

**Caractérisation et modélisation des propriétés physico-chimiques et enthalpiques lors de la formation des hydrates de gaz et des semi-clathrates d'hydrates**

Durée du stage : 3 mois

Gratification : environ 400 €

Encadrement : Anthony Delahaye, Ziad Youssef (Enerfri-GPAN-Cemagref)

Contact : anthony.delahaye@cemagref.fr, 01 40 96 60 21

[ziad.youssef@cemagref.fr](mailto:ziad.youssef@cemagref.fr), 01 40 96 65 94

## **I. Contexte**

Les hydrates de gaz sont des molécules solides semblables à la glace constituées de molécules d'eau et de molécules de gaz. Ils possèdent des propriétés physico-chimiques favorables pour des applications de réfrigération et de climatisation. En effet, ils présentent une chaleur latente de fusion élevée (500 kJ/kg<sub>eau</sub> dans le cas des hydrates de CO<sub>2</sub>) ce qui leur permet de stocker de grandes quantités de froid. De plus, ils peuvent être stables à températures positives, ce qui représente un intérêt en termes de gain énergétique pour des applications de climatisation. Enfin, lorsqu'ils sont produits sous forme de coulis, ils peuvent être pompés et s'écouler à des débits suffisants pour le transport de froid. De ce fait, les coulis d'hydrates permettent d'augmenter l'efficacité énergétique des installations frigorifiques et de réduire les impacts environnemental. L'ajout de promoteurs d'hydrates, tel que le tetra-*n*-butylammonium bromide, permet même de former des semi-clathrates à des faibles pressions.

## **II. Sujet de stage proposé et méthodologie**

Le principal inconvénient lié à l'utilisation des hydrates de CO<sub>2</sub> pour des applications industrielles de réfrigération concerne leurs niveaux de pression de formation élevés. L'ajout de promoteurs d'hydrates permet de diminuer la pression de formation des hydrates tout en maintenant une enthalpie de changement de phase élevée.

Après une première étude bibliographique sur les hydrates de CO<sub>2</sub> et les semi-clathrates, le stagiaire aura comme responsabilité de caractériser et modéliser des propriétés physico-chimiques (solubilité, capacité spécifique, facteur de compressibilité) et enthalpiques (enthalpie de dissociation et enthalpie total) lors de la formation/dissociation des hydrates de gaz et des semi-clathrates d'hydrates.

## **III. Profil souhaité**

- Etudiant en Master 1 en physico-chimie, énergétique, génie chimique, génie des procédés ou mécanique des fluides.
- Avoir des connaissances en thermodynamique
- Bonnes connaissances en excel et en programmation (langage VBA)
- Bon niveau d'anglais