Effet de la géométrie des internes hélicoïdaux sur le mélange dans les réacteurs oscillatoires continus

Beatrice KAWAS, David ROUZINEAU, Martine POUX, Joelle AUBIN

Laboratoire de Génie Chimique, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse, France

Introduction

Le réacteur oscillatoire continu (*Continuous Oscillatory Baffled Reactor* ou COBR) est un type particulier de réacteur tubulaire utilisé en génie des procédés pour des applications en réaction et/ou mélange. Dans ce réacteur, un mouvement oscillatoire est associé à l'écoulement principal afin de provoquer des recirculations dans le milieu réactionnel. L'interaction des pulsations avec les internes du tube induit une bonne qualité de mélange et des longs temps de séjour, puisque le mélange dans le COBR devient indépendant du débit net (Avila et al., 2021).

Dans le cadre de nos travaux, nous nous intéresserons plus particulièrement aux COBR équipés de rubans hélicoïdaux. Les rubans hélicoïdaux garantissent *(1)* un meilleur écoulement piston grâce aux interactions du mouvement oscillatoire avec la structure hélicoïdale, *(2)* la génération des tourbillons supplémentaires le long du tube, et *(3)* le mélange radial (Mazubert et al., 2016). Cependant il n'existe pas d'études portant sur l'influence de la géométrie de ces rubans sur l'efficacité de mélange. L'objectif principal de cette étude est la comparaison des performances de mélange de 12 différentes configurations de rubans hélicoïdaux.

Matériel et méthodes

Les 12 rubans hélicoïdaux ont été réalisés par fabrication additive utilisant le procédé de stéréolithographie (SLA). Les configurations sont créées en modifiant plusieurs paramètres géométriques comme le diamètre de l'interne, le pas et la largeur du ruban (Figure 1.a). Une étude préliminaire de caractérisation des performances est menée pour dégager des tendances et évaluer la qualité du mélange. Cette étude est basée sur 78 expériences effectuées avec les 12 structures complexes sous différentes conditions opératoires.

Afin de caractériser expérimentalement le mélange dans le réacteur COBR de diamètre interne 15 mm, une caméra rapide est utilisée pour obtenir des images (de 8 bits en niveau de gris) de l'écoulement dans le réacteur. Une solution de traceur (bleu de méthylène et eau/glycérol) est injectée de façon continue dans le courant du fluide (eau/glycérol) avec un flux oscillatoire imposé à l'entrée du tube. Un traitement numérique des images prises est ensuite effectué en adoptant une méthodologie spécifique d'analyse et d'interprétation d'images. Cette méthodologie est basée sur *(1)* la segmentation (Figure 1.b) pour transformer l'image réelle en une image ne contenant que trois valeurs de pixels (noir, gris, et blanc), *(2)* le comptage des pixels pour sélectionner les internes performants à travers un code créé sous Matlab, et *(3)* l'évaluation de la qualité du mélange sur les internes choisis pour dégager des tendances.

Résultats

Suite à la segmentation et au comptage des pixels sur chaque image, les géométries présentant une mauvaise qualité de mélange (sur-concentrée ou non-mélangée) tout au long du réacteur tubulaire ont été écartées tandis que les configurations avec des pourcentages de pixels gris supérieurs à 30%

(représentant des systèmes bien mélangés) ont été sélectionnées pour une étude préliminaire d'évaluation de mélange.

Les résultats ont montré que les rubans hélicoïdaux possédant une très petite largeur, un petit diamètre ou un petit pas ne sont pas performants dans la gamme des conditions opératoires testées tandis que le ruban hélicoïdal caractérisé par un diamètre de 14,5 mm, une largeur de 3,75 mm, et un pas de 26 mm (Figure 1.b) présente un pourcentage de mélange de 85% sous les différentes conditions opératoires.

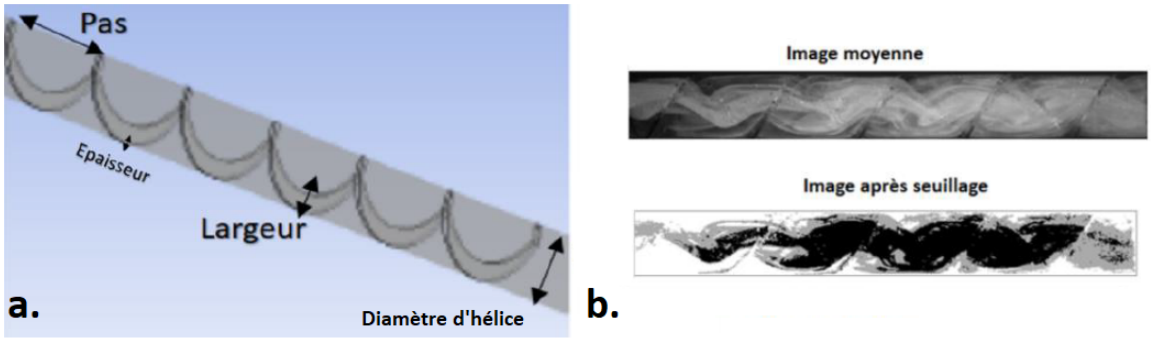

Figure 1 : a. Les caractéristiques géométriques d'un ruban hélicoïdal
b. L'image obtenue après seuillage pour un interne caractérisé par un diamètre de 14,5 mm, une largeur de 3,75 mm, et un pas de 26 mm sous les conditions opératoires suivantes : une amplitude de 5,5 mm, une fréquence de 1 Hz, et une fraction molaire de glycérol de 0,175.

Conclusion et perspectives

Dans ce travail, il a été mis en évidence l'importance des facteurs géométriques des rubans internes de COBR sur les performances de mélange via de nouvelles méthodologies d'analyse d'image et de caractérisation du mélange. Pour aller plus loin, des corrélations permettant de prédire les performances des internes hélicoïdaux peuvent être développées via l'analyse dimensionnelle. L'objectif final sera alors d'établir un lien entre les propriétés d'usage et les caractéristiques géométriques pour optimiser morphologiquement ces structures complexes.

Références bibliographiques

Avila, M., Kawas, B., Fletcher, D. F., Poux, M., Xuereb, C., & Aubin, J. (2021). Design, performance characterization and applications of continuous oscillatory baffled reactors. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 108718.

Mazubert, A., Fletcher, D. F., Poux, M., & Aubin, J. (2016). Hydrodynamics and mixing in continuous oscillatory flow reactors—Part I: Effect of baffle geometry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, *108*, 78-92.