Caractérisation de l'hydrodynamique et du transfert gaz-liquide d'un essaim de bulles en phase liquide Newtonienne et non Newtonienne dans une colonne à bulles confinée

Abdallah HAYDAR[1], Walid BLEL[1], Caroline GENTRIC[1]*

[1] Laboratoire GEPEA, UMR CNRS 6144, Saint-Nazaire, France

*caroline.gentric@univ-nantes.fr

Contexte et objectifs

Les colonnes à bulles sont souvent utilisées comme photobioréacteurs (PBRs) pour cultiver la biomasse microalgale, car elles permettent un bon mélange et assurent le transfert gaz-liquide essentiel à la croissance des microalgues qui sont des paramètres clés pour atteindre une productivité élevée dans les cultures de microalgues. En effet, les PBRs, dédiés à la culture de microalgues ou de cyanobactéries, sont une technologie prometteuse pour de nombreuses applications telles que la production de produits à haute valeur ajoutée, de bioénergie ou la capture de CO_2. L'optimisation des paramètres de culture et de conception des PBRs sont deux solutions possibles afin d'obtenir des productivités volumétriques élevées, de réduire les coûts de production et les impacts environnementaux et d'augmenter l'efficacité énergétique. Dans ce contexte, l'intensification des performances *via* une augmentation de la concentration de culture pour une surface illuminée donnée représente une voie prometteuse pour atteindre une production optimisée et éco-efficace. La technologie des PBRs de type colonne à bulles intensifiés ayant une épaisseur de culture de quelques mm permet théoriquement d'obtenir ces performances. Par rapport aux colonnes à bulles classiques (épaisseur de quelques centimètres), il a été montré que le confinement entraîne une forte modification de l'hydrodynamique et du transfert de masse (Thobie et al., 2017 ; Almani et al., 2021). De plus, lorsque la concentration en biomasse augmente, la viscosité de la phase continue augmente également, puis un comportement non Newtonien est observé (Souliès et al., 2013). Ceci pourrait avoir des conséquences sur l'apport de CO_2 et son transfert dans le milieu de culture. Il est donc important d'étudier l'effet du confinement sur le transfert gaz-liquide dans ce type de colonne à bulles confinée. Dans cette étude, l'hydrodynamique locale et le transfert de masse gaz-liquide sont caractérisés dans une colonne à bulles ayant 2 mm d'entrefer (e), pour différentes conditions d'injection de gaz (débit de gaz, nombre de capillaires…) et pour des phases liquides Newtoniennes à basse et haute viscosité (eau et glycérol) et non-Newtoniennes (gomme xanthane à 0,5 et 1 $g.L^{-1}$). En particulier, la caractérisation de la phase gazeuse est réalisée à l'aide de la méthode d'ombroscopie (shadowgraphy) qui permet d'obtenir la distribution de la taille, de la forme et de la vitesse des bulles. En effet, la distribution de la taille des bulles permettra de remonter à l'aire interfaciale utile pour caractériser ensuite le transfert de matière gaz-liquide. Le coefficient de transfert de masse volumétrique, k_La, est obtenu à partir de l'exploitation des courbes de désoxygénation-réoxygénation avec une approche basée sur le modèle de dispersion axiale dans la phase liquide. Le but est donc de comprendre les influences respectives du coefficient de transfert de masse « k_L » et de la surface spécifique d'échange « a » sur les valeurs de k_La obtenues, afin d'assurer un transfert de masse gaz-liquide suffisant pour éviter la limitation du carbone inorganique, mais aussi pour éviter l'inhibition causée par l'oxygène produit par photosynthèse.

Matériel et Méthodes

Cette étude, a été réalisée avec 4 phases liquides différentes : l'eau, utilisée comme fluide de référence avec un comportement newtonien à faible viscosité, les solutions aqueuses de glycérol (à 50% m/m) et de gomme xanthane GX (0,5 et 1 $g.L^{-1}$), respectivement utilisées comme liquides newtoniens et non newtoniens à haute viscosité Ces 3 dernières solutions ont été utilisées pour mimer le comportement rhéologique des cultures de *Chlorella vulgaris* à concentration élevée (30-40 $g.L^{-1}$). L'injection de gaz est effectuée avec 15 capillaires, de diamètre intérieur égal à 1,016 mm, uniformément répartis en bas

de la colonne. Les bulles sont confinées avec un rapport de confinement $d_b/e > 1$ quel que soit le fluide utilisé.

