

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602

Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes

Spécialité : *Génie des Procédés et Bioprocédés*

Par

Abdallah HAYDAR

**Photobioréacteur de type colonne à bulles confinée :
hydrodynamique, transfert gaz-liquide, influence des bulles sur le
cisaillement pariétal et performances de production**

Thèse présentée et soutenue à « Lieu », le « date »

Unité de recherche : Laboratoire GEPEA UMR-CNRS 6144

Rapporteurs avant soutenance :

Frédéric AUGIER Chargé de recherche HDR, IFP Energies Nouvelles, France

Victor POZZOBON Ingénieur de recherche HDR, CentraleSupélec, France

Composition du Jury :

Président : Prénom Nom Fonction et établissement d'exercice (8) (à préciser après la soutenance)

Examineurs : Anne-Marie BILLET Professeur des universités, Université de Toulouse, France

Ridha MOSRATI Professeur des universités, Université de Caen Normandie, France

Dir. de thèse : Caroline GENTRIC Professeur des universités, Nantes Université, France

Co-encadrant : Walid BLEL Maître de Conférences, Nantes Université, France

Invité

Jack LEGRAND Professeur émérite, Nantes Université, France

Titre : Photobioréacteur de type colonne à bulles confinée : hydrodynamique, transfert gaz-liquide, influence des bulles sur le cisaillement pariétal et performances de production

Mots clés : Colonne à bulles confinée, hydrodynamique, transfert de matière gaz-liquide, mélange, photobioréacteur, microalgue

Résumé : Les photobioréacteurs (PBRs) de type colonnes à bulles confinées, généralement de quelques millimètres d'entrefer, permettent théoriquement d'augmenter la productivité volumétrique en biomasse. Dans le cadre de cette thèse, une caractérisation approfondie de l'hydrodynamique globale et locale ainsi que du transfert de matière gaz-liquide a été réalisée dans une colonne à bulles confinée d'épaisseur 2 mm avec une viscosité élevée de la phase liquide et modifiant son comportement de Newtonien à non-Newtonien rhéofluidifiant. La concentration élevée de microalgue *Chlorella vulgaris* ($\approx 42 \text{ g.L}^{-1}$) a été simulée en utilisant des solutions aqueuses de glycérol à 50% m/m et de gomme xanthane aux concentrations 0,5 et 1 g.L^{-1} . L'objectif est de mieux comprendre

l'influence du confinement, de l'injection et des propriétés rhéologiques de la phase liquide sur les paramètres hydrodynamiques globaux clés, tels que le taux de vide, les régimes d'écoulement, le temps de mélange et le transfert gaz-liquide. Afin de compléter l'étude globale, une caractérisation de la phase gazeuse a été réalisée. L'hydrodynamique en proche paroi a été aussi caractérisée, afin d'identifier la contribution de la dynamique des bulles sur les contraintes de cisaillement à la paroi. Enfin, les connaissances acquises avec les essais de fluides modèles ont été mises à l'épreuve pour maximiser la productivité de la biomasse microalgale, en exploitant ce PBR intensifié en mode de culture continu avec *Chlorella vulgaris*.

Title: Thin-gap bubble column photobioreactor: hydrodynamics, gas-liquid mass transfer, bubble influence on wall shear stress and production performance

Keywords: Thin-gap bubble column, hydrodynamics, gas-liquid mass transfer, mixing, photobioreactor, microalgae

Abstract: Thin-gap bubble column photobioreactors (PBRs), typically with a few millimeters' gaps, theoretically offer the potential to increase volumetric biomass productivity. In the context of this thesis, a comprehensive characterization of both global and local hydrodynamics, as well as gas-liquid mass transfer, is conducted within a confined bubble column having a 2 mm thickness and at high viscosity of the liquid phase, changing from Newtonian to non-Newtonian shear-thinning behavior. The high concentration of microalgae *Chlorella vulgaris* ($\approx 42 \text{ g.L}^{-1}$) is mimicked using aqueous solutions of 50 wt% glycerol and xanthan gum at 0.5 and 1 g.L^{-1} . The objective is to better understand the influence of

confinement, injection, and rheological properties of the liquid phase on global hydrodynamic parameters, such as gas holdup, flow regimes, mixing time, and gas-liquid mass transfer. To complete the global study, a characterization of the gaseous phase is performed. The hydrodynamics near the walls are also characterized to identify the contribution of bubble dynamics to wall shear stress. Finally, the knowledge acquired from model fluids experiments is used in culture experiments to optimize the production of microalgal biomass. This was achieved by using the intensified PBR in a continuous culture mode with *Chlorella vulgaris*.