New-York : s.n., 1991.
5. W.J. Beek, K.M.K. Mutzall, J.W. van Heuven. Transport Phenomena. 2nd. New-York : John Wiley & Sons, LTD, 1999.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Procédés de séparation thermique			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 80	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 150	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 binaire (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

13 h cours, 8 h 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.

##### Distillation binaire

2 séances de cours (1h30) : dimensionnement de colonnes à garnissage et à plateaux ; 4 séances de TD de 3 h préparées par les élèves : distillation flash, rectification, équation de Fenske, méthodes de McCabe et Thiele et de Ponchon-Savarit, distillation discontinu, équation de Rayleigh ; 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 (avec air humide).

##### Travaux Pratiques (28h)

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 (4h) ; séchage par atomisation : bilans matière et bilans enthalpiques, température humide (4h) ; thermodynamique des séparations : enthalpie de mélange, volume d'excès, ébulliométrie (8h) ; absorption avec réaction chimique : absorption du CO<sub>2</sub> dans des acides aminés (4h).



## TYPE D'ÉVALUATION

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 :

Documents photocopiés distribués

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.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Process Systems Engineering (PSE)			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	S7 TRONC COMMUN
68	119	5	

## 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. Villermaux, Tec et Doc, Lavoisier, 1993)
5. Méthodes numériques et optimisation (J.P.Corriou, Lavoisier Tec&Doc, 2010)

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Management et économie III			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 24	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 42	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

##### 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.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Langues III			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 40	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 70	CREDITS ECTS 3	S7 TRONC COMMUN

### LV1 : 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

#### 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

## LV2

### 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 : Une note 10/20 : 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/autre langues

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Ingénierie des médicaments			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 12	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 21	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
HEURES PRESENTIEL 12	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 21	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 :

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Petite histoire des sciences			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	S7
12	21	1	

#### 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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Gestion financière et budgétaire			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 12	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 21	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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Microfluidique			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 12	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 21	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 :

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Biopolymères et polymères biodégradables			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	57
12	21	1	

#### 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.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Big Data et Intelligence Artificielle			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	57
12	21	1	

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

L'option « Big Data et Intelligence Artificielle » 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 (Analyse en Composantes Principales, Réseau auto-encodeur), de classification binaire et multi-classe (K-moyennes, Plus proches voisins), de régression sans modèle (Perceptrons monocouche) et d'apprentissage automatique (Réseaux de neurones).
- 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 :

- Choisir une méthode pour traiter un lot de données en fonction d'un objectif visé (classification, régression, identification de tendances) et des données disponibles (volume, variété, vitesse),
- Comprendre l'intérêt et les limites de ces méthodes, en fonction du contexte de leur traitement et de leur utilisation (compromis biais-variance, explicabilité du modèle, besoin d'extrapolabilité),
- Appliquer les principales méthodes dans un environnement logiciel adapté (K-moyennes, Plus proches voisins, Perceptrons, etc.).

### 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, selon l'enchaînement suivant :

- Introduction générale au Big Data et à l'Intelligence Artificielle
- Méthodes de réduction de dimension (ACP)
- Méthodes de classification et clustering (Plus proches voisins, K-moyennes)
- Perceptrons monocouches pour la classification et la régression
- Réseaux de neurones multicouches (Auto-encodeur)

### TYPE D'EVALUATION

Contrôle individuel sur machine (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 distribués, fichiers de données distribués via ARCHE.

Conseillées : Voir références bibliographiques.



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Outils de modélisation pour l'ingénieur			Optionnel
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	57
12	21	1	

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

Les cours de ce module visent à :

- Familiariser les élèves-ingénieurs avec différents outils et approches de modélisation qui peuvent leur servir dans leur future carrière, sans qu'il soit nécessaire qu'ils deviennent experts en modélisation.
- Expliquer la conception des différentes techniques de modélisation qui peuvent s'appliquer selon le problème traité et illustrer leurs principaux avantages et inconvénients.
- Montrer l'utilité et l'importance d'un modèle à travers différents exemples spécifiques de problématiques industrielles.

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

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

- Faire le lien entre les différents types de modélisation qu'ils auront vus dans différents cours enseignés à l'école.
- Comprendre pour quelles raisons on développe un modèle 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 ou un modèle Monte Carlo et quelles sont leurs caractéristiques principales.

### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

#### Cours et Travaux Dirigés dans des salles PC

- Introduction : Objectifs du développement d'un modèle, différents types de modèles, écriture des bilans.
- Estimation des paramètres : Possibilité d'identifier/estimer les paramètres d'un modèle, application à un cas industriel.
- Planification d'expériences : Principes et utilité, différents types des plans d'expériences, exemples et développement en MATLAB.
- Approches de modélisation alternatives : Modèles du type Data-Driven (DDM), modèles stochastiques Monte Carlo (MC), avantages et limitations, exemples et développement d'un modèle simple du type réseau de neurones et d'un modèle simple de type Monte Carlo.
- Démonstration et applications : exemples de logiciels développés par des chercheurs ingénieurs avec un impact important, étude de cas d'un modèle CFD à la production de polymère bimodal (cas industriel), étude de cas d'un modèle Monte Carlo à la production de polymère fortement ramifié (cas industriel).

### TYPE D'EVALUATION

Examen écrit (QCM – 1.5 h)

### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : UE Informatique et mathématiques appliquées

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français & anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Conseillées :

1. W.L. Luyben. Process Modelling Simulation and Control for Chemical Engineers. McGraw Hill, New York, 1996.
2. A. Rutherford. Mathematical modeling : a chemical engineer's perspective. Academic Press, London, 1999.

3. R. H. Myers, D. C. Montgomery, C. M. Anderson-Cook. Response surface methodology : process and product optimization using designed experiments. Wiley, New Jersey, 2011.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Procédés hydrométallurgiques			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	57
12	21	1	

#### 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 réacteur 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 :

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Conférences industrielles II			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 12	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 21	CREDITS ECTS 1	S7

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

- 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 :

- Mieux appréhender le monde industriel
- Mieux savoir ce qu'on attendra de lui dans ce monde
- Mieux décider de son parcours du Semestre 8

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

La formation s'appuie uniquement sur des conférences d'industriels relativement courtes (1h30 ou 2h) et regroupées sur 4 journées. En général, deux conférences sont proposées en parallèles aux élèves pour qu'ils aient la possibilité de choisir des conférences qui les motivent a priori.

#### TYPE D'EVALUATION

QCM de 30 minutes à l'issu de l'ensemble des conférences pour vérifier que celles-ci ont été suivies avec attention.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : aucune

## ENSEIGNEMENTS DU SEMESTRE 8

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>Management et économie IV</b>	Vera IVANAJ	40	16	16	8				2
<b>Langues IV</b>	Jude BOWDEN	44		44					2
<i>Anglais</i>	Jude BOWDEN			24					
<i>LV 2</i>	Jude BOWDEN			20					
<b>Projet industriel</b>	Sabine RODE / Jean-François PORTHA	30	2	9		18		1	6
<i>Projet industriel</i>	Sabine RODE					18			
<i>Evaluation technico-économique des procédés</i>	Laurent FALK		2	9				1	
<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>314</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>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>Organisation supramoléculaire et matériaux</b>	Guillaume PICKAERT	18	15			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	9	7		2			1
<b>Produits pour la santé</b>	Cécile NOUVEL	18	10,5	3		2	1,5	1	1
<b>Simulation moléculaire</b>	René FOURNET	18	7	8		1,5		1,5	1
<b>Procédés industriels de polymérisation</b>	Alain DURAND	18	7	8		2		1	1
<b>Les nano-objets polymères : synthèses, caractérisations et applications</b>	Khalid FERJI	18	12	4	2				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	16,5	1,5		7,5	8	2,5	4
<i>Analyse du cycle de vie</i>	Jean-François PORTHA		4,5	1,5			2	1	
<i>Sécurité des procédés et environnement</i>	Laurent PERRIN		12				6	1,5	
<i>Projet ACV - Sécurité</i>	Laurent PERRIN					7,5			
<b>Conception et simulation de procédés</b>	Romain PRIVAT	60	20	36				4	4
<i>Thermodynamique énergétique avancée</i>	Jean-Noël JAUBERT		9	20				1,5	

<i>Distillation avancée</i>	Sabine RODE		6	10				1,5	
<i>Simulation dynamique des procédés</i>	Abderrazak LATIFI		5	6				1	
<b>TOTAL</b>		<b>156</b>							<b>12</b>

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

Responsable : Thibault ROQUES-CARMES

<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	18	6		7,5	2	2,5	4
<i>Analyse du cycle de vie</i>	Jean-François PORTHA		4,5	1,5			2	1	
<i>Procédés discontinus</i>	Eric SCHAEER		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	16,5	17	24			2,5	4
<i>TP produits formulés</i>	Véronique SADTLER				24				
<i>Rhéologie</i>	Cécile LEMAITRE		6	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	46,5	10,5				3	4
<i>Biomolécules : Introduction aux sciences biologiques</i>	Marie-Christine AVERLANT PETIT		24	4,5				1,5	
<i>Méthodes analytiques à l'échelle du laboratoire</i>	Cécile NOUVEL		22,5	6				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	19,5	18	20			2,5	4
<i>TP Biotechnologie</i>	Cécile NOUVEL/Nouceiba ADOUANI				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 SCHAEER		4,5	4,5					
<b>TOTAL</b>		<b>156</b>							<b>12</b>

