

DOMAINE SCIENCES, TECHNOLOGIES, SANTE
PROGRAMME PEDAGOGIQUE MASTER 2

MASTER CHIMIE

Parcours Procédés Industriels Durables

- spécialité Catalyse et procédés -



Contact

Marcia Araque-Marin : marcia-carolina.araque-marin@centralelille.fr

Objectifs de la formation

Créé en 2004, ce parcours a pour objectif de fournir aux étudiants une double compétence en catalyse et en génie des réacteurs dans une optique du développement de nouveaux procédés propres pour l'industrie. Un socle théorique solide et des connaissances pratiques en catalyse, cinétique et procédés sont proposés aux étudiants afin d'acquérir les outils nécessaires pour devenir des acteurs du changement dans un contexte de haute technicité et de remise en cause des ressources et des modes opératoires conventionnels de l'industrie de la transformation (énergie, chimie, alimentaire, textile, ...).

Dans ce but, la formation par la recherche est une caractéristique essentielle de la spécialité qui prépare les étudiants à rejoindre rapidement une équipe de recherche. Ils poursuivent ainsi dans de nombreux cas leur formation avec un doctorat.

Débouchés de la formation

Le parcours Procédés Industriels Durables a pour vocation essentielle la formation de jeunes chercheurs en vue d'un doctorat. Ce diplôme ouvre ensuite aux métiers de la recherche et de l'expertise, aussi bien en milieu académique qu'en milieu industriel. La spécialité permet également aux étudiants ne désirant pas poursuivre avec une thèse de s'insérer directement dans le milieu industriel pour exercer le métier d'Ingénieur ou de cadre dans les industries de la transformation (énergie, chimie, alimentaire, textile, ...). Le premier poste est souvent celui d'Ingénieur de Recherche et Développement.

Poursuite d'études

70 % des élèves poursuivent le Master par un travail de recherche dans le cadre d'un doctorat. Les domaines de recherche sont liés à la transformation de la matière à différentes échelles, aussi bien au niveau moléculaire qu'au niveau du réacteur ou à l'échelle industrielle. Les outils peuvent être d'ordre expérimental aussi bien que théoriques, au travers de modèles ou de simulateurs.

Les applications concernent encore un peu la pétrochimie (où l'efficacité des procédés reste un sujet important), mais de plus en plus la transformation de la biomasse, la purification de gaz ou le captage de CO₂, le stockage d'énergie, ... Chaque année, des laboratoires comme l'Unité de Catalyse et Chimie du Solide (UCCS – UMR 8181), IFP Énergies nouvelles et l'Institut de recherches sur la catalyse et l'environnement de Lyon (IRCELYON – UMR 5256) proposent un certain nombre de contrats doctoraux pour réaliser des thèses.

Organisation de la formation

La formation est organisée en deux semestres avec 7 Unités d'Enseignement (UE) au total.
Le premier semestre comporte 4 UE et le deuxième 2 UE plus le projet de fin d'études (stage).

Premier semestre



Deuxième semestre



Equipe pédagogique

L'implication des professionnels issus de l'IFPEN, IFP School et AXENS est forte dans la spécialité avec une contribution à 42% des enseignements. L'équipe pédagogique regroupe également des enseignants-chercheurs et des chercheurs appartenant à Central Lille, l'Université de Lille et au CNRS.

Des partenaires industriels et des chercheurs reconnus internationaux sont également impliqués tous les ans dans un cycle des conférences.

Compétences acquises

La formation proposée permettra à l'étudiant d'acquérir tout le savoir nécessaire à l'étude de systèmes catalytiques depuis la compréhension des phénomènes au niveau moléculaire jusqu'à la conception de nouveaux procédés industriels. La double compétence en Catalyse et en Génie des Procédés résulte de l'organisation des enseignements en 2 parties, à savoir,

-L'enseignement de « catalyse » qui permet aux étudiants de posséder les connaissances de base nécessaires à la compréhension de l'acte catalytique. Les trois familles de catalyse, hétérogène, homogène et enzymatique, sont présentées et illustrées par des exemples d'applications industrielle.

L'enseignement sur les « Procédés » qui permet aux étudiants de posséder les connaissances nécessaires pour établir le modèle d'un réacteur hétérogène réel (problématiques de transfert de chaleur et de matière), évaluer le degré de complexité d'un mélange réactionnelle et s'en servir de ses connaissances pour établir de simulations de procédés d'un problématique donnée.

