

Sujet de Thèse à l'IMFT

Effets des forces de cohésion sur la rhéologie des écoulements de suspension de particules
(expérimentations, analyse physique et modélisation)

Direction de la Thèse : Eric Climent (IMFT), Laurent Lacaze (IMFT)

Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (UMR5502 CNRS, Toulouse INP, Univ. UT3)

Projet : CoolHyd - Vers une technique de refroidissement à base de coulis d'hydrate de CO₂

Cette Thèse est assurée d'un financement de Thèse sur projet de l'Agence Nationale de la Recherche

Candidature [CV, lettre de motivation, références] à envoyer à : laurent.lacaze@imft.fr , eric.clement@imf.fr

Contexte : Avec près de 20 % de l'électricité consommée dans le monde, et des réglementations de plus en plus restrictives sur les fluides frigorigènes à effet de serre, la production de froid représente aujourd'hui un enjeu environnemental majeur, mais aussi un besoin fondamental pour de nombreux secteurs (agroalimentaire, climatisation, électronique). Parmi les solutions pour réduire l'empreinte carbone de la réfrigération, il est possible de limiter l'utilisation des réfrigérants nocifs en utilisant des fluides respectueux de l'environnement pour le circuit de réfrigération secondaire.



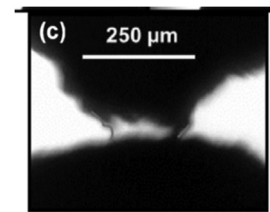
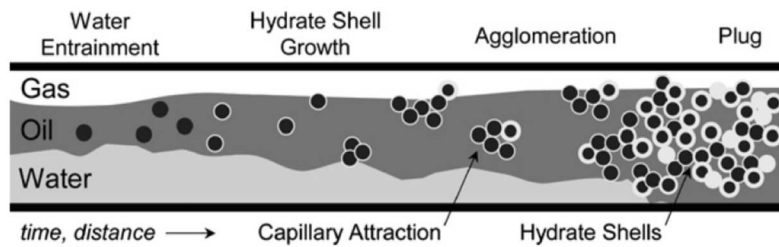
Exemple d'une suspension d'hydrates

Objectif général du projet : Dans ce projet, nous nous intéressons aux suspensions d'hydrates de CO₂ (voir photo ci-dessus) pour leurs propriétés bénéfiques. Les hydrates sont des cristaux composés de molécules d'eau formant des cages autour de molécules stabilisantes (ici le CO₂). Les hydrates de CO₂ peuvent être considérés comme un matériau "vert", puisqu'ils ne sont composés que d'eau et de CO₂ (potentiel de réchauffement planétaire = 1) et sont en fin de compte des puits de CO₂. Un enjeu majeur pour diverses applications comme le refroidissement à base de suspension à changement de phase, est la prédiction des propriétés de transport car celles-ci dépendent des conditions d'écoulement, qui peuvent modifier les propriétés rhéologiques non-Newtoniennes en raison de la nature cohésive des particules. Notre objectif est d'étudier des suspensions cohésives modèles, aux propriétés représentatives des hydrates de CO₂, en écoulement dans une conduite en charge, par une approche expérimentale de laboratoire. Ces résultats seront comparés aux données obtenues par un partenaire du projet travaillant sur les suspensions d'hydrates réelles.

Objectif de la thèse : Le point de départ de cette étude concerne la modélisation des écoulements chargés en particules, ici dans une conduite en charge. La présence de particules dans un liquide favorise la dissipation d'énergie par interactions entre le fluide et les particules. Une approche classique pour modéliser ces systèmes est d'étendre la viscosité du liquide porteur à une viscosité équivalente pour la suspension diphasique. Pour une suspension non-cohésive, cette viscosité effective croît avec la fraction volumique en particules, et reste indépendante du taux de cisaillement. On parle alors de fluide Newtonien généralisé pour le mélange fluide plus particules. Au-dessus d'une certaine limite en concentration, les contacts solides entre particules ne

peuvent plus être négligés, et la suspension dense montre des comportements plus complexes, comme la rhéofluidification, le rhéoépaississement ou encore l'apparition d'une contrainte seuil. Si les interactions inter-particules deviennent plus complexes qu'un contact solide avec friction, des effets inattendus sont alors observés quelle que soit la fraction volumique.

L'originalité du projet de Thèse est d'étudier l'écoulement de ces suspensions solide-liquide dans le cas de particules cohésives par une approche expérimentale. L'ajout de cohésion entre particules favorise la formation d'agrégats (voir figures ci-dessous) qui entraîne une évolution temporelle de la microstructure de la suspension et donc des propriétés du milieu même à fraction volumique relativement faible. Cet effet peut être opposé lors de la déstructuration de ces agglomérats en augmentant le cisaillement. Il en résulte une dépendance au cisaillement de la viscosité effective d'un milieu cohésif lorsque la concentration varie. Les mécanismes et les propriétés physiques qui permettent de caractériser ces dépendances sont encore mal connus dans la littérature.



Vue d'un pont liquide entre deux particules d'hydrate

Fig. 1. Conceptual mechanism for hydrate plug formation in oil-dominated flowlines, from Turner [2] (in collaboration with J. Abrahamson).