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Management et économie IV			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 40	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 68	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



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Langues IV			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 44	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 77	CREDITS ECTS 2	S8 TRONC COMMUN

### LV1 : 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

#### 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
- Analyser une présentation et s'auto-évaluer

#### 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 :

## LV2

### 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 : Une note 10/20 : note de cours
- Tests de niveau : compréhension orale et écrit, expression 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, autres langues

Références bibliographiques :

Nécessaires :

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <b>Projet industriel</b>			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 30	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 201	CREDITS ECTS 6	S8 TRONC COMMUN

#### 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-économiques. 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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Stage ouvrier			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <b>Projet d'ouverture</b>			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 26	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 95	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
- Appliquer sur un cas pratique les outils de gestion de projet vus en cours
- Devenir chef de projet : gérer un budget, un planning, un groupe
- 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
- Mettre en œuvre l'action en tant que chef de projet
- Auto-évaluer les actions entreprises et les résultats livrés, développer son esprit critique
- Valoriser le travail réalisé à l'écrit (rapport) comme à l'oral (soutenance)

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT :

Une conférence introductive présente les attentes vis-à-vis du module. 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.

Conférence d'introduction : Management et gestion de l'innovation

Conférences d'ouverture (liste non-exhaustive) :

- Etre étudiant/jeune diplômé et créateur d'entreprise, le cas de l'auto-entrepreneur
- Supply Chain Achats
- Commerce international
- Ethique du cadre

Cours d'ouverture : découvrir les enseignements dispensés dans les autres écoles de l'UL

Simulations d'entretien : apprendre à se présenter

#### TYPE D'EVALUATION :

Rapport écrit et soutenance orale devant jury

#### INFORMATIONS UTILES :

PREREQUIS : éléments de gestion de projet

LANGUE D'ENSEIGNEMENT: français

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <b>Fonctionnalisation de surface et applications</b>			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 18	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 48	CREDITS ECTS 1	S8

#### 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.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Aérosols et sécurité			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 18	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 48	CREDITS ECTS 1	S8

#### 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, évènements...).

#### 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.



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Organisation supramoléculaire et matériaux			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 18	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 48	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.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Thermodynamique de solutions avancée			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 18	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 48	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)

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Méthodologie de traitement des déchets industriels			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 18	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 48	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 :

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Produits pour la santé			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 18	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 48	CREDITS ECTS 1	58

#### 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 terme 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 de la faculté de pharmacie de NANCY, 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 : rapport et 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.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Simulation moléculaire			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 18	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 44	CREDITS ECTS 1	58

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

Cet enseignement vise à montrer aux étudiants que les techniques de modélisation moléculaire permettent non seulement de simuler des phénomènes physiques et chimiques mais également de les quantifier (estimation des propriétés physico-chimiques des fluides, des grandeurs de réaction, etc.). Ils seront sensibilisés aux échelles de taille et de temps des objets auxquels on peut appliquer les différentes techniques. Trois techniques de modélisation associées à deux échelles de taille et de temps seront introduites :

- Echelle quantique : *Ab initio*
- Echelle microscopique : Dynamique Moléculaire
- Echelle microscopique : Monte Carlo

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

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

- Connaître les champs d'application des principales techniques de modélisation moléculaire,
- Avoir compris les bénéfices qu'ils peuvent tirer de ces techniques mais également connaître leurs limitations,
- Posséder les rudiments théoriques et conceptuels sur lesquels reposent ces techniques,
- Etre capables de mettre en œuvre des calculs *ab initio*, de dynamique moléculaire et de Monte Carlo pour simuler des objets simples.

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Méthodes d'enseignement : cours et travaux dirigés (incluant des travaux dirigés en salle informatique)

Contenus :

- Introduction générale : quels sont les problèmes susceptibles d'être résolus par la simulation moléculaire ?
- Rappels de chimie quantique appliquée aux calculs *ab initio*.
- Eléments de physique statistique (théorie cinétique des gaz, distribution de Maxwell, facteur de Boltzmann, fonction de partition ...)
- Description des interactions moléculaires et modèles associés.
- Calculs *ab initio* : principe, présentation des différentes méthodes théoriques utilisées en lien avec le calcul de propriétés physico-chimiques.
- Dynamique moléculaire : principe, algorithme et propriétés estimables.
- Monte Carlo : principe, algorithme et propriétés estimables.

