

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE

Laboratoire d'accueil : CERI EE Centre d'Enseignement de Recherche et d'Innovation Energie Environnement

Ecole Gradué : ENGSYS Sciences de l'ingénierie et des systèmes (U-Lille, Centrale Lille Institut, IMT Nord Europe)

THÈSE présentée en vue d'obtenir le grade de DOCTEUR en Mécanique, énergétique, génie des procédés, génie civil
par

MUSY Valentin

DOCTORAT de l'IMT NORD EUROPE

Titre de la thèse :

Mise au point d'un photobioréacteur agité par un système de grilles oscillantes fractales pour la culture de microalgues

Soutenance prévue le lundi 08 décembre 2025 à 14h00

***Lieu : IMT Nord Europe - Salle : Amphithéâtre du bâtiment Energétique Industrielle - Bâtiment Energétique Industrielle -
764 Boulevard Lahure - 59508 Douai***

Devant le jury d'examen :

Président (désigné lors de la soutenance)

Rapporteuse GENTRIC Caroline,

Rapporteur TERRAPON Vincent,

Examineur LACASSAGNE Tom,

Examineur LE GUER Yves,

Examineur MUYLAERT Koenraad,

Examinatrice THOMAS Diane,

Co-Directrice de thèse HANTSON Anne-Lise,

Directeur de thèse BAUDEZ Jean-Christophe,

Invité BRICTEUX Laurent,

Professeure,

Professeur,

Maître assistant,

Maître de conférences,

Professor,

Professeure,

Professeure,

Directeur Général,

Professeur

Nantes Université

Université de Liège

IMT Nord Europe

Université de Pau et des Pays de l'Adour

Katholieke Universiteit Leuven

Université de Mons

Université de Mons

Pôle de compétitivité CIMES

Université de Mons

Résumé

Les microalgues sont des micro-organismes photosynthétiques métabolisant le CO₂ grâce à l'énergie lumineuse afin de produire leur propre matière organique. Celle-ci peut être valorisée à des fins d'alimentation humaine et animale, de traitements thérapeutiques ou énergétiques. Les cultures de microalgues peuvent être réalisées dans des systèmes ouverts ou des photobioréacteurs (PBR, systèmes fermés) éclairés naturellement ou artificiellement. Chaque configuration présente des compromis entre simplicité et contrôle, grandes surfaces éclairées et grands volumes de culture, ou encore entre bonnes propriétés de mélange et faible stress mécanique exercé sur les microalgues. Dans cette thèse, nous proposons de concevoir et d'étudier un PBR agité par grilles oscillantes fractales, dispositifs de mélange innovants, favorisant le mélange du milieu de culture liquide tout en limitant le développement de biofilms de microalgues sur les parois du PBR (réduisant l'apport lumineux à la culture) et en limitant le stress mécanique induit sur les cellules. Les grilles oscillantes simples (dessinant un simple motif cartésien) sont étudiées, principalement en mécanique des fluides, pour leur capacité à générer des écoulements avec des régions de turbulence quasi isotrope (avec des tourbillons de tailles et vitesses variées) et de faible écoulement moyen (moyenne temporelle de l'écoulement global instationnaire) dans la cuve brassée. À ce jour, des grilles fractales (répétition itérative d'un motif de base sur plusieurs échelles) n'ont été étudiées qu'en étant fixes dans des souffleries. Cette thèse constitue donc la première mise en œuvre d'écoulements de grilles oscillantes fractales. Cette thèse a consisté premièrement en une étude expérimentale des écoulements générés dans l'eau par quatre grilles oscillantes uniques – une grille cartésienne simple (cas de référence), une grille cartésienne fractale, une grille fractale carrée et une grille fractale en I – avec différentes fréquences et amplitudes d'oscillation. Une méthode de vélocimétrie par images de particules a permis de visualiser les écoulements au plan vertical central du volume d'eau et d'en calculer les propriétés statistiques. Ainsi, les caractéristiques des écoulements sont modulables selon la géométrie de grille et les paramètres d'oscillation. La fréquence agit linéairement sur la norme des écoulements tandis que l'amplitude agit non linéairement en modifiant les topologies d'écoulement. L'écoulement moyen non négligeable semble jouer un rôle clef dans la propagation de la turbulence hors des sillages des grilles, et donc dans les propriétés de mélange. Des simulations numériques directes (simulations coûteuses nécessitant de très hautes résolutions temporelles et spatiales) des écoulements de grilles oscillantes fractales ont été menées avec OpenFOAM afin de compléter les résultats expérimentaux par des données 3D. Celles-ci révèlent notamment que la contrainte mécanique sur les parois, à savoir la contrainte de cisaillement (qui doit être suffisamment élevée pour éviter la formation de biofilms), est particulièrement marquée dans les sillages de grilles. La puissance injectée dans le fluide par les grilles oscillantes fractales, difficile à évaluer expérimentalement, a également été calculée grâce aux simulations. Enfin, des cultures discontinues de l'espèce de microalgue verte *Scenedesmus obliquus* ont été menées dans notre prototype de PBR mélangé par grilles oscillantes fractales. Un système de trois grilles identiques équitablement espacées et oscillant en phase a été utilisé pour éviter la sédimentation des cellules. Quelle que soit la grille testée, notre prototype de PBR permet d'atteindre des concentrations cellulaires plus élevées qu'un PBR commercial à colonne à bulles. La formation de biofilms reste limitée dans le sillage des barres si celles-ci sont suffisamment proches des parois. Ces résultats de culture pavent la voie à une optimisation de notre prototype.