Évaluation d'un capteur résistif multicanaux innovant pour caractériser l'écoulement de Taylor dans un réacteur monolithe

Murilo Ricardo DO NASCIMENTO ARRAIS[1], Hélène CHAUMAT[1], Hervé AYROLES[2], Audrey DEVATINE[1], Carine JULCOUR[1], Anne-Marie BILLET[1]

Affiliation 1 : Laboratoire de Génie Chimique, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse

Affiliation 2 : Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse

Introduction

Dans le domaine des réacteurs structurés appliqués aux réactions polyphasiques, la performance de l'appareil est fortement liée à la qualité de la distribution spatiale des fluides à l'entrée du réacteur, puisqu'aucune redistribution de l'écoulement n'est possible en aval. L'impact de la mal-distribution est étudié ici dans le cadre de l'application des réacteurs monolithes aux systèmes gaz-liquide. Ces réacteurs sont composés de canaux millimétriques, présentant une grande densité de canaux dans la section droite. L'écoulement de Taylor, constitué d'une succession de bulles de gaz et de bouchons liquides, est recherché dans les canaux car il offre un transfert de masse gaz-liquide efficace grâce aux films de lubrification entourant les bulles et aux recirculations au sein des bouchons liquides (Kreutzer et *al*., 2005). Cela peut induire une meilleure conversion et/ou sélectivité pour les réactions polyphasiques, telles que les hydrogénations et les oxydations (Roy et *al*., 2004).

L'injection uniforme de gaz et de liquide dans les canaux du monolithe est malaisée. Or la mal-distribution des fluides modifie le régime d'écoulement et le temps de séjour dans chaque canal, et induit une dispersion radiale à l'échelle du réacteur qui affecte sa performance (Schubert et *al*., 2016). Pour décrire à haute résolution temporelle les écoulements gaz-liquide dans tous les canaux simultanément, un capteur résistif sur circuits imprimés a été développé. L'objectif de ce travail est d'évaluer cette nouvelle technique en réacteur monolithe pour différents débits d'air et d'eau.

Méthodologie

Le réacteur monolithe utilisé dans ce travail offre 84 canaux parallèles de 2 mm de diamètre intérieur. Le capteur résistif est spécifiquement adapté à cette géométrie : il est constitué de deux circuits imprimés, chacun percés de 84 trous constituant 84 électrodes circulaires (2 mm de diamètre) recouvertes d'or ; ces deux circuits imprimés sont séparés entre eux par un disque en polychlorure de vinyle (PVC) de 2 mm d'épaisseur. Cet appareil, inséré entre le système de distribution et un monolithe, permet d'enregistrer l'évolution temporelle de la tension électrique aux bornes des électrodes de chaque canal, et ce pour tous les canaux simultanément, grâce à un système de multiplexage selon une fréquence d'acquisition allant jusqu'à 20 kHz.

Dans le cas de l'écoulement air-eau, un signal oscillant est observé pour chaque paire d'électrodes du capteur, où le niveau élevé de signal correspond au passage de bouchons d'eau, et la valeur minimale à une bulle traversant le volume entre les deux électrodes. Cependant, le signal enregistré (Figure 1) est loin d'une fonction échelon : un étalonnage est nécessaire pour exploiter les caractéristiques d'écoulement, et évaluer la fiabilité du capteur résistif et du traitement du signal.

Pour évaluer cette méthode en utilisant l'ombroscopie comme technique de référence (caméra Phantom Miro M320), un dispositif spécifique, limitant l'alimentation et l'observation à une rangée de 12 canaux transparents de monolithe, a été mis en place. Les 12 signaux du capteur et les images des 12 écoulements associés sont enregistrés simultanément sur une période de 15 secondes à 1 minute. Les signaux issus du capteur d'une part, et les images d'autre part, sont soumis à des traitements

mathématiques spécifiquement développés pour identifier les caractéristiques hydrodynamiques : régime d'écoulement, rétention gazeuse ε_G, fréquence de bulles f_B et vitesse des bulles U_B.