#### TYPE D'EVALUATION

Examen écrit (1,5 h) et projet (séance de suivi de 1,5 h)

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : UE Thermodynamique et énergétique, UE systèmes réactifs et procédés

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français et anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : Documents photocopiés distribués

Conseillées :

1. Computer Simulation of Liquids (Oxford Science Publications), M. P. Allen, D. J. Tildesley, ISBN-13: 978-0198556459

2. Chapitre 12 du livre de Cinétique et Catalyse, 2ème édition (Lavoisier, éditions Tech et Doc), G. Scacchi, M. Bouchy, J.F. Foucaut, O. Zahraa, R. Fournet , 2011.



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Procédés industriels de polymérisation			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	58
18	48	1	

#### 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).

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

#### 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.

#### 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.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Les nano-objets polymères : synthèses, caractérisations et applications.			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 18	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 48	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.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Réacteurs et séparations polyphasiques			OBLGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 60	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 105	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
- 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,

Conseillées :

1. Génie de la Réaction Chimique, J. Villermaux, Tech & Doc, Lavoisier, 1993, Paris.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Procédés durables			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 36	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 125	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 :

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Conception et simulation de procédés			OBLGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 60	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 105	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
- 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, algèbro-différentiels ou algèbro-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 de mélanges complexes

- Construction et interprétation de courbes de résidu
- Distillation azéotropique et distillation extractive
- Développement de trains de distillations

#### Simulation dynamique des procédés

- Présentation de procédés dont le modèle est décrit par des équations différentielles ordinaires, algèbro-différentielles, ou algèbro-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 algèbro-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

Conseillées :

5. Separation Process Engineering: Includes Mass Transfer Analysis: International Edition Broché – Phillip C. Wankat
6. Fundamentals of Engineering Thermodynamics 7th Edition – Wiley – Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, Daisie D. Boettner, Margaret B. Bailey
7. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1985, T.J. Kotas.
8. 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
9. Distillation de mélanges non idéaux – Courbes de résidu et autres outils de conception, Techniques de l'Ingénieur, 2010, Vol. J 2611
10. Distillation de mélanges non idéaux – Distillation azéotropique et distillation extractive. Choix de l'entraîneur, Techniques de l'Ingénieur, 2010, Vol. J 2612

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Produits micro et nanostructurés			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 60	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 105	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, dispersion colloïdale)
- Acquérir des connaissances en caractérisation et en analyse du comportement des molécules utilisées dans les produits formulés (principalement les tensioactifs)
- Comprendre le lien entre les caractéristiques structurales et le comportement des produits, notamment aux interfaces

## OBJECTIFS SPECIFIQUES

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

- Analyser le comportement des molécules utilisées dans les produits formulés (tensioactifs)
- Choisir et justifier le choix d'un composé (tensioactif) dans la formule d'un produit
- Faire le lien entre les caractéristiques structurales et comportementales des produits, notamment aux interfaces
- Mettre en œuvre des dispersions à propos d'exemples précis (émulsion, suspensions colloïdales)
- Etudier les procédés pour les systèmes dispersés

## CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

### 1. Physico-chimie et formulation des systèmes polyphasiques fluides

- Physico-chimie des interfaces
- Classes, spécificité et comportement des tensioactifs en solution
- Micellisation, dsorption aux interfaces, phases cristal liquides
- Formulation d'émulsions et inversion de phase
- Dynamique d'étalement
- Formulation et fabrication de mousses
- 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 temporels ; exemples de modélisation semi-empirique
- Micro-émulsification, nucléation et croissance : principes et mécanismes de base
- Cinétique de la croissance de la nouvelle phase ; couplage entre les différents mécanismes de transport et de transfert et l'équilibre de la thermodynamique à l'interface ; compétition entre l'hydrodynamique et la diffusion ; modélisation, approche analytique et schéma numérique
- Atomisation, séchage : 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, énergie et potentiels de surface
- Propriétés physico-chimiques des systèmes dispersés : diffusion, mouvement brownien, filmification
- Technologies de fabrication des nanoparticules : procédés sol-gel, condensation en phase gaz, atomisation-pyrolyse
- Technologies de fabrication des microparticules : emulsification-évaporation, atomisation-séchage
- Stabilisation des systèmes dispersés : théorie DLVO et applications

## TYPE D'ÉVALUATION

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

## 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



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Introduction au génie des produits			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	S8 PARCOURS PRODUITS
36	125	4	

### 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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Des molécules aux produits			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 60	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 99	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.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