L'objectif de la Thèse est alors d'avancer sur la description de ces mécanismes à l'échelle d'un nombre réduit de particules puis d'une suspension dans un écoulement en tube, i.e en charge. Pour cela, différentes méthodes seront testées pour contrôler la cohésion entre particules solides en laboratoire (ponts capillaires ou adhésion physico-chimique par enrobage de sphères solides, par exemple). Les caractéristiques de force de cohésion dépendent de la vitesse d'approche des objets et donc du temps caractéristique de contact. Il est alors nécessaire de comprendre et de détailler ces mécanismes à l'échelle de chaque contact pour évaluer leur influence sur le comportement collectif d'une suspension. Dans un second temps, une boucle diphasique permettant la mise en place d'un écoulement en tube d'une suspension de concentration variable sera utilisée de manière à reproduire les conditions opératoires du procédé utilisant les hydrates de CO₂.

Inscription à l'Ecole Doctorale MEGEP – Ecole des Docteurs de l'Université de Toulouse.

Salaire financé pour 36 mois sur budget ANR au montant du contrat doctoral établissement.

PhD Thesis at IMFT

Effets des forces de cohésion sur la rhéologie des écoulements de suspension de particules
(expérimentations, analyse physique et modélisation)

PhD advisors: Eric Climent (IMFT), Laurent Lacaze (IMFT)

Laboratory : Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (UMR5502 CNRS, Toulouse INP, Univ. UT3)

Project: CoolHyd – Towards cooling process based on suspension of CO₂ hydrates

This PhD will be funded by ANR – Agence Nationale de la Recherche

For application, send CV and references to : laurent.lacaze@imft.fr , eric.climent@imf.fr

Context: With nearly 20 % of electricity consumed worldwide, and increasingly restrictive regulations on greenhouse-effect refrigerants, cold production currently represents a major environmental issue, but also a basic need for many sectors (food, air conditioning, electronics). Among the solutions to reduce refrigeration carbon footprint, it is possible to limit primary harmful refrigerants by using environment-friendly fluids in secondary refrigeration. In this project, we are interested in CO₂ hydrate slurries for their beneficial properties.

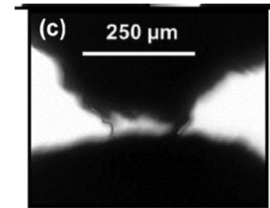
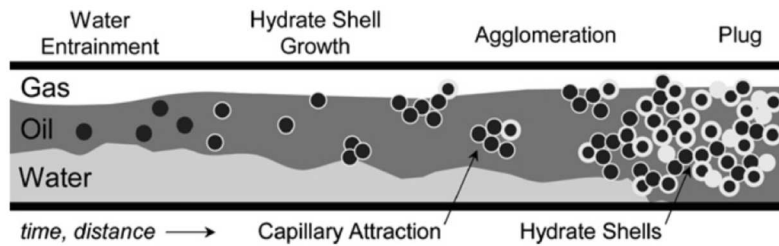


Formation of hydrate crystals

Overall objective of the project: Hydrates are crystals composed of hydrogen-bonded water molecules (see picture above) forming cages around stabilizing guest molecules (here CO₂). CO₂ hydrates can be considered as a “green” material, since it is composed of only water and CO₂ (Global Warming Potential = 1) and are ultimately CO₂ sinks. A major stake for various applications as slurry-based cooling, is the prediction of the transport properties of hydrate slurry because it is depending on the shear conditions, which can modify the rheological non-Newtonian properties of slurries due to its cohesive nature. We aim at investigating a model of cohesive suspensions, which mimic CO₂ hydrates, under pipe flow configuration, using a laboratory experimental approach. These results will be compared to data obtained from a partner of the project working on real hydrate slurries.

Objective of the thesis: The starting point of this work is the modelling of the dynamics of fluid-particles flows, here a pipe flow configuration. The presence of particles in a liquid favors energy dissipation by interactions between the fluid and the particles. A classical approach to model these systems is to extend the viscosity of the carrier liquid to an equivalent viscosity for the two-phase suspension. For a non-cohesive suspension, this effective viscosity increases with the volume fraction of particles, and remains independent of the shear rate. The mixture of fluid and particles is then called a generalized Newtonian fluid. Above a certain concentration limit, the solid contacts between particles can no longer be neglected, and the dense suspension shows more complex behaviors, such as shear-fluidification, shear-thickening or the appearance of a yield stress. If the inter-particle interactions become more complex than a solid contact with friction, unexpected effects are then observed whatever the volume fraction.

The main originality of this study is to consider the flow of these solid-liquid suspensions in the case of cohesive particles using an experimental method. The addition of cohesion between particles favors the formation of aggregates (see figures below) which leads to a temporal evolution of the microstructure of the suspension and thus of the properties of the mixture even at relatively low volume fraction. This effect can be counteracted during the break-up of these agglomerates by increasing the shear. This results in a shear dependence of the effective viscosity of a cohesive suspension as the concentration varies. The mechanisms and physical properties that characterize these dependencies are still poorly understood in the literature.



Liquid bridge between two hydrate particles

Fig. 1. Conceptual mechanism for hydrate plug formation in oil-dominated flowlines, from Turner [2] (in collaboration with J. Abrahamson).

The main objective of the PhD Thesis is then to advance on the description of these mechanisms at the scale of a reduced number of particles and then of a suspension in a pipe flow. For this purpose, different methods will be tested to control the cohesion between solid particles in the laboratory (capillary bridges or physical-chemical adhesion by coating of solid spheres will be the preferred methods). The cohesive force characteristics depend on the approach speed of the objects and thus on the characteristic contact time. It is then necessary to understand and to detail these mechanisms at the scale of each individual contact to evaluate their influence on the collective behavior of a suspension. Then a two-phase flow loop for the generation of a pipe flow of a suspension of variable volume concentration of particles will be used in order to reproduce the operating conditions of the process using CO₂ hydrates.

Registration at Ecole Doctorale MEGEP – Doctoral school of the Université de Toulouse.

Salary for 36 months funded by ANR project.