

1SC2293 - Production de microalgues par un système de production en mode biofilm

Responsables : **Filipa LOPES**

Langues d'enseignement : **FRANCAIS**

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

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **40**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **24**

Année académique : **2024-2025**

Niveau avancé : **non**

Présentation, objectifs généraux du cours :

L'enseignement "**Production de microalgues par un système de production en mode biofilm**"

est l'un des 4 Enseignements d'Intégration (EI) qui concluent la Séquence Thématique n°2 (ST2) Bioingénierie : Produire, Protéger, Réparer. Il relève plus particulièrement du volet Produire.

Une problématique relevant de la bioproduction à partir du vivant.

Les microalgues sont des usines cellulaires qui convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique tout en consommant du dioxyde de carbone. Diverses molécules à haute valeur ajoutée issues des microalgues, telles que des pigments, acides gras polyinsaturés (oméga 3 et 6), polysaccharides et protéines, présentent un fort intérêt industriel pour des applications variées en pharmaceutique, cosmétique, agro-alimentaire et aquaculture.

Ces microorganismes peuvent être cultivés à grande échelle, dans des photobioréacteurs fermés ou des bassins ouverts, en général sous forme de cellules en suspension, avant d'être récoltés pour l'extraction des molécules d'intérêt. Ces systèmes de production sont généralement placés à l'extérieur et donc soumis à des variations importantes de flux lumineux et de température à l'échelle de la journée et de la saison.

Par ailleurs, ils sont caractérisés par de faibles productivités, une forte demande en énergie/eau et des coûts élevés associés aux étapes de production et de récolte. Dans ce contexte, l'intérêt d'utiliser des microalgues immobilisées (culture de microalgues à base de biofilm) a récemment augmenté. La technologie à biofilm se présente comme une alternative prometteuse vis-à-vis des systèmes classiques : des productivités accrues (biomasse algale et molécules d'intérêt) et une dépense énergétique moindre par rapport à celles des cultures en suspension où la biomasse est facilement récoltée par raclage.

Un biofilm est un assemblage de microorganismes associés à des surfaces. Ils constituent le mode de vie microbien par excellence et sont ubiquitaires, couvrant toutes sortes de surfaces dans l'eau de mer et les milieux d'eau douce. Par conséquent, ils sont responsables de la majorité des conversions microbiennes dans les écosystèmes naturels et sont très utilisés en bioremédiation et en bioprocédés industriels.

L'utilisation des technologies à biofilm est au cœur de l'activité de la société Inalve qui industrialise un procédé pour la production de microalgues, en accord avec une stratégie de développement durable dans ses dimensions sociales, économiques et environnementales.

Cet enseignement d'intégration vise à améliorer le dispositif de production de microalgues mis au point par cette start-up.

L'objectif est ainsi de développer un modèle multiphysique (thermique et biologique) capable de prédire la productivité du bioprocédé soumis à des variations de flux lumineux et de température. Cet outil de modélisation combiné à la simulation numérique permettra d'optimiser le bioprocédé et enfin de proposer des stratégies nouvelles d'exploitation du bioprocédé.

Modélisation de la productivité du bioprocédé :

L'enseignement porte sur la modélisation du bioprocédé exploité par la société Inalve.
La démarche à mettre en place sera la suivante :

- 1) Un premier modèle thermique sera conçu et calibré pour prédire l'évolution de la température du biofilm dans le procédé soumis au flux radiatif solaire. Le profil thermique obtenu sera confronté aux données réelles fournies par la société.
En parallèle, un modèle biologique sera développé pour prédire la dynamique de formation du biofilm selon les différentes conditions d'opération du procédé, en particulier en fonction du flux lumineux incident et de la température du biofilm.
- 2) Les modèles thermiques et biologiques seront combinés. Cela permettra de prévoir l'évolution de la productivité en biomasse algale sur un cycle annuel.
- 3) La dynamique du procédé sera évaluée de manière « qualitative » (c'est-à-dire en tendance) pour émettre des recommandations de conception et de fonctionnement du dispositif technologique d'Inalve.

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

ST2

Prérequis :

Aucun prérequis

Plan détaillé du cours (contenu) :

- **Présentation du projet par le partenaire industriel**
- **Analyse et formulation du problème**
 - o Recherche bibliographique
 - o Identification de l'objectif du modèle (thermique/biologique)
 - o Identification des données nécessaires
 - o Écriture des équations du modèle (bilans thermiques et massiques)
 - o Couplage des modèles thermique et biologique
- **Implémentation numérique**
 - o Programmation
 - o Validation du modèle sur des configurations test
- **Étude paramétrique**
 - o Évaluation de l'impact des changements des conditions opératoires du procédé sur la productivité.
- **Présentation du livrable**
 - o Rédaction du rapport et présentation orale.

Déroulement, organisation du cours :

« Production de microalgues par un système de production en mode biofilm » est une activité pédagogique de type Problem solving. Elle permet de se confronter au caractère multiphysique (transfert thermique ; biologie) d'un problème industriel, en mettant en œuvre les concepts introduits dans les cours de base de la ST2 Bioingénierie et dans les cours communs de mathématiques et d'informatique. Enfin l'élève est dans la posture d'un jeune ingénieur qui doit réaliser un rapport technique et présenter ses travaux à des experts et à un partenaire industriel dans un contexte de production industrielle.

L'enseignement est programmé sur une semaine "bloquée" (5 jours consécutifs). Il commence par une demi-journée de lancement de projet (lundi matin) avec le client. Pendant la semaine, les étudiants travaillent par groupes de 4 à 6 élèves, encadrés par une équipe d'enseignants-chercheurs du laboratoire LGPM et de l'INRIA. Chaque groupe abordera l'une des problématiques de la modélisation multiphysique (modèle thermique ou biologique) et devra interagir avec une seconde équipe travaillant sur le modèle complémentaire.

Des points d'avancement seront réalisés quotidiennement : présentation de l'état d'avancement du projet par chaque équipe, discussion des résultats, apport méthodologique. La semaine se termine par une séance de restitution le vendredi après-midi en présence du client industriel.

Organisation de l'évaluation :

L'évaluation prendra en compte : l'assiduité individuelle, l'implication du groupe, la pertinence du modèle, son implémentation numérique, la qualité de la programmation (code), la présentation orale et les discussions, le rapport de synthèse.

Moyens :

- Équipe enseignante : F. Lopes (PR, CS, Département MEP, LGPM), O. Bernard (DR, Equipe Biocore de l'INRIA), intervenant (Société invalve)
- Taille de l'effectif : 24 à 28
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Synder-Python (logiciel libre).

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

A l'issue du cours, les étudiants seront capables de :

1. Estimer les différentes échelles de temps et d'espace mises en jeu dans un procédé;
2. Choisir l'échelle la plus pertinente pour résoudre le problème posé ;
3. Discriminer et conserver les phénomènes prépondérants ;
4. Réduire de façon pertinente les dimensions et la complexité d'un problème ;
5. Établir un modèle multiphysique en agrégeant des connaissances provenant de champs disciplinaires différents (biologie, science des transferts, génie des procédés);
6. Implémenter numériquement un modèle mathématique ;
7. Avoir un regard critique sur un modèle et ses limitations;
8. Présenter de façon structurée et argumentée une démarche de modélisation.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

:

C1: Analyze, design, and implement complex systems made up of scientific, technological, social, and economic dimensions

C4: Create value for companies and clients

C7: Strengthen the Art of Persuasion

C8: Lead a team, manage a project.

Bibliographie :

Le polycopié de cours en Transfert Thermique et des articles scientifiques seront fournis lors du cours.