

Proposition de thèse

Sujet de thèse : Transfert de CO₂ et stratégies d'apport du carbone inorganique en photobioréacteurs

Programme ou discipline concernée : Génie des Procédés

Directeur et co-encadrants : Caroline Gentric et Emilie Gadoin

Laboratoire de Rattachement et lieu : GEPEA – Saint Nazaire

Début de thèse : 1^{er} octobre 2012– **Dossier de candidature à constituer pour le 23 mars 2012**

Description du sujet : Les applications des photobioréacteurs destinés à la culture de microalgues ou de cyanobactéries sont variées et prometteuses : production de biomasse pour l'aquaculture mais aussi de produits à haute valeur ajoutée pour les industries pharmaceutiques, cosmétiques ou agro-alimentaires (pigments, vitamines, acides gras...), d'énergie propre (biohydrogène, lipides pour biodiesel), abattement de la pollution (traitement des eaux, capture du CO₂)... Pour développer le potentiel des microalgues, des photobioréacteurs plus efficaces doivent être mis en œuvre. Actuellement, un des principaux facteurs limitant leur utilisation pour la culture industrielle est, outre la lumière, le transfert de matière, en particulier le transfert de CO₂. Le CO₂ est la seule source de carbone dans les photobioréacteurs. Il est alimenté en continu pour assurer la photosynthèse et la production de biomasse et dans le même temps, il contribue au contrôle du pH de la culture. Le carbone inorganique dissous doit être fourni en quantité suffisante à la culture pour éviter la limitation en carbone mais le CO₂ non dissous est perdu par dégazage. Etant donné qu'il représente une part importante des coûts de production à grande échelle, il est primordial d'améliorer l'efficacité de l'utilisation du CO₂ et par conséquent son transfert vers le milieu de culture.

Jusqu'à présent le transfert de CO₂ en bioréacteurs n'a été abordé que de manière globale : kLa globaux, effet indirect sur la croissance cellulaire. Or dans les réacteurs de grande taille ou à forte concentration cellulaire, les conditions de mélange et/ou de transfert de matière peuvent être insuffisantes, ce qui limite les performances du bioprocédé, et donner lieu à des hétérogénéités spatiales, ce qui rend moins pertinente la transposition à l'échelle industrielle des résultats issus des pilotes à l'échelle du laboratoire. Cette étude propose de caractériser localement l'hydrodynamique

et le transfert de matière gaz-liquide en photobioréacteurs à l'aide de mesures locales et de la mécanique des fluides numérique. Le photobioréacteur choisi pour ce projet est un airlift de laboratoire : l'airlift est un réacteur gaz-liquide possédant de bonnes capacités de mélange et de transfert de matière et de chaleur, sans pièces mobiles ce qui facilite la maintenance et le travail dans des conditions aseptiques ainsi que la préservation des organismes qui ne sont pas soumis à des contraintes mécaniques. L'épaisseur de 5 cm considérée permet en outre l'accès à la lumière de toute la culture. L'étude se fera essentiellement en maquette froide : système eau/air ou milieu de culture/air avec injection de CO₂.

Dans un premier temps, l'hydrodynamique locale du réacteur sera caractérisée par des mesures de type PIV, sondes optiques, caméra rapide et des simulations de mécanique des fluides numérique à l'aide d'un code commercial. Dans un second temps, les équations de transfert et de transport du CO₂ seront couplées à la simulation de l'hydrodynamique, en prenant en compte les réactions du CO₂ dissous ; ces simulations seront validées par des mesures locales de pH et de pCO₂. Deux types d'injection seront envisagés : soit l'injection d'air enrichi en CO₂, soit des injections d'air et de CO₂ réalisées indépendamment. Le cas de milieux de culture à différents pH sera abordé. Cette phase de l'étude doit permettre de caractériser le couplage entre hydrodynamique, mélange, transfert de matière et réaction chimique en phase liquide et conduire à la possibilité de prédire la distribution du carbone inorganique dans l'espace et dans le temps. Dans un troisième temps, les simulations de l'hydrodynamique et du transfert de CO₂ seront couplées à un modèle de consommation simple par les microalgues, et différentes stratégies d'injections pourront être étudiées par simulation. Une meilleure compréhension des effets transitoires liés à l'injection de CO₂ dans le photobioréacteur est attendue : modification des équilibres chimiques, concentrations des formes dissoutes, acidification du milieu près du point d'injection, possibles limitations locales dues au transfert. Plusieurs paramètres pourront être étudiés : système de distribution du gaz, taille des bulles, débit de gaz, concentration en CO₂, pertinence de la double injection air / CO₂ ... Un suivi Lagrangien des cellules devrait alors permettre de déterminer le temps de séjour dans les différentes zones du réacteur ; le lien avec le métabolisme pourra alors être fait en couplant cette étude avec une thèse se terminant actuellement au GEPEA sur la limitation par la source de carbone de la croissance des microorganismes photosynthétiques.

Ce travail pourra être à la base de stratégies d'injection de gaz et de distribution du CO₂ en fonction des caractéristiques de la microalgue, du milieu de culture et de la concentration cellulaire. Quelques stratégies testées numériquement et/ou expérimentalement pourront être à la base de développements pour la conception et la commande des photobioréacteurs à l'échelle industrielle.

Connaissances et compétences requises : formation en génie des procédés et/ou mécanique des fluides, goût pour l'expérimentation et la simulation numérique

Contact : Caroline Gentric

GEPEA, CRTT, 37 boulevard de l'Université, BP 406, 44602 Saint-Nazaire Cedex

E-mail : caroline.gentric@univ-nantes.fr

Tel : 02 40 17 26 31