

2EL2040 - Génie des procédés : application à l'environnement et aux biofabrications.

Responsables : **François PUEL , Julien COLIN**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MÉCANIQUE ENERGÉTIQUE PROCÉDÉS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Type de cours : **Electif 2A**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY , CAMPUS DE METZ**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30**

Année académique : **2024-2025**

Catégorie d'électif : **Sciences de l'ingénieur**

Niveau avancé : **non**

Présentation, objectifs généraux du cours :

Le Génie des Procédés moderne consiste à **concevoir, exploiter, optimiser des procédés**, destinés à l'**élaboration de produits et services variés** dans de nombreux secteurs classiques et high-tech (pharmacie, pétrole, chimie fine, agroalimentaire, cosmétiques, traitement de l'eau et des déchets, matériaux, biotechnologies, etc.) et à la production d'**énergies** traditionnelles, décarbonées et renouvelables.

Ce cours est une introduction au Génie des Procédés et des Bioprocédés et à ses méthodologies. **Les fondamentaux enseignés permettent aux élèves d'acquérir des outils généralistes**, transposables aisément à de multiples domaines.

La durabilité des procédés est un enjeu majeur.

Certains procédés s'inscrivent intrinsèquement comme des outils de choix dans la stratégie de **développement durable** aux différentes échelles (locale et mondiale), tel que le recyclage et la valorisation de nombreux produits ou la purification d'effluents liquides et gazeux. Il n'en demeure pas moins que, de manière générale, **de nouveaux procédés doivent être développés et que les procédés existants doivent être optimisés (intensification)**, afin de réduire les impacts du secteur industriel. Les défis associés à cette dynamique sont multiples : réduction des coûts, des risques et dangers, des déchets, des consommations en énergie et en matières premières.

Par ailleurs, les **bioprocédés** connaissent un très fort développement, pour deux raisons : (i) l'emploi du vivant pour transformer la matière, épurer des systèmes pollués (liquide, solide), les microorganismes se comportant comme des usines et (ii) l'emploi de biomasse renouvelable en remplacement de ressources fossiles.

Ce cours s'appuie sur des **exemples concrets** (simplifiés afin de les rendre accessibles), pour permettre aux étudiants **d'appliquer et de s'appropriier les fondamentaux** du cours, tout en **s'intéressant à des procédés orientés vers le développement durable**.

Certaines études de cas se concentrent sur des bioprocédés déployés en **biotechnologie industrielle et environnementale**. Le bioprocédé est étudié **à l'échelle du bioréacteur industriel**. La description et compréhension des processus biologiques (métabolisme, maintenance, etc.) à l'échelle de la cellule ne sont pas abordées. Les agents biologiques sont donc considérés comme des catalyseurs cellulaires transformant des matières premières en des produits selon des lois cinétiques fournies, dont l'application ne nécessite **aucun prérequis en biologie**.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence) :

SG8

Prérequis :

Aucun

Ce cours n'est pas accessible aux étudiants ayant suivi le cours analogue en ST5 (2SC5210)

Plan détaillé du cours (contenu) :

- 1. Introduction Génie des Procédés au service du Développement Durable ; Bilan matière**
Étude de cas : Procédé de production de bioéthanol de 1ère génération (conversion des matières premières renouvelables par biotechnologies blanches)
- 2. Modèles d'écoulement (parfaitement agité et piston)**
Étude de cas :
Valorisation de Lactoserum (Valorisation de résidu de l'industrie agroalimentaire par biotechnologies blanches)
Dimensionnement de bassins de traitement biologique d'une station d'épuration des eaux usées urbaines (procédé au service de l'environnement, réduction des volumes de réacteurs et de l'emprise au sol)
- 3. Bilans thermiques : calorifique / enthalpique**
Étude de cas : Dimensionnement d'une cuve de vinification et de son contrôle de température (optimisation de la géométrie d'un réacteur et de sa régulation thermique)
- 4. Équilibres liquide-vapeur, distillations simple et multiétagée**
Étude de cas : Distillation simple et multiétagée de bioéthanol (production d'alternatives aux carburants fossiles)
- 5. Transfert de Matière : Diffusion et Convection**
Étude de cas : Production en Raceway de Microalgues Spirulina (production durable de nutriments pour alimentation humaine et animale)
- 6. Transfert de Matière : technologie à Contact Permanent**
Étude de cas :
Traitement d'un effluent gazeux. Élimination d'un polluant (procédé pour l'environnement)
Épuration de biogaz pour produire du biométhane par technologie membranaire (production d'un vecteur énergétique renouvelable pour usages conventionnels)

Déroulement, organisation du cours :

Le module est organisé en cours magistraux (12h), pour introduire les connaissances et outils méthodologiques, et en TD (13.5h) afin d'appliquer les acquis dans le cadre d'études de cas. La modalité pédagogique des cours magistraux (présentiel ou classe inversée) sera discutée collectivement lors de la première séance. Les TD seront effectués en présentiel. Un de ces TD consistera à un mini projet à réaliser par groupe en autonomie. La dernière session consistera à résumer les 6 thèmes du cours (modalité collaborative)

Organisation de l'évaluation :

Homework : Présentation, par groupe, d'un projet bibliographique dont le sujet s'inscrit en prolongement du cours (40 % de la note) ; ces présentations auront lieu soit à l'oral, soit par affiche (poster). Contrôle final individuel, sur table : Étude de cas de 2h (60 % de la note).

