

Intensification des phénomènes de transfert via l'utilisation d'ultrasons au sein d'un échangeur-réacteur continu

Mise en contexte de l'étude :

La très grande majorité des procédés de synthèse chimique utilisent des réacteurs de types discontinus (batch) agités mécaniquement. Il existe également des réacteurs semi-continus agités par ultrasons de taille intermédiaire (de quelques centilitres au litre) utilisé en Recherche et Développement pour la synthèse de molécules. Il existe un consensus scientifique sur l'influence bénéfique de la cavitation ultrasonore (20 kHz à 2 MHz) sur certains mécanismes réactionnels (oxydation, catalyse, synthèse etc...). Néanmoins, les phénomènes mis en jeu sont encore mal maîtrisés du point de vue théorique, phénoménologique et numérique. De plus, l'influence du courant acoustique apparaissant à haute fréquence (supérieures à 2 MHz) sur les mécanismes de synthèses n'a pas été étudié. Enfin, la maîtrise de la phase de scale-up de l'échelle du réacteur ultrasonore de laboratoire vers une taille industrielle est une opération très complexe. Il y a un manque de modèles permettant de réaliser cette opération de manière systématique.

Objectifs de l'étude :

Ce sujet de thèse présente deux axes de recherche complémentaires :
Le premier vise à apporter une compréhension fine des mécanismes mis en jeu dans les phénomènes de mélange, de transfert de matière et de chaleur et de pertes de charge induites au sein d'un écoulement soumis aux ultrasons. Les effets provoqués par l'usage d'ultrasons, cavitation acoustique pour les basses fréquences et courant acoustique pour les hautes fréquences, permettent de produire un mélange efficace au sein de l'écoulement ainsi qu'un meilleur transfert thermique dans le cas de réactions endo/exothermiques. C'est pourquoi le développement d'échangeur-réacteurs vibrants est une technologie d'avenir dans le domaine du génie des procédés. Ces connaissances indispensables au développement de futurs échangeur-réacteurs ultrasonores fonctionnant en continu est totalement absente de la littérature scientifique actuelle. Ainsi, le savoir-faire lié au dimensionnement de tels organes en est encore à ses débuts du fait du manque, notamment, d'études amont permettant de comprendre la phénoménologie à l'œuvre dans les écoulements soumis aux ultrasons.

Différents paramètres clés sont à étudiés :

- la Distribution des Temps de Séjour (DTS), donnée cruciale dans le domaine du Génie des Procédés
- les pertes de charge induites par des écoulements laminaires soumis aux ultrasons
- la turbulence et l'efficacité du mélange
- la puissance et la fréquence ultrasonore
- la cinétique de réaction chimique
- le bilan énergétique global
- les facteurs géométriques du système

La R & D en Génie des Procédés utilise de très faibles quantités de réactifs du fait de leurs coûts. Il est par conséquent indispensable de réaliser des essais préliminaires dans des réacteurs consommant un minimum de réactifs. Le second axe de recherche vise donc à développer un échangeur-réacteur ultrasonore continu de taille millimétrique au sein duquel sera réalisé des tests préliminaires de synthèse chimique. Le comportement hydrodynamique sera comparé à deux sections d'essais déjà existantes de taille centimétrique (diamètres de 2 cm et 20 cm) permettant d'étudier les effets d'échelle influençant les écoulements soumis aux ultrasons. L'objectif est donc de produire un échangeur-réacteur nécessitant très peu de réactif en phase R & D et de produire un modèle permettant de prédire le comportement hydrodynamique et chimique d'un réacteur de géométrie similaire mais de taille plus importante lors de la phase de scale-up.

État d'avancement du projet

Un travail de stage de 5 mois, actuellement en cours, a permis de débiter la conception et la mise en place du banc expérimental. Des essais de caractérisation sont actuellement en cours.

Un accord de recherche a également été conclu entre HEI-Yncréa, L'IMT Lille-Douai et l'entreprise Minkem, spécialiste de la R & D en synthèse de molécules pharmaceutiques. Une ingénieur recherche travaillant au sein de l'entreprise Minakem participera à l'équipe encadrante et apportera ses compétences sur les réacteurs chimiques continus.

Lieu de déroulement de la thèse

La thèse se déroulera au sein du pôle Procédés, Chimie Durable, Santé de l'école d'ingénieur HEI-Yncréa et de l'unité de recherche Efficacité Énergétique des Composants, Système, Procédés de l'Institut Mines Télécom Lille-Douai. Le banc expérimental est situé au sein de la plateforme acousto-fluidique de l'IMT Lille-Douai dirigée par Amir Bahrani.

Profil du candidat

Le candidat devra présenter des compétences en mécanique des fluides et en génie des procédés et avoir le goût du travail expérimental de recherche en laboratoire et du travail en équipe. La bonne maîtrise de l'anglais écrit est un pré-requis indispensable afin d'être en mesure de comprendre les articles scientifiques, d'en rédiger et de participer à des conférences internationales. La maîtrise de Matlab, d'un logiciel de CFD (Fluent, Comsol, Star CCM+...) et d'OpenFoam seront des qualités appréciées.

Contact encadrants

- S. Amir BAHRANI, Enseignant-Chercheur, IMT Lille-Douai : amir.bahrani@imt-lille-douai.fr
- Odin BULLIARD-SAURET, Enseignant-Chercheur, HEI-Yncréa : odin.bulliard-sauret@yncrea.fr

Financement prévu : Contrat doctoral Yncréa - Région-FEDER de 3 ans (à partir de septembre 2019)

Salaire brut : 1920 euros / mois

Université d'inscription : Université de Lille, École Doctorale SMRE (N° 104)

Employeur : Yncréa Haut-de-France

Laboratoire d'accueil : UR Efficacité Énergétique des Composants, Systèmes et Procédés, IMT Lille-Douai & Pôle Procédé Chimie Durable et Santé HEI-Yncréa