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

- dans une démarche inverse de Génie des produits », 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 définies 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)
  - Rappel des 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, en s'intéressant plus particulièrement au cas des gels
  - Appareils et méthodes de mesure classés selon leurs finalités : outils pour le contrôle qualité ou pour la recherche & développement
  - Rhéologie systémique
  - Etude de cas industriels
3. Structure des molécules et propriétés d'usages (22,5h)
  - 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.
- Complexité des relations structures-propriétés- Sensibilisation à certaines méthodes de prédiction

#### TYPE D'ÉVALUATION

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 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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Introduction aux sciences biologiques			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	S8 PARCOURS BIOTECHNOLOGIES
60	105	4	

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

Le but de ce module est d'acquérir des notions de base en biologie 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 CM/TD)

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 – CM/TD)

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/diffraction des rayons X), (b) biochimiques pour la caractérisation des biomolécules (Elisa ; PCR ; westernblot ; ...) ou l'étude des interactions moléculaires (ITC ; résonance plasmonique de surface) ou enfin (c) séparatives pour la purification des biomolécules : précipitation, centrifugation, différentes chromatographies (exclusion stérique, interaction hydrophobes, échangeuse d'ions), électrophorèses (capillaire, SDS page...)

#### TYPE D'EVALUATION

QCM ou examen

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : connaissances de base en chimie

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Biocatalyseurs et bioréacteurs			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	S8 PARCOURS BIOTECHNOLOGIES
36	112	4	

#### 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 : biocatalyse enzymatique (cinétique michaélienne) et microbienne (loi de Monod). Le cours sera appuyé par des exercices de travaux dirigés. b) génie des réacteurs enzymatiques puis 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.
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 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 (6h de présentiel)

#### INFORMATIONS UTILES

- PREREQUIS : connaissances du logiciel Matlab.
- LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Bioséparations			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 60	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 100	CREDITS ECTS 4	S8 PARCOURS PRODUITS

### 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)

### 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 : 3 séances de cours (1h30) – 3 séances de TD (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.

### TYPE D'EVALUATION

Examen



## INFORMATIONS UTILES

- PREREQUIS :
- LANGUE D'ENSEIGNEMENT :

## 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>	Jude BOWDEN	48		48					3
<i>Anglais</i>				48					
<b>Projet de recherche et développement</b>	Eric SCHAER								10
<b>Options</b>		19							3
<b>Parcours de spécialisation</b>		Env. 145							12
<b>TOTAL</b>		<b>Env. 250</b>							<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>Procédés et produits à base de polymères</b>	Sandrine HOPPE	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</b>	Olivier HERBINET	19	8	8		3			3
<b>Bioraffinerie</b>	Guillain MAUVIEL	19	8	8		3			3
<b>Résolution numérique des équations de transport</b>	François LESAGE	19	7	7		3		2	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>	Olivier HERBINET						33		
<i>Combustion</i>	Olivier HERBINET		6	6				1,5	
<i>Analyse exergétique</i>	Romain PRIVAT		8	4				1,5	
<b>Optimisation dynamique et commande avancée</b>	Abderrazak LATIFI	46	30	10		6			4
<i>Optimisation dynamique</i>	Abderrazak LATIFI		20			3			
<i>Commande avancée</i>	Jean-Marc COMMENGE		10	10		3			
<b>Intensification des procédés et innovation</b>	Jean-Marc COMMENGE	33	12	9		9		3	4
<i>Intensification des procédés</i>	Jean-Marc COMMENGE		6	4,5				1,5	
<i>Procédés membranaires</i>	Eric FAVRE		6	4,5				1,5	
<i>Projet d'innovation</i>	Jean-Marc COMMENGE					9			
<b>TOTAL</b>		<b>139</b>							<b>12</b>

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

Responsable : Thibault ROQUES-CARMES

<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	60	45	6			3	6	4
<i>Copolymères : des procédés aux applications</i>	Anne JONQUIERES		10,5	4,5				1,5	
<i>Formulation matières plastiques</i>	Sandrine HOPPE		9				3	1,5	
<i>Polymères en solution, aux interfaces et en émulsion</i>	Alain DURAND		25,5	1,5				3	
<b>Propriétés et qualité des produits</b>	Alain DURAND	61,5	38	18				5,5	4
<i>Procédés pour les produits de santé</i>	Laurent MARCHAL-HEUSSLER		8	6				1	
<i>Plan d'expériences</i>	Graciela CARES		6	6					
<i>Propriétés thermophysiques des polymères</i>	Anne JONQUIERES		19,5	1,5				4,5	
<i>Cristallisation</i>	Eric SCHAER		4,5	4,5					
<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>154</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>	Olivier HERBINET								30
<b>TOTAL</b>									<b>30</b>

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Management et Economie V</i>			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 40	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 70	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 individualisés 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 :