A la fin de la formation l'élève doit être capable de mener un projet, individuel ou en groupe, en (partielle) autonomie, de se fixer des objectifs, tout en se remettant en question et prenant de la hauteur dans le courant du travail expérimental et scientifique en fonction des résultats (positifs comme négatifs) obtenus. Il sera également en capacité de présenter son travail –à l'oral ou par écrit - en français et en anglais.

Pré-requis

Les candidats en deuxième année peuvent être :

- Titulaire d'un Master 1 en Chimie ou Génie des Procédés
 - Elève en dernière année d'école d'ingénieurs (ENSCL, EC Lille) après validation par le responsable de formation de leur établissement. Dans ce cas le parcours peut être adapté à votre double cursus.
 - Titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'Ingénieur dans le domaine de la Chimie ou du Génie des Procédés
- Le recrutement des étudiants du parcours « Procédés Industriels Durables » est international et s'effectue sur dossier de candidature et entretien individuel.

Programme détaillé

Titre UE	Volume horaire présentiel	Responsable	ECTS
De l'atome au catalyseur industriel	90	Christophe Dujardin (Centrale Lille)	9
Procédés durables et efficaces	115	Jean-Charles de Hemptinne (IFP School)	12
Energy, molecules and Sustainability	60	Benjamin Katryniok (Centrale Lille)	
Complexité scientifique et sociétale	22	Marcia Araque Marin (Centrale Lille)	3
Projet Laboratoire/Simulation		Robert Wojcieszak (CNRS)	6
Anglais	24	Frédéric Damageux (Université de Lille)	3
Stage		Marcia Araque Marin (Centrale Lille)	21

Unité d'Enseignement CP1 : De l'atome au catalyseur industriel

Matériaux nanostructurés	40h
Métaux en phase homogène	16h
Biocatalyse	22h
Mise à l'échelle	12h

Objectifs

Acquisition des méthodes de préparation, des techniques et méthodologie de caractérisation des propriétés physicochimiques des différentes familles de matériaux catalytiques ; Connaître les spécificités et complexités liées à l'emploi des enzymes en catalyse et à la mise à l'échelle de catalyseurs en vue de leur utilisation industrielle

Contenu

- Méthode de préparation des différentes familles de catalyseurs hétérogènes (Zéolithe, oxydes métalliques, métaux supportés)
- Adaptation des modes de synthèse pour une production à l'échelle industrielle
- Caractérisation des catalyseurs solides post-mortem avec les principales techniques analytiques (Analyse élémentaire, texture et porosité, μ scopie, IR, RMN, DRX, ...)
- Caractériser en operando (in situ), via les différentes techniques analytiques existantes (IR, Raman, ...), approches synchrotrons et avantages sur la caractérisation post-mortem
- Mise en œuvre des enzymes en catalyse et applications

Unité d'Enseignement CP2 : Procédés durables et Efficaces

Cinétique réactionnelle et réacteurs	48h
Thermodynamique des équilibres et techniques de séparation	35h
Introduction à la simulation de procédés	32h

Objectifs

Fournir les bases de la modélisation cinétique mécanistique et la modélisation des réacteurs hétérogènes en déterminant l'importance du modèle cinétique dans la modélisation de réacteurs. L'étudiant devra également être capable de comprendre et de sélectionner des modèles thermodynamiques adaptés aux différents problèmes rencontrés lors d'une simulation de procédés. Il devra connaître les opérations unitaires et savoir les agencer lors de la simulation d'un procédé.

Contenu

Cinétique avancée

- Mécanismes réactionnels en cinétique homogène, mécanismes réactionnels en cinétique hétérogène.
- Modélisation avancée : Réseaux cinétiques, modélisation avancée, application au reformage catalytique.
- Analyse cinétique de résultats expérimentaux : Méthode différentielle, méthode intégrale, estimation de paramètres.

Réacteurs hétérogènes

- Notions d'âge, de temps de séjour, de distribution de temps de séjour (DTS), identification des réacteurs, modèles simples
- Transfert de matière et de chaleur dans les lits catalytiques, couplage transfert – réaction.
- Dimensionnement de réacteurs réels, optimisation du fonctionnement d'un réacteur, intensification
- Modèles de réacteurs catalytiques fluide - solide à lit fixe : modèles pseudo-homogène, hétérogène.

Thermodynamique des équilibres et techniques de séparation

- Calcul des propriétés de corps purs à partir de leurs paramètres caractéristiques. Calcul d'un équilibre en utilisant la fugacité. Equations d'état. Construction d'un diagramme de phase comprenant des azéotropes et des démixtions
- Calcul d'un diagramme de phase complexe à l'aide d'un modèle à coefficient d'activité. Identification des avantages et inconvénients des équations d'état complexes. Choix d'un modèle en fonction du système.
- Rappel de notions fondamentales du transfert de matière entre phases fluides. Théorème du film et du double film. Détermination des conductances de transfert. Calcul des coefficients individuels et globaux de transfert. Modélisation d'une colonne.

