

2SC5210 - Génie des procédés : application à l'environnement et aux biofabrications

Responsables : **Cristian-Felipe PUENTES MANCIPE**

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

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

Type de cours : **Cours ST**

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

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

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

Année académique : **2024-2025**

Niveau avancé : **non**

Présentation, objectifs généraux du cours :

Le Génie des Procédés moderne consiste à concevoir, mettre en œuvre et optimiser des procédés, destinés à l'élaboration de produits et services variés dans de nombreux secteurs industriels et de l'environnement (pharmacie, chimie fine, agroalimentaire, cosmétique, traitement de l'eau et des déchets, matériaux, biotechnologies, etc.) ainsi qu'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.

Les bioprocédés connaissent un fort déploiement et constituent un outil de choix dans la stratégie de développement soutenable, pour deux raisons : (i) l'emploi du vivant grâce aux fonctionnalités métaboliques pour transformer la matière et épurer des systèmes pollués, et (ii) l'emploi de biomasse renouvelable en remplacement de ressources fossiles. Il n'en demeure pas moins que certaines technologies associées doivent encore être optimisées et/ou intensifiées, afin de réduire leur impact environnemental et énergétique. Les défis sont multiples et incluent : réduction de coûts, de risques et de déchets, minimisation de la consommation en énergie et en matières premières.

Ce cours s'appuie sur des études de cas concrètes (simplifiées afin de les rendre accessibles), pour permettre aux étudiants d'appliquer et de s'approprier les fondamentaux du cours, tout en s'intéressant à des procédés orientés vers le développement soutenable.

Le bioprocédé est étudié à l'échelle du bioréacteur. La description et compréhension détaillées 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 de lois cinétiques fournies, dont l'application ne nécessite aucun prérequis en biologie.

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

ST5

Prérequis :

Prérequis non obligatoires mais fortement conseillés : Thermodynamique, Sciences des transferts. Les études de cas traitées impliquent des réactions biochimiques ou chimiques. Pour autant, aucune connaissance préalable en chimie ou biologie n'est requise.

Plan détaillé du cours (contenu) :

1. Introduction au génie des procédés ; Bilan matière
Étude de cas : Procédé de production de bioéthanol (conversion des matières premières renouvelables par biotechnologie industrielle)
2. Modèles de réacteur idéaux (parfaitement agité et piston)
Étude de cas : Dimensionnement de bassins de traitement biologique d'une station d'épuration des eaux usées urbaines (bioprocédé pour l'environnement)
3. Bilan énergie thermique
Étude de cas : Dimensionnement d'un bioréacteur pour la production de levure de boulanger en mode batch (production de biomasse par biotechnologie industrielle)
4. Équilibres liquide-vapeur, distillation simple
Exercice d'application : Distillation simple du mélange éthanol-eau (purification de biocarburant, alternative aux carburants fossiles)
5. Distillation multi-étagée
Étude de cas : Distillation multi-étagée de bioéthanol (purification de biocarburant, alternative aux carburants fossiles)
6. Transfert de Matière : Diffusion et Convection
Étude de cas : Production en Raceway de Microalgues Spirulina (production de nutriments pour alimentation humaine et animale par biotechnologie industrielle)
7. Transfert de Matière : technologie à contact permanent
Étude de cas : Traitement d'un effluent gazeux avec élimination d'un polluant (procédé pour l'environnement)
8. Contrôle continu.
Étude de cas : modélisation et simulation d'un bioprocédé de production de polymère (production de molécules à valeur ajoutée par biotechnologie industrielle)

Déroulement, organisation du cours :

Le module est organisé en cours magistraux (10.5 h), pour introduire les connaissances et outils méthodologiques, et en TD (10.5 h) afin d'appliquer les acquis dans le cadre d'études de cas.

Organisation de l'évaluation :

- étude de cas noté en groupe : Solution d'une étude de cas de modélisation et simulation d'un bioprocédé. Rédaction d'un rapport écrit incluant le code informatique et une analyse des résultats. (40 % de la note).
- Contrôle final individuel écrit, sur table : Étude de cas de 1.5 h (60 % de la note).

Moyens :

- Équipe enseignante : Cristian PUENTES, François PUEL
- Taille des TD : 30 à 35 étudiants
- Outils logiciels et nombre de licences nécessaires : Excel, Python, Matlab

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 différents 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 chimique/biochimique et de séparation, sur la base de considérations thermodynamiques et cinétiques.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

:

- C1.2. Modeling: using and developing the appropriate models, choosing the correct modeling scale and the relevant simplifying assumptions. Milestone 2.
- C1.3. Solve: solve a problem with a practice of approximation, simulation, and experimentation. 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