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Langues V			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 48	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 84	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

#### 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.

- **Cours « Creativity »** : Une introduction à la créativité dans le contexte de l'ingénierie chimique. Le cours présente des principes et processus de la pensée créative, axée en particulier sur la définition de problème et de génération d'idée, en utilisant différentes techniques et outils. Travail en petits groupes.
- **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 « To be aware is to be prepared »**: Apprendre à mieux vous connaître pour aller plus loin dans votre développement personnel et développer les compétences interpersonnelles pour améliorer vos performances et la qualité du travail. Pédagogie interactive, introduction aux outils et modèles de connaissance de soi, jeux pédagogiques, questionnaires, débriefing.
- **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'EVALUATION

- 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 :

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <b>Projet de recherche et développement (PRD)</b>			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 300	CREDITS ECTS 10	S9

#### 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 :

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Procédés et produits à base de polymères</i>			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 19	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 58	CREDITS ECTS 3	S9

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

- Présenter la méthodologie de conception de produits de spécialité à base de polymère et procédés d'élaboration pour l'obtention de propriétés spécifiques.
- Appréhender les relations entre structure macromoléculaire, morphologie des matériaux, conditions opératoires du procédé d'élaboration et propriétés d'application.
- Connaître les spécificités des grands secteurs d'application des matières plastiques formulées.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

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

- Savoir établir un cahier des charges
- Savoir utiliser un logiciel de conception de plan d'expériences
- Savoir utiliser un logiciel de conception de procédé d'extrusion
- Faire le lien entre certaines propriétés d'usage, les conditions de formulation et de fonctionnement du procédé d'élaboration

#### 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 en groupes de projets. Le sommaire du cours est donné ci-dessous :

- |  |      |
|--|------|
| - Cahier des charges, plans d'expériences et optimisation multicritères  | 4h00 |
| - Procédés de formulation des polymères, exemple de l'extrusion, présentation d'un logiciel de simulation d'extrusion  | 2h00 |
| - Illustrations (élastomères renforcés, polyuréthanes pour applications médicales, mélanges maîtres et compounds, ...) | 8h00 |
| - Encadrement des travaux des groupes de projets   | 3h00 |
| - Soutenances  | 2h00 |

#### TYPE D'EVALUATION

Deux évaluations seront réalisées. Une évaluation individuelle écrite sous forme de questionnaire à choix multiples. Ceci sera réalisé en 30 min, à la fin d'une séance dont la date sera précisée le premier jour. Une évaluation en groupe sous la forme d'une soutenance orale présentant le travail d'étude de cas en groupe de projet.

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Matériaux et nanomatériaux pour la catalyse</i>			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 19	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 58	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 : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Cinétique et combustion de carburants</i>			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	S9
19	58	3	

#### 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 et à la modélisation cinétique détaillée de ces réactions.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

Maitriser 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)
- Etre capable de construire un mécanisme de combustion pour des espèces simples (*n*-alcane)
- Etre 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 : français (anglais possible si demande)

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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Bioraffinerie			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 19	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 58	CREDITS ECTS 3	S9

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

- Présenter les concepts des différents types de bio-raffinerie
- Appréhender les différences de nature des biomasses et les enjeux de leur production forestière ou agricole
- Analyser les réactions, réacteurs et procédés selon leurs 3 grands types (chimiques, thermochimiques et biologiques)

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

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

- Connaître les différents concepts de bio-raffinerie
- Déterminer les procédés envisageables pour valoriser un gisement donné de biomasse
- Comprendre les phénomènes mis en œuvre dans les différents types de réacteurs
- Réaliser des calculs préliminaires de dimensionnement des réacteurs

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

L'enseignement est dispensé sous la forme de cours-TD, ainsi que sous la de projets de groupes. Le sommaire des cours est donné ci-dessous :

Chapter 1 : Ligno-cellulosic ressources (A. Dufour) (3h)  
 Chapter 2 : Bio-refinery concepts (A. Dufour) (1h30)  
 Chapter 3 : Chemical routes (N. Brosse) (4h30)  
 Chapter 4 : Thermochemical route (G. Mauviel, A. Dufour) (4h30)  
 Chapter 5 : Bio-chemical routes introduction (J. M. Engasser) (3h)

#### TYPE D'EVALUATION

Deux évaluations seront réalisées. Une évaluation individuelle écrite sous forme de questionnaire à choix multiples. Ceci sera réalisé en 1h à la dernière séance. Une évaluation en groupe sous la forme d'un rapport présentant le travail d'étude de cas en groupe de projet.