Tout d'abord, la taille et les vitesses des bulles sont déterminées par la méthode « Image Shadow Tracking » disponible sur le logiciel DANTEC DYNAMICS Studio©. Ces mesures sont effectuées en deux zones ayant la même dimension (80 x 113 mm) et situées à une distance de 560 mm (zone 1) et 196 mm (zone 2) du bas de la colonne. Pour chaque configuration (fluide, débit et zone), 500 images sont capturées et traitées, pour avoir le diamètre équivalent de bulle ($d_{éq}$) et les composantes de vitesses horizontale et verticale (respectivement u et v). Une analyse statistique est effectuée pour repérer les différentes classes de taille des bulles et ceci pour les 3 régimes d'écoulement. En parallèle, la surface spécifique d'échange a été calculé en faisant le rapport entre la somme des surfaces des bulles et le volume de la phase liquide : $a = \frac{\sum_i^n S_{bulle\,i}}{V_L}$.

Résultats

Les résultats montrent que, pour tous les fluides utilisés, la valeur de k_La augmente avec la vitesse superficielle de gaz U_{Gsup} (Figure 1a). Par ailleurs, l'augmentation de la viscosité pour les liquides newtoniens et non newtoniens a peu d'influence sur les valeurs de k_La surtout à faible U_{Gsup}. La surface spécifique d'échange augmente également avec U_{Gsup} (Figure 1b). Bien qu'elle soit plus faible dans l'eau par rapport aux fluides visqueux (Figure 1b), le k_La de l'eau reste légèrement supérieur en raison de la dynamique des bulles en ascension dans la colonne (les vitesses u et v sont plus importantes). Le coefficient k_L est donc plus important dans l'eau que dans les fluides visqueux, ceci pourrait être expliquer par le phénomène de turbulence dominant dans l'eau et absent dans les fluides visqueux. En plus, la surface spécifique d'échange « a » est moins importante en zone 1 pour tous les fluides sauf pour le glycérol 50% m/m (Figure 1b). Ceci est dû au fait que le phénomène de la coalescence est plus important dans la partie haute de la colonne pour l'eau et les deux solutions de GX. Ce phénomène n'est pas présent dans le cas de glycérol.

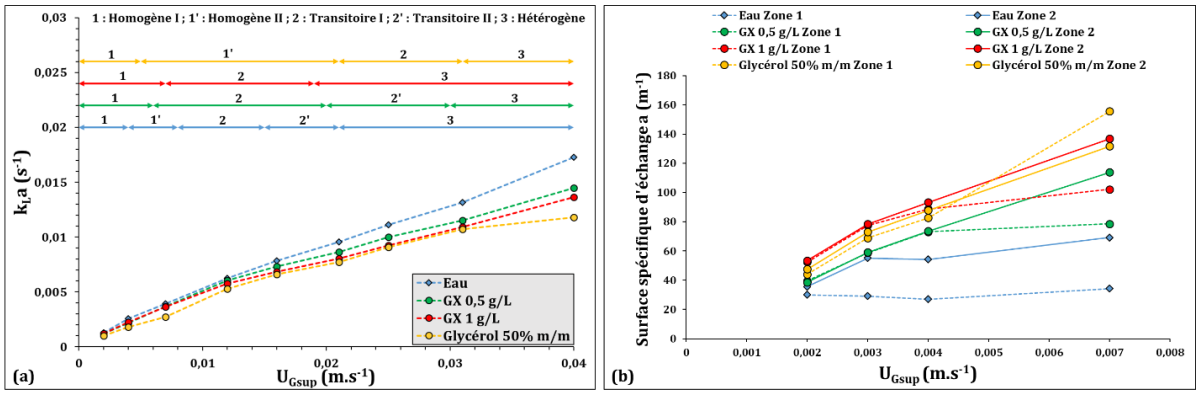

Figure 1 : a) Le coefficient de transfert de masse gaz-liquide k_La en fonction de U_{Gsup} ; b) La surface spécifique d'échange « a » en fonction de de U_{Gsup}.

Références bibliographiques

Almani, S.; Blel, W.; Gadoin, E.; Gentric, C.; Investigation of single bubbles rising in Newtonian and non-Newtonian fluids inside a thin-gap bubble column intended for microalgae cultivation. *Chem. Eng. Res. Des*. 167, 2021, 218–230.

Souliès, A.; Pruvost, J.; Legrand, J.; Castelain, C.; Burghelea, T.; Rheological properties of suspensions of the green microalga Chlorella vulgaris at various volume fractions. *Rheologica Acta 52*, no 6, 2013, 589-605.

Thobie, C.; Gadoin, E.; Blel, W.; Pruvost, J.; Gentric, C.; Global characterization of hydrodynamics and gas-liquid mass transfer in a thin-gap bubble column intended for microalgae cultivation. *Chem. Eng. Process. Process Intensif*. 122, 2017, 76–89.