

# Avis de Soutenance

Monsieur Grégory BANA

Chimie

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

*Une nouvelle approche couplant l'imagerie et les méthodes de machine Learning pour résoudre les équations de bilan de population (PBE)*

dirigés par Madame Nida SHEIBAT-OTHMAN et Monsieur Fabrice LAMADIE

Soutenance prévue le **vendredi 30 janvier 2026** à 9h00

Lieu : CEA, ICSM - bâtiment 426 - amphithéâtre, site de Marcoule à Bagnols-sur-Cèze

## Composition du jury proposé

Mme Nida SHEIBAT-OTHMAN	CNRS Lyon	Directrice de thèse
M. Fabrice LAMADIE	CEA Marcoule	Co-directeur de thèse
M. Jérôme MORCHAIN	INSA Toulouse	Rapporteur
Mme Christine FRANCES	CNRS Toulouse	Rapporteure
Mme Mathilde MOUGEOT	ENS Paris Saclay	Examinatrice
M. Jean-Sébastien KROLL-RABOTIN	Ecole des Mines Nancy	Examineur
M. Nouredine LEBAZ	Université Lyon 1	Examineur
M. Ludovic MONTASTRUC	INP ENSIACET Toulouse	Examineur
Mme Sophie CHARTON	CEA Marcoule	Invitée
M. Didier LUCOR	CNRS Orsay	Invité

**Mots-clés :** Émulsions liquide-liquide, Équation de bilan de population, Apprentissage automatique, Réseaux de neurones informés par la physique, Traitement d'images pour la détection de gouttes, Distribution de taille de gouttes

## Résumé :

Ce projet de thèse s'inscrit dans le développement des procédés de recyclage hydrométallurgiques pour les technologies bas-carbone, pour lesquels l'extraction liquide-liquide en mélangeurs-décanteurs constitue une étape clé. Plus précisément, il s'intéresse à la formation des émulsions en cuve agitée et s'attaque à deux verrous persistants : (i) obtenir des distributions de tailles de gouttes (DTG) fiables par traitement d'images d'émulsions complexes, et (ii) identifier des noyaux de rupture capables de reproduire les dynamiques de brisure des DTG observées de façon généralisable. Dans un premier temps, un nouvel algorithme de traitement d'image, BYG-Drop, a été introduit. Il combine le logiciel Blender pour la création d'images synthétiques d'émulsion annotées, un réseau CycleGAN pour transférer de façon réaliste les textures entre images expérimentales et images numériques, et le détecteur d'objets YOLOv5 pour la détection rapide des gouttes dans les images. Cette stratégie permet de construire un jeu d'apprentissage étiqueté de qualité, adapté à l'entraînement d'un réseau de la famille YOLO, assurant une détection robuste et

flexible des gouttes pour différents contrastes d'images. Évalué sur un jeu de 1000 images synthétiques, l'algorithme surpasse les méthodes classiques de traitement d'images (transformée de Hough, pattern matching, ...) en termes de détection et de temps de calcul. Une comparaison avec des mesures par granulométrie laser, réalisée dans le cadre d'une campagne expérimentale sur des émulsions d'huile dans l'eau, confirme la qualité des résultats. Dans un second temps, une nouvelle approche pour la résolution des équations de bilan de population (PBE) discrétisées a été proposée dans le cadre d'un problème de rupture seule. Elle s'appuie sur la méthode du pivot fixe, associée à une loi logit-normale pour décrire la distribution des gouttes filles (DDF). Cette loi paramétrique flexible permet de reproduire une large gamme de lois de distribution. La discrétisation préserve les moments clés et reformule la PBE en un système linéaire d'équations différentielles ordinaires adapté à un traitement numérique par descente de gradient. Grâce à l'auto-différentiation automatique des bibliothèques de machine learning, l'approche permet de reconstruire le vecteur de brisure  $\Gamma(d)$  en partant seulement d'une évolution des DTG au cours du temps, tout en identifiant le paramètre de forme de la DDF, et ce aussi bien sur des données synthétiques que sur des données expérimentales. Pour aller plus loin, une famille de réseaux de neurones informés par la physique a été mise en place. Toujours dans le cadre d'un problème de rupture seule, ces réseaux ont permis de retrouver non seulement les vecteurs de brisure pour un grand nombre de noyaux issus de la littérature, mais ont aussi été capables d'identifier les paramètres empiriques se trouvant au cœur de ces derniers, pour différents modèles adaptés aux écoulements liquide-liquide. Cette capacité à retrouver les vecteurs de brisure a été validée par plusieurs campagnes expérimentales sur des systèmes eau/huile de silicone, additionnée d'un tensioactif pour supprimer la coalescence, en faisant varier la viscosité, la tension interfaciale, le hold-up de la phase dispersée et la vitesse d'agitation. Dans tous les cas, les résultats renvoyés par le réseau sont cohérents avec la physique : une réduction de la fréquence de rupture quand la viscosité de la phase dispersée augmente, ou au contraire une augmentation lorsque l'agitation dans la chambre de mélange devient plus forte.