#### INFORMATIONS UTILES

PRE-REQUIS : Aucun

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : Anglais

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : Aucune

Conseillées : Aucune

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Résolution numérique des équations de transport</i>			OPTIONNEL
HEURES PRESENTIEL 19	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 58	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 : français (anglais possible si demande)

##### 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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Génie des procédés et énergie			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 60	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 105	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, ...)
- 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
- Etre capable d'évaluer l'exergie de fluides purs ou de mélanges à partir de données appropriées
- Etre 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) ; 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 : 7h30 de cours, 4h30 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 séances (3 h) ; 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 : français

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <b>Optimisation dynamique et commande avancée</b>			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 46	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 130	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 : 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)
3. Commande des Procédés, Jean-Pierre Corriou, Lavoisier Tec & Doc, 2<sup>ème</sup> édition (2003)

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Intensification des procédés et innovation			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	S9 PARCOURS
33	132	4	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

- Etre 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)
- Etre 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 : français

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : documents de cours



<b>INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Produits de spécialité</b>			<b>OBLIGATOIRE</b>
<b>HEURES PRESENTIEL</b>	<b>VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME</b>	<b>CREDITS ECTS</b>	<b>S9 PARCOURS</b>
<b>60</b>	<b>105</b>	<b>4</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.
- Conférence par un intervenant issu du monde industriel

### 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 : Français

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).

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : Propriétés et qualités des produits			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	CREDITS ECTS	S9 PARCOURS
60	108	4	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
- Décrire et Analyser les spécificités réglementaires et industrielles des industries pharmaceutiques
- Présenter et expliquer le processus de « Quality by Design »
- Préparer les étudiants à concevoir un procédé de mise en forme d'un médicament dans le respect des spécificités de l'industrie pharmaceutique et selon le processus « 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
- Connaître et savoir appliquer la théorie DLVO
- S'intégrer et Participer activement à un projet de développement d'un nouveau médicament
- Concevoir et mettre en œuvre des opérations unitaires spécifiques de la fabrication des médicaments (OUPs) (formes simples et formes à libération contrôlée):
  - o Mélange et granulation
  - o Compaction et enrobage
  - o Emulsification et Microencapsulation
  - o Lyophilisation

## CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

### 1. Plan d'expériences

- Introduction : histoire, processus d'acquisition des connaissances, terminologie, modélisation mathématique a 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

- Notions de sécurité et d'efficacité d'un médicament
- Nature et contenu des recommandations ICH et GLP : Validation vs QbD
- Processus d'enregistrement
- Principes, technologies et dimensionnement des opérations unitaires pharmaceutiques (OUPs)
- Apprentissage Par Problème (APP) / 1 OUP par groupe

## TYPE D'ÉVALUATION

Plan d'expérience, planification en atelier batch et cristallisation : pas d'évaluation

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 : Projet suivi d'une soutenance orale

## 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 : français

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.

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : ETUDE DE CAS - PROJET DE CONCEPTION DE PRODUITS INNOVANTS			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 33	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 132	CREDITS ECTS 4	S9 PARCOURS PRODUITS

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

Les objectifs sont:

- Développer la pensée globale et la pensée créative et de les appliquer en créant un produit innovant
- Connaître et utiliser les processus standard de l'innovation et la planification des projets innovants
- Mobiliser les compétences existantes en génie chimique dans le domaine de la chimie de spécialité
- Acquérir quelques compétences intra et entrepreneuriales

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

Les objectifs plus spécifiques sont:

- Mobiliser les connaissances et compétences requises pour concevoir un produit innovant de l'idée jusqu'à la preuve de concept et la preuve de faisabilité théorique
- Structurer et optimiser la créativité d'une équipe projet
- S'intégrer rapidement et efficacement en tant qu'expert scientifique dans une activité structurée en groupe de projet
- Développer et utiliser les connaissances et compétences en management de projet dédié à la conception de projets innovants : planifier et conduire un projet simple de conception de produit chimique innovant
- 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 de preuve théorique de faisabilité
- Présentation orale du projet

#### INFORMATIONS UTILES

Pré-requis : connaissances et compétences en génie chimique niveau M1  
Langue : anglais, français

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Stage Ingénieur</i>			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	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

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 et d'exprimer les compétences acquises au cours des deux premières années de la formation. 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

- la qualité du rapport écrit (5 points),
- la qualité de la présentation orale (5 points),
- l'appréciation du tuteur industriel (10 points).