Moyens :

Équipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : François PUEL / Victor POZZOBON / Cristian PUENTES / Julien COLIN

Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 30

Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Excel, Python

Salles de TP (département et capacité d'accueil) : Aucune

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

À l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capables de :

- Lister les modes de transfert de matière,
- Identifier les différentes modes de transfert de matière (diffusion / convection) à l'œuvre dans une configuration donnée et les éventuels couplages entre transferts de matière et thermique,
- Écrire les bilans de matière, en prenant en compte, si nécessaire, des cinétiques réactionnelles chimiques ou biochimiques,
- Simplifier un problème en apparence compliqué, où plusieurs phénomènes de transfert coexistent, en ne retenant que les modes de transfert significatifs (qui ont un impact),
- Traduire les phénomènes en équations en utilisant les bilans fondamentaux,
- Dimensionner des technologies de conversion et de séparation, sur la base de considérations thermodynamiques et cinétiques.

Description des compétences acquises à l'issue du cours :

- C1.2: Develop and use appropriate models, choosing the correct modelling scale and simplifying assumptions when addressing a problem. **Milestone 2**
- C1.3: Solve problems using approximation, simulation and experimentation. **Milestone 1**
- C2.4: Create knowledge within a scientific paradigm. **Milestone 2**
- C7.1: Persuade at core value level; to be clear about objectives and expected results. To apply rigour when it comes to assumptions and structured undertakings, and in doing so structure and problematise the ideas themselves. Highlight the added value. **Milestone 2**
- C7.2: Persuade through interpersonal relations to understand the needs and expectations of multiple participants in a dialogue, elicit reactions and create a climate of trust. **Milestone 2**

Bibliographie :

- **Diaporamas**

- **Techniques de l'ingénieur :**

+ Charpentier J., Génie des procédés, développement durable et innovation – Enjeux et perspectives, 2013

+ Moulin J.P., Pareau D., Rakib M., Stambouli M., Transfert de matière – Méthodologie, 2000

+ Moulin J.P., Pareau D., Rakib M., Stambouli M., Isambert A., Transfert de matière – Distillation compartimentée idéale, 2001

+ Moulin J.P., Pareau D., Rakib M., Stambouli M., Transfert de matière- Autres opérations compartimentées, 2002

+ Buch A., Rakib M., Stambouli M., Transfert de matière- Cinétique du transfert de matière entre deux phases, 2008

+ Sun L.M., Thonnellier J.Y., Perméation gazeuse, 2004

+ Vuillermaux J., Réacteurs chimiques – Principes, 1994

+ Boulinguez B., Le Cloirec P., Purification de biogaz – Élimination des COV et des siloxanes, 2011

- **Ouvrages généraux** : Perry Chemical Engineer's Handbook, 8th edition, 2007, McGraw-Hill, New York

- **Ouvrages spécifiques :**

- Génie des réacteurs et bioréacteurs

- + Coulson and Richardson's Chemical Engineering - Volume 3A: Chemical and Biochemical Reactors and Reaction Engineering, 4th Edition, 2017, Elsevier, Oxford

- + Fogler H.S., Elements of chemical reaction engineering, 5th Edition, 2016, Pearson Education, Englewood Cliffs

- + Levenspiel O., Chemical Reaction Engineering, 3rd edition, 1999, John Wiley and Sons, New York

- + Villadsen J., Nielsen J., Lidén G., Bioreaction Engineering Principles, 3rd Edition, 2011, Springer, New York

- Transferts de chaleur et de matière

- + Bergman T.L., Lavine A.S., Incropera F.P., Dewitt F., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Edition, 2011, John Wiley and Sons, New York

- + Coulson and Richardson's Chemical Engineering - Volume 1B: Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Application, 7th Edition, 2018, Elsevier, Oxford

- + Cussler E.L., Diffusion Mass Transfer in Fluid systems, 3rd Edition, 2009, Cambridge University Press, Cambridge

- + Treybal R., Mass Transfer Operations, 4th Edition, 1982, McGraw Hill, New York

- Production de bioéthanol

- + Cardona C.A., Sanchez O.J., Gutierrez L.F., Process synthesis for fuel ethanol production, 2010, CRC Press, Boca Raton

- + Naik S.N., Goud V.V., Rout P.K., Dalai A.K., Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, 2010, 578-597

- + Vohra M., Manwar J., Manmode R., Padgilwar S., Patil S. Bioethanol production: Feedstock and current technologies, Journal of Environmental Chemical Engineering 2, 2014, 573-584