



Proposition de thèse

Encadrants : Arnaud Poulesquen (CEA) & Sébastien Manneville (ENS de Lyon)

Lieu : Laboratoire de Formulation et Caractérisation des Matériaux minéraux, CEA Marcoule

Impact des ultrasons de puissance sur les propriétés d'écoulement de suspensions complexes

L'industrie nucléaire produit des déchets de diverses natures telles que des solides, des liquides mais aussi des « boues ». La terminologie « boues » recouvre toute une typologie allant des déchets aqueux issus des procédés de traitement des effluents aux résidus de fond de cuve ou de fond de piscine d'entreposage mais aussi à des résidus organiques. Quelle que soit leur provenance, ces boues doivent être reprises par pompage, manipulées et convoyées, en amont de leur immobilisation en matrice de conditionnement.

Ces opérations de manipulation et de convoyage nécessitent des technologies adaptées et dimensionnées par la consistance et le seuil d'écoulement des boues. Or, il est particulièrement délicat d'évaluer *a priori* ces caractéristiques rhéologiques. En effet, ces boues sont considérées comme des **suspensions complexes** à cause de la grande diversité des espèces qui les composent, de leur hétérogénéité et de leur état de floculation ou encore de sédimentation (qui conduit à la formation de strates au cours du temps). Dans la plupart des cas, un ajustement de leur teneur en eau est nécessaire pour fluidifier les boues et les rendre pompables. Au-delà de la complexité de cette étape de redispersion des boues dans un solvant, l'ajustement de la teneur en eau peut conduire à un effet de gonflement et donc à une augmentation du volume de déchet à conditionner qu'il convient de maîtriser.

Un autre moyen de fluidifier ces suspensions de compositions variées consiste à utiliser l'**action mécanique des ultrasons de puissance**. Dans le cadre de la thèse de Sébastien Castel, un montage basé sur des travaux antérieurs récents [1] et couplant les ultrasons de puissance et la rhéologie a été implémenté sur le site du CEA de Marcoule et calibré sur des matériaux modèles. Il a ainsi été montré que le seuil d'écoulement et la consistance du matériau diminuent d'autant plus fortement que la puissance acoustique est élevée. Ce phénomène de fluidification a été observé que ce soit sur des boues reconstituées ou sur des suspensions modèles. Toutefois, des questions subsistent quant à **la physique mise en jeu** sous ultrasons de puissance. En particulier, pour les applications, il est crucial de déterminer si les effets observés résultent de phénomènes localisés à l'interface entre outil de mesure et le matériau, ou s'il s'agit d'effets de volume liés à une modification globale de la microstructure de la suspension par les ultrasons de puissance.

Dans ce sujet de thèse, nous proposons de poursuivre le travail entrepris depuis trois ans en travaillant sur des boues reconstituées, de composition proche de celles que l'on peut retrouver industriellement ou sur des suspensions modèles simplifiées. Dans un premier temps, la physico-chimie de ces suspensions devra être maîtrisée et l'influence de leur microstructure sera corrélée à leur comportement sous écoulement dans diverses conditions de sollicitation (essais en cisaillement ou en compression). Dans des cas spécifiques, nous compléterons les mesures mécaniques globales par une visualisation des écoulements en



vélocimétrie ultrasonore couplée à un cisaillement simple en cellule de Couette (dispositif disponible à l'ENS de Lyon) [2].

Une fois les caractérisations physico-chimique, structurale et rhéologique effectuées, le sujet proposé comportera ensuite deux volets :

1. Un **volet fondamental** visant à une meilleure compréhension de l'interaction entre les ultrasons de puissance et la matière avec une attention particulière portée sur l'origine des effets observés (interfaces vs volume). Nous utiliserons ici majoritairement des suspensions modèles. Nous envisageons également de développer des dispositifs optiques spécifiques pour visualiser la dynamique des particules sous ultrasons de puissance.
2. Un **volet plus appliqué** avec le développement de dispositifs expérimentaux originaux à plus grande échelle où la gravité peut jouer un rôle important. Nous mettrons notamment en place des expériences instrumentées sur plan incliné ou en conduite transparente qui permettront de coupler les ultrasons de puissance à des écoulements de Poiseuille plan et cylindrique, plus proches de situations industrielles que les écoulements de cisaillement simple utilisés en rhéologie.

Références bibliographiques

[1] Gibaud *et al.*, « Rheoacoustic Gels: Tuning Mechanical and Flow Properties of Colloidal Gels with Ultrasonic Vibrations », *Physical Review X*, 10, 011028 (2020)

[2] Castel *et al.*, « Imagerie ultrasonore de l'écoulement d'une boue modèle au voisinage de la contrainte seuil », revue *Rhéologie* du Groupe Français de Rhéologie, volume 39 (2023)

Localisation principale de la thèse : CEA Marcoule, Bagnols-sur-Cèze

Compétences : Nous recherchons un.e candidat.e formé.e en physique, chimie ou physico-chimie de la matière ou en science des matériaux. Une connaissance préalable de la rhéologie et/ou une expérience en formulation seront appréciées.

Dates : Thèse : 3 ans démarrant entre septembre et octobre 2024

Contacts : Merci d'envoyer CV, lettre de motivation et lettres de recommandation à :
Arnaud Poulesquen, CEA Marcoule, arnaud.poulesquen@cea.fr
Sébastien Manneville, ENS de Lyon, sebastien.manneville@ens-lyon.fr