



**HAL**  
open science

# Optimisation de l'hydrodynamique dans des photobioréacteurs a haute productivité volumique pour éviter le développement de biofilm

Charlène Thobie, W. Blél, Jeremy Pruvost, Caroline Gentric

## ► To cite this version:

Charlène Thobie, W. Blél, Jeremy Pruvost, Caroline Gentric. Optimisation de l'hydrodynamique dans des photobioréacteurs a haute productivité volumique pour éviter le développement de biofilm. 16ème Congrès de la Société Française de Génie des Procédés SFGP 2017, Jul 2017, Nancy, France. hal-02344578

**HAL Id: hal-02344578**

**<https://hal.science/hal-02344578v1>**

Submitted on 4 Nov 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# OPTIMISATION DE L'HYDRODYNAMIQUE DANS DES PHOTOBIOREACTEURS A HAUTE PRODUCTIVITE VOLUMIQUE POUR EVITER LE DEVELOPPEMENT DE BIOFILM.

Charlène THOBIE<sup>1</sup>, Walid BLEL<sup>1</sup>, Jérémy PRUVOST<sup>1</sup> Caroline GENTRIC<sup>1\*</sup>

1- Laboratoire GEPEA, UMR CNRS 6144, Saint-Nazaire, France.

\*caroline.gentric@univ-nantes.fr

Mots clés : intensification, photobioréacteurs, biofilm, bulles, électrochimie

## Introduction

Les applications des photobioréacteurs destinés à la culture de microorganismes photosynthétiques sont variées et prometteuses : production de molécules à haute valeur ajoutée, d'énergie, abatement de la pollution... Une des principales voies d'évolution de la technologie des photobioréacteurs consiste en l'intensification des conditions de culture en diminuant l'épaisseur du photobioréacteur. Ceci permettra de diminuer la quantité d'eau utilisée et donc de réduire les coûts de fonctionnement et d'investissement. Dans ces photobioréacteurs à haute productivité volumique (PBR-HPV), une hydrodynamique diphasique très particulière se met en place en raison du confinement et du comportement rhéologique de la phase continue : interaction des bulles avec les parois, augmentation de la viscosité de la phase liquide (Souliès, 2014), développement de biofilm à la paroi. Ces derniers sont responsables d'une baisse de l'intensité lumineuse traversant le photobioréacteur et donc d'une baisse de productivité (Krohn-Molt, 2013). Lorsqu'ils sont trop importants, ils entraînent même l'arrêt de la culture pour le nettoyage. Dans cette étude, seule l'hydrodynamique par l'injection de différents types de bulles à différents débits sera optimisée pour permettre de limiter l'encrassement des parois par l'apparition de biofilm.

De nombreuses études sur l'élimination des biofilms bactériens sont présentes dans la littérature étant donné que la présence de biofilm est néfaste pour de nombreux secteurs d'activités (agro-alimentaire, médical, milieu industriel, etc.). De nombreux auteurs ont cherché comment détacher ce biofilm par l'application de différentes forces de cisaillement en paroi. Pour certains auteurs, les forces de cisaillement appliquées en paroi n'évitent pas la formation d'un biofilm, mais rendent celui-ci plus fin, plus dense et présentant une résistance accrue au cisaillement (Paul, 2012 ; Kwok, 1998 ; Liu, 2002 et Laspidou, 2004). Pechaud *et al*, 2012 ont montré qu'en dessous d'une certaine valeur de contrainte de cisaillement, le détachement du biofilm prédominait. Mais, en augmentant cette contrainte de cisaillement, une compression du biofilm avait lieu. D'autres auteurs ont montré, qu'en cas de conditions extrêmes (très fort cisaillement), les conditions hydrodynamiques peuvent entraîner la déformation des biofilms voire leur détachement des surfaces (Ochoa, 2007). D'autre part, la littérature montre que le recours aux écoulements non stationnaires, tels que les écoulements pulsés, permettrait de remédier au problème des biofilms. Ces écoulements ont une action sur les deux composantes, moyenne et fluctuante, du cisaillement pariétal (Blel, 2009 et 2013). Les écoulements gaz-liquide à bulles qui sont des écoulements non stationnaires sont donc susceptibles de présenter le même intérêt.

## Objectifs

L'objectif est donc de comprendre le rôle des bulles sur les phénomènes pariétaux en contacteur à bulles confinées en utilisant des méthodes telles que la mesure de cisaillement pariétal par électrochimie, de champ de vitesse de la phase liquide par vélocimétrie par images de particules et de caractéristiques des bulles par ombroscopie. Il s'agit ensuite d'améliorer l'hydrodynamique, en testant différents types de bulles et différents débits d'injection d'air, de façon à limiter le développement de biofilm sur les surfaces des photobioréacteurs afin de réduire la fréquence d'arrêt pour le nettoyage de tels systèmes.