Résultats

Pour ces expériences, les vitesses superficielles d'air u_{air} et d'eau u_{eau} attendues dans les canaux (moyennes calculées sur la base des débits globaux d'alimentation) varient respectivement de 0,02-0,67 m.s^{-1} et de 0,16-0,37 m.s^{-1}, à température ambiante et pression amont d'air de 2 bar abs. Le régime d'écoulement est identifiable *via* la forme du signal résistif: il a été montré que l'amplitude du signal est atténuée lorsque la fréquence f_B et/ou la vitesse U_B des bulles augmentent, en raison de la dynamique du capteur. La Figure 1 montre deux écoulements différents et les signaux correspondants, révélant que la forme du signal est fortement liée aux conditions des vitesses. Dans le premier cas (Figure 1a), les bulles sont courtes, avec U_B de 0,15 m.s^{-1}, une rétention gazeuse ε_G de 47% et f_B de 18,4 Hz. Dans le deuxième cas (Figure 1b), les bulles sont longues, avec ε_G de 80%, avec une vitesse U_B et une fréquence f_B plus élevées (0,89 m.s^{-1} et 102,4 Hz, respectivement).

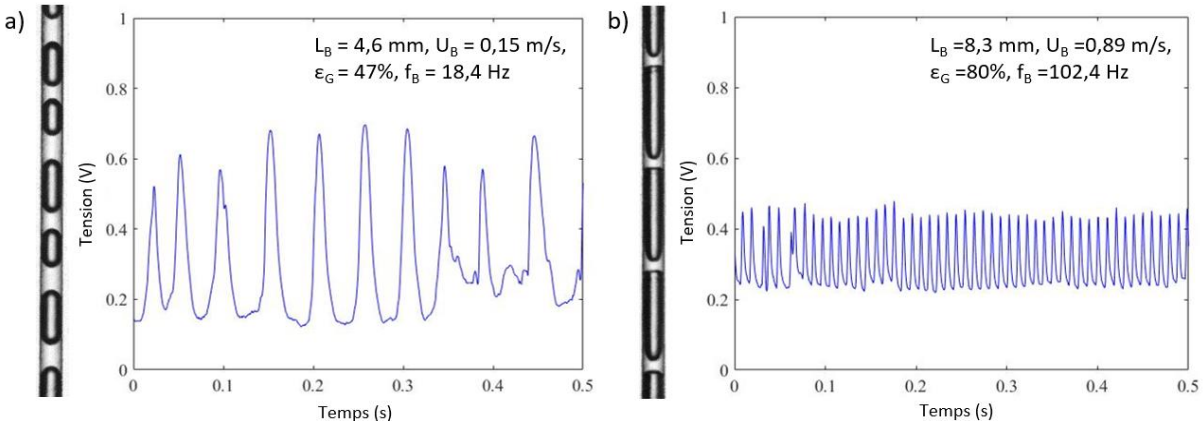

Figure 1. Ecoulements air-eau enregistrés par ombroscopie et capteur résistif : a) u_{air} = 0,09 m.s^{-1}, u_{eau} = 0,16 m.s^{-1} ; b) u_{air} = 0,59 m.s^{-1}, u_{eau} = 0,16 m.s^{-1}.

Le capteur résistif permet une évaluation satisfaisante des caractéristiques d'écoulement : pour les canaux comportant un écoulement de Taylor, les résultats présentent un écart maximum de 20%, pour la vitesse et la fréquence des bulles et la rétention gazeuse, par référence aux mesures issues du traitement d'images.

Conclusion et perspectives

Dans ce travail, un capteur résistif innovant est développé pour étudier des écoulements air-eau dans un ensemble de 12 canaux parallèles. Les caractéristiques hydrodynamiques, telles que la rétention gazeuse, la fréquence et la vitesse des bulles, sont aussi évaluées par ombroscopie. Les résultats issus des deux méthodes montrent un bon accord. Dans la suite, le traitement du signal sera affiné et appliqué au monolithe complet à 84 canaux.

Références bibliographiques

Kreutzer, M.T.; Kapteijna, F.; Moulijna, J.A.; Heiszwolfb, J.J., Multiphase monolith reactors: Chemical reaction engineering of segmented flowin microchannels, *Chemical Engineering Science*, 2005, 60(22), 5895–5916.

Roy, S.; Bauer, T.; Al-Dahhan, M.; Lehner, P.; Turek, T., Monoliths as Multiphase Reactors: A Review, *AIChE Journal*, 2004, 50(12), 2918-2938.

Schubert, M.; Kost, S.; Lange, R.; Salmi, T.; Haase, S.; Hampel, U., Maldistribution Susceptibility of Monolith Reactors: Case Study of Glucose Hydrogenation Performance, *AIChE Journal*, 2016, 62(12), 4346-4364.