

## ENSEIGNEMENTS DES SEMESTRES 9 et 10 - PARCOURS PROCEDIS

Responsable : François LESAGE

Intitulé de l'unité d'enseignement et de ses éléments constitutifs	Responsable	H	C M	TD	TP	P	C	Ex	ECTS
<b>Management et économie V</b>	Vera IVANAJ	40	16	16			8		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>	Fabrice MUTELET								30
<b>TOTAL</b>		<b>264</b>							<b>60</b>

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

Responsable : Sabine RODE

Intitulé de l'Unité d'Enseignement et de ses éléments constitutifs	Responsable	H	CM	TD	TP	P	C	Ex	ECTS
<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 exergetique</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

Intitulé de l'unité d'enseignement et de ses éléments constitutifs	Responsable	H	CM	TD	TP	P	C	Ex	ECTS
<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</b>	Laurent MARCHAL-	33	18	3		9		3	4

<b>produits innovants</b>	HEUSSLER								
<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>

**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>Procédés Biotechnologiques Industriels</b>	Eric OLMOS	50	32	15				3	4
<i>Bioprocédés pour la santé</i>	Annie MARC		8	7				0,75	
<i>Biocatalyse industrielle</i>	Isabelle CHEVALOT		6	5				0,75	
<i>Bio-procédés/Bioraffinerie</i>	Eric OLMOS		18	3				1,5	
<b>Génie des procédés biotechnologiques : Outils et méthodes</b>	Eric FAVRE	33	24			9			4
<i>Cycle de conférences</i>	Eric FAVRE		24						
<i>Projet innovation</i>	Eric FAVRE					9			
<b>TOTAL</b>		<b>83</b>							<b>8</b>

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

#### 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 63	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, algébro-différentiels ou algébro-différentiels partiels
- Formuler un problème d'optimisation dynamique et utiliser le logiciel gPROMS pour résoudre les problèmes d'optimisation dynamique avec et sans contraintes
- Concevoir, dimensionner et analyser le fonctionnement des appareils de cristallisation et de précipitation

## CONTENU ET METHODES D'ENSEIGNEMENT

### Simulation des réactions discontinues

Ecriture et résolution de bilans de matière et de chaleur en présence de réaction chimique dans les réacteurs discontinus; en régime transitoire dans les réacteurs piston avec ou sans dispersion axiale. Bilans de population en mode discontinu. Simulation et optimisation du rendement et de la sélectivité.

### Simulation et optimisation dynamique de procédés

- Modèles dynamiques de procédés : modèles décrits par des équations différentielles ordinaires (ODE), algébro-différentielles (DAE) ou algébro-différentielles partielles(PDAE) et leur transformation en ODE ou DAE
- Simulation dynamique : spécification des conditions initiales, formules d'intégration simple et d'ordre supérieur (BDF combinée à la méthode de Newton, prédiction-correction), notion d'index et systèmes d'équations algébro-différentielles d'index élevé, utilisation du logiciel gPROMS pour la simulation de réacteurs batch et fedbatch
- Optimisation dynamique : rappels sur l'optimisation statique (conditions d'optimalité de Karush-Kuhn-Tucker (KKT) et optimisation quadratique successive (SQP)) ; définition et formulation mathématique d'un problème d'optimisation dynamique ; calcul des gradients à l'aide de la méthode des sensibilités ; résolution à l'aide de la méthode « paramétrisation de la variable de commande » (CVP) ; utilisation du logiciel gPROMS pour l'optimisation de réacteurs batch
- Projet tutoré : description et modélisation d'un procédé (colonnes de distillation, réacteurs, ...) ; définition et formulation de problèmes d'optimisation dynamique ; simulation et résolution à l'aide du logiciel Gproms

### Cristallisation et précipitation industrielles

Connaissances de base sur les solutions et détermination des courbes de solubilité ; caractérisation des solides ; cinétiques de cristallisation : nucléation, croissance cristalline, agglomération, brisure, mûrissement et influence des impuretés et du solvant sur la cristallisation; conception et analyse globale des procédés de cristallisation à partir des bilans de matière et thermique ; conception, dimensionnement et analyse de

fonctionnement des appareils de cristallisation basés sur les bilans de populations : procédés continus et discontinus ; précipitation, génie de la réaction chimique appliqué au calcul des précipiteurs ; applications industrielles de la cristallisation : procédés et équipements, cristallisation en bain fondu ; approche industrielle pour la maîtrise de la qualité des solides divisés et optimisation de la chaîne du solide ; aspects fondamentaux et appliqués du polymorphisme des composés moléculaires et pharmaceutiques : approches thermodynamique et structurale, méthodes de caractérisation, exemples et implications pour les procédés industriels.

#### TYPE D'ÉVALUATION

Simulation des réactions discontinues : 3h d'examen sous forme de projet tutoré

Simulation et optimisation dynamique de procédés : 3h d'examen sous forme de projet tutoré

Cristallisation et précipitation industrielles : pas d'évaluation

#### INFORMATIONS UTILES

PREREQUIS : Phénomènes de transferts II, cinétique chimique, Thermodynamique Chimique, Génie de la réaction chimique, Méthodes du Génie Chimique, Méthodes d'analyse numériques et d'optimisation, Informatique (programmation).

LANGUE D'ENSEIGNEMENT : FRANÇAIS

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Nécessaires : Polycopiés

Conseillées :

1. Applied Optimal Control: Optimization, Estimation, and Control, Arthur E. Bryson and Yu-Chi Ho, Taylor & Francis Inc; Revised Edition, (1988)
2. Nonlinear Programming: Theory and Algorithms, Mokhtar S. Bazaraa, Hanif D. Sherali , C. M. Shetty, Wiley; 2nd edition, (1993)

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, Ordonnancement 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