Introduction à la simulation de procédés

- Principes de conception et d'utilisation des simulateurs (Éléments constitutifs des simulateurs, critères de sélection d'un simulateur, simulateurs commerciaux)
- Utilisation des simulateurs à l'exemple de HYSIS (Projet)
- Optimisation énergétique d'un procédé (méthode d'analyse pinch)

Unité d'Enseignement CP3 : Energy, molecules and sustainability

Petrol based processes	12h
Bio-refinery processes for Green Chemistry and fuels	12h
Energy transition – towards a hydrogen society	12h
A low carbon society (CO ₂ valorisation)	12h
ACV	12h

Objectifs

The transition from petrol based processes for chemistry and energy, to the use of alternative – and notable renewable – resources is a challenge for the society and the scientific community. Today, one cannot foresee what will be the best way to guarantee a reliable supply of energy and commodities based on renewable resources in the future. In the present UE, the students will learn about the complexity when using alternative resources (biomass, hydrogen, CO₂) for application in fuel, energy and chemical production, the potential of a circular economy and the advantages / disadvantages compared to the classical petrol based processes.

Contenu

- Petro-refinery and bio-refinery concepts with application for fuels and commodities including comparison in terms of eco-indicators (LCA).
- Non-biogenic resources: hydrogen production, storage and application in a sustainable mobility and energy concept (limits and challenges for a hydrogen society); CO₂ capture, storage and use as resource for chemicals and fuels via catalysis (non-biomass based).

Unité d'Enseignement CP4 : Complexité scientifique et sociétale

Gestion de Projet (MOOC)	24h
Conférences	10h

Objectifs

Permettre aux élèves de mieux structurer leur organisation pour mener à bien leurs projets. Développer son projet personnel et professionnel. Se situer dans les différentes perspectives d'insertion professionnelle.

Contenu

- Gestion de Projet (MOOC) : notions fondamentales, outils info et évaluation financière, organisation des projets, analyse fonctionnelle, pilotage et planification.
- Cycle de conférences dans les domaines de la catalyse fondamentale et appliqué, développement durable, catalyse environnementale, ...

Unité d'Enseignement CP5 : Anglais

Anglais	24h
---------	-----

Contenu

- Academic English: how to differentiate between spoken English and formal English, how to use the appropriate terms and expressions in a formal letter/thesis
- Presentation English: how to give good, clear and concise PP Presentation. How to prepare it, express yourself clearly, address your audience, react to questions, etc.

Unité d'Enseignement CP6 : Immersion et mise en œuvre

Projet Laboratoire/Simulation	60h
-------------------------------	-----

Objectifs

Former les étudiants à la recherche bibliographique, à l'analyse de la littérature scientifique et les initier dans les pratiques de développement des projets recherche/simulation.

Contenu

- Le projet Laboratoire/Simulation effectué d'octobre à février porte dans un premier temps sur une synthèse de la littérature existante et les perspectives proposées dans la littérature la plus récente sur un sujet précis. Ensuite les élèves développent le sujet d'une façon expérimentale ou numérique en collaboration avec un chercheur/ingénieur.
- Le projet est mené en partenariat avec des industriels (IFPEN, Solvay, Total etc) ou des chercheurs confirmés sur des sujets d'intérêt fondamental ou industriel. Ce projet permet à l'étudiant d'appréhender la gestion d'un projet avec la notion de livrables et des délais précis. Les étudiants doivent ensuite présenter les résultats devant un jury.

Unité d'Enseignement CP7 : Stage

Stage	
-------	--

Objectifs

Le stage à caractère recherche représente l'initiation aux méthodes de la recherche scientifique dans le domaine de la Catalyse ou des Procédés. Elle est d'une durée minimale de 4 et maximale de 6 mois (mars -).

Contenu

Le stage s'effectue au sein d'une équipe de recherche, avec un tutorat individuel assuré par un chercheur confirmé. Des étudiants rejoignent chaque année les laboratoires publics de recherche du domaine en France (IRCELYON, LRS, LCS, LGPC, UCCS, REALCAT, IFPEN, ...) ou à l'étranger (Japon, Chine...) et des laboratoires de recherche industriels pour effectuer leur stage. Ce stage permet à l'étudiant d'avoir une première approche d'un véritable travail de recherche.