## Résultats

Pour cette étude, le contacteur à bulles confinées testé est un canal de section carrée de 4 mm qui a pour but de confiner les bulles et de maîtriser leur trajectoire afin de pouvoir les capter sur les sondes électrochimiques et ainsi remonter au gradient pariétal de vitesse. Dans ce canal, deux types d'injection sont testées : une injection en T (diamètre d'injection d'air de 4 mm) permettant d'obtenir des bulles confinées dans le canal (bulles de Taylor) et une injection avec un capillaire (diamètre

d'injection de 0.2 mm) permettant d'obtenir des bulles sphériques qui oscillent légèrement dans le canal. Le fait de modifier le débit d'air va entraîner des modifications en terme de fréquence de passage des bulles, de contrainte de cisaillement pariétal et de taux de fluctuations de ce cisaillement qui seront déterminés par mesures électrochimiques. Pour une même fréquence de passage de bulles, le taux de fluctuation du cisaillement pariétal est beaucoup plus élevé avec une injection capillaire (Figure 1). Ceci peut s'expliquer par le fait qu'avec une injection capillaire, les bulles oscillent dans le canal ce qui va entraîner plus de fluctuations en paroi que dans le cas des bulles confinées dans le canal. La contrainte de cisaillement pariétale moyenne est quant à elle plus élevée avec une injection en T (Figure 2), ceci pouvant s'expliquer par le fait que les bulles sont plus grosses, ce qui va créer plus de frottement au passage des bulles. Cependant, pour avoir une fréquence du même ordre de grandeur, il faut un débit d'air plus important dans le cas d'une injection en T car les bulles sont plus grosses que les bulles obtenues par injection capillaire.

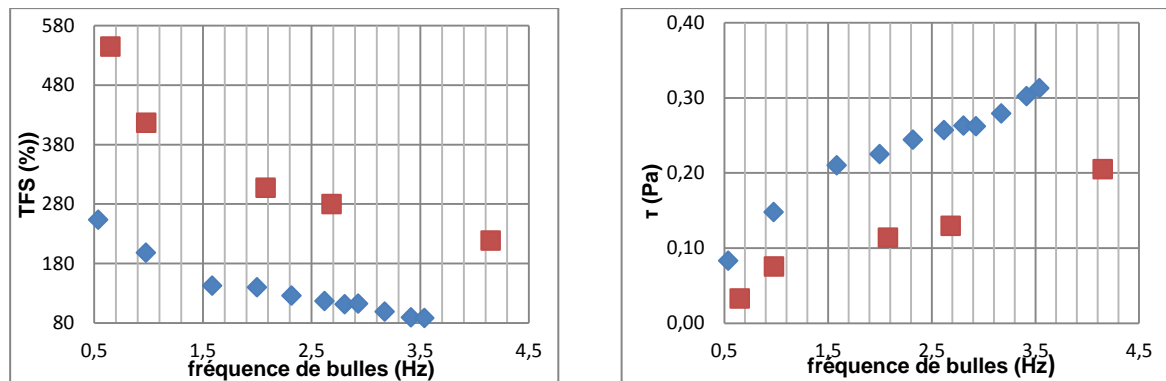


Figure 1 (gauche) : Taux de fluctuation du cisaillement pariétal en fonction de la fréquence de passage des bulles. Figure 2 (droite) : Contrainte de cisaillement pariétale en fonction de la fréquence de passage des bulles. (■) injection capillaire (bulles oscillantes); (◆) injection en T (bulles confinées).

Une fois que les conditions hydrodynamiques ont été caractérisées en termes de contrainte de cisaillement, de fluctuations et de fréquence de passage des bulles, il est alors possible de les tester en condition de culture pour voir avec quel type de bulle le développement de biofilm est retardé ou avec quelle séquence de bullage on peut décoller le biofilm. Pour cela, on place ce canal en dérivation d'une culture de *Chlorella Vulgaris* dans un photobioréacteur airlift classique en continu et un suivi quotidien de l'intensité lumineuse qui traverse le photobioréacteur est réalisé. La diminution de celle-ci est le signe de l'apparition de biofilm sur les parois du canal.

## Références

- [1] W. Blel, C. Le Gentil-Lelièvre, T. Bénézech et al., Application of turbulent pulsating flows to the bacterial removal during a cleaning in place procedure. Part 1: Experimental analysis of wall shear stress in a cylindrical pipe. *Journal of Food Engineering*, vol. 90. pp. 422- 432. 2009
- [2] W. Blel, P. Legentilhomme, T. Bénézech, et al., Cleanability study of a scraped surface heat exchanger. *Food and Bioproducts Processing*, vol. 91. pp. 95-102. 2013
- [4] I. Krohn-Molt, B. Wemheuer, M. Alawi et al., Metagenome survey of a multispecies and alga-associated biofilm revealed key elements of bacterial-algal interactions in photobioreactors. *Applied and Environmental Microbiology*, vol.79, pp. 6196-6206. 2013
- [5] W. K. Kwok, C. Picioceanu, S. L. Ong et al., Influence of biomass production and detachment forces on biofilm structures in a biofilm airlift suspension reactor. *John Wiley & Sons, Inc.* 1997
- [6] C. S. Laspidou, B. E. Rittmann, Modeling the development of biofilm density including active bacteria, inert biomass, and extracellular polymeric substances. *Water Research*, vol. 38. pp. 3349-3361. 2004
- [7] Y. Liu, J-H Tay, The essential role of hydrodynamic shear force in the formation of biofilm and granular sludge. *Water Research*, vol. 36. pp. 1653-1665. 2002
- [8] J-C. Ochoa, C. Couforta, R. Escudiéa et al., Influence of non-uniform distribution of shear stress on aerobic biofilms. *Chemical Engineering Science*, vol. 62. pp. 3672-3684. 2007
- [9] E. Paul, J. C. Ochoa, Y. Pechaud et al., Effect of shear stress and growth conditions on detachment and physical properties of biofilms. *Water Research*, vol.46. pp. 5499-5508. 2012
- [10] Y. Pechaud, C.E. Marcato-Romain, E.Girbal-Neuhauser et al., Combining hydrodynamic and enzymatic treatments to improve multi-species thick biofilm removal. *Chemical Engineering Science*, vol. 80. pp.109-112. 2012
- [11] A. Souliès, Contribution à l'étude hydrodynamique et à la modélisation des photobioréacteurs à haute productivité volumique. Thèse de Doctorat, Université de Nantes, 2014