#### 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).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : Guide du stage ingénieur disponible sur l'ENT

BASE DE DONNEES DES OFFRES DE STAGE : JobTeaser, <https://ensic.jobteaser.com/fr/>

## ENSEIGNEMENTS DES SEMESTRES 9 et 10 - PARCOURS PROCEDIS

Responsable : François LESAGE

<i>Intitulé de l'unité d'enseignement et de ses éléments constitutifs</i>	<i>Responsable</i>	<i>H</i>	<i>C M</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>Langues V</b>	Jude BOWDEN	48		48					3
<i>Anglais</i>	Jude BOWDEN			48					
<b>Projet Tutoré</b>	Fabrice MUTELET								9
<b>Parcours de spécialisation (2 UE)</b>		93							8
<b>Génie des procédés discontinus</b>	Fabrice MUTELET	66	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>	Fabrice MUTELET	17	6			11			4
<i>Conduite et conception d'installations multiproduits</i>	Fabrice MUTELET					11			
<i>Initiation au management et à la gestion de projet</i>	Laurent MARCHAL-HEUSSLER		6						
<b>Stage ingénieur PROCEDIS</b>	François LESAGE								30
<b>TOTAL</b>		<b>264</b>							<b>60</b>

### 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>	Olivier HERBINET						33		
<i>Combustion</i>	Olivier HERBINET		6	6				1,5	
<i>Analyse exergétique</i>	Romain PRIVAT		8	4				1,5	
<b>Intensification des procédés et innovation</b>	Jean-Marc COMMENGE	33	12	9		9		3	4
<i>Intensification des procédés</i>	Jean-Marc COMMENGE		6	4,5				1,5	
<i>Procédés membranaires</i>	Eric FAVRE		6	4,5				1,5	
<i>Projet d'innovation</i>	Jean-Marc COMMENGE					9			
<b>TOTAL</b>		<b>93</b>							<b>12</b>

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

Responsable : Thibault ROQUES-CARMES

<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>Produits de spécialité</b>	Alain DURAND	60	43,5	9			3	4,5	4
<i>Copolymères : des procédés aux applications</i>	Anne JONQUIERES		10,5	4,5				1,5	
<i>Formulation matières plastiques</i>	Sandrine HOPPE		9				3	1,5	
<i>Polymères en solution, aux interfaces et en émulsion</i>	Alain DURAND		24	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>93</b>							<b>8</b>



INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <b>Projet Tutoré</b>			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 180	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 200	CREDITS ECTS 10	S9 ET S10 PARCOURS PROCEDIS

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

L'objectif principal est de réaliser une étude sur la mise en œuvre d'un nouveau produit sur les équipements disponibles dans l'atelier (conception et dimensionnement des équipements), d'en déterminer les contraintes et les investissements nécessaires, de définir le prix de revient et de réaliser l'étude de marché. Dans le cadre de ce projet, les élèves guidés par le tuteur universitaire utiliseront des moyens techniques d'essais et d'équipements d'analyse disponibles à l'école et dans les laboratoires partenaires.

#### OBJECTIFS SPECIFIQUES

- Découvrir la gestion d'un projet : notions d'étapes, gestion du temps
- Rédiger un rapport
- Exposer oralement un travail
- Défendre et critiquer les choix effectués

#### CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

Le sujet du projet tutoré 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 et d'exprimer les compétences acquises au cours des deux premières années de la formation. 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 projet tutoré 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

#### 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 (ou anglais pour les volontaires)

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Génie des procédés discontinus</i>			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 66	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 130	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, algèbro-différentiels ou algèbro-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), algèbro-différentielles (DAE) ou algèbro-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 algèbro-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)

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Conception et conduite d'installations multiproduit</i>			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL 109	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME 200	CREDITS ECTS 5	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 aux étudiants, au travers d'exemples concrets et de mise en situation, 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,
- Structurer et optimiser la créativité d'une équipe projet.

#### 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

Notions élémentaires de stratégie d'une entreprise du secteur de la chimie. Potentiels de succès de l'entreprise, Business modèles. Planification stratégique (GAP, BCG). Notions élémentaires de gestion opérationnelle des activités de l'industrie chimique : Activités courantes (contrôle d'une exploitation par le prix de revient) et Activités innovantes : management et gestion de projet (Phases, activités et livrables d'un projet, Cahier des Charges Fonctionnel, Décomposition d'un projet en tâches, Ordonnement des tâches, diagramme de GANTT, Notion et utilité de la VAN (Valeur Actuelle Nette), Management de la cellule projet : profils des experts, profils des manager, Notions élémentaires d'optimisation de la créativité), Eléments de méthode TRIZ.

#### 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

INTITULE DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT : <i>Stage Ingénieur PROCEDIS</i>			OBLIGATOIRE
HEURES PRESENTIEL	VOLUME HORAIRE TOTAL ESTIME	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 et d'exprimer les compétences acquises au cours des deux premières années de la formation. 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.

#### 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