

DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **03 novembre 2025**

Nom de famille et prénom de l'auteur. e : **Madame Kristy TOUMA**

Titre de la thèse : Modélisation des procédés d'émulsification par bilan de population : Identification paramétrique et Analyse d'incertitude

Résumé



Les émulsions sont des systèmes multiphasiques liquide-liquide largement utilisés dans les industries chimiques, pharmaceutique et agroalimentaire. L'une des contributions majeures de ce travail réside dans l'utilisation de mousses métalliques à cellules ouvertes en tant que structures poreuses intégrées à un procédé continu de préparation d'émulsions huile-dans-eau. Cette configuration permet une dissipation d'énergie plus homogène au sein des mousses, comparée aux réacteurs agités. De plus, ces mousses présentent des pertes de charge plus faibles pour une efficacité d'émulsification équivalente, comparativement à certains mélangeurs statiques structurés, généralement plus coûteux. Une base de données expérimentale étendue a été constituée, couvrant un large éventail de conditions opératoires (taille de pores des mousses, débit, viscosité, tension interfaciale), ce qui a permis d'explorer une large gamme de nombres de Weber ($We = 0.36 - 12$) et de nombres de Reynolds pour la phase dispersée ($Re_d = 0.06 - 4$). La seconde contribution majeure de cette étude concerne le développement d'une méthodologie systématique d'identification des paramètres dans le cadre du modèle de bilan de population (PBM) utilisé pour décrire le processus d'émulsification. Alors que les corrélations empiriques permettent d'estimer les tailles moyennes de gouttes à l'équilibre, le PBM constitue un cadre dynamique capable de prédire l'évolution de la distribution complète des tailles de gouttes (DSD). Ce modèle repose sur des noyaux décrivant la rupture, la coalescence ou encore la maturation des gouttes. Cette étude se concentre spécifiquement sur la rupture des gouttes, en travaillant à de faibles fractions volumiques de phase dispersée et en présence de tensioactifs pour éliminer la coalescence. Toutefois, la littérature propose une grande variété de noyaux semi-empiriques, et même pour un même noyau, des valeurs de paramètres divergentes sont souvent rapportées, en raison de la limitation des données expérimentales et des difficultés d'optimisation propres au PBM. Ce travail répond à ces enjeux en : i) réalisant une analyse de sensibilité et

d'identifiabilité des paramètres du noyau de rupture ; ii) orientant le choix des modèles de rupture et de distribution des tailles des gouttes filles selon la plage de conditions opératoires ; iii) fournissant des recommandations pour la conception des jeux de données expérimentaux, afin d'améliorer la sélection des modèles et l'estimation des paramètres. Enfin, l'étude s'intéresse au phénomène de crémage des émulsions relativement concentrées, en utilisant la centrifugation pour accélérer le crémage, couplée à un suivi in situ par transmission de lumière. Un modèle prédictif basé sur l'équation de convection-diffusion est proposé pour décrire la stabilité à long terme de ces émulsions concentrées.

Mots-clés :

Génie des procédés, Modélisation, Analyse d'incertitude et de sensibilité paramétrique, Emulsions, Procédés continus intensifiés