

## Descriptif du Sujet de Thèse 2017

### **Etude cinétique et thermodynamique des hydrates de gaz en milieux poreux : application aux hydrates sédimentaires et aux procédés de stockage d'énergie**

#### *Encadrement/Direction:*

Pascal Clain (ESILV/Irstea) / Anthony Delahaye  
Livio Ruffine (Ifremer)

#### *Comité:*

Laurence Fournaison  
S. Garziglia (Ifremer)

## **I. Résumé**

Les hydrates de gaz sont étudiés depuis de nombreuses années dans différents domaines. Tout d'abord considérés comme un problème par l'industrie pétrolière en raison de leur aptitude à former des bouchons dans les pipelines, les hydrates de gaz sont aujourd'hui envisagés de manière favorable. En particulier, les hydrates sédimentaires sont considérés comme un important réservoir de méthane, et donc une source potentielle d'énergie fossile, qui joue un rôle fondamental dans le cycle du carbone des océans, la stabilité des fonds marins et le développement de certains écosystèmes chimio-synthétiques. Les hydrates de gaz sont également étudiés dans le domaine des procédés, pour des applications de traitements ou de captage d'effluents gazeux ou liquides, mais aussi dans le domaine frigorifique.

Parmi ces travaux, la littérature est abondante sur les hydrates de gaz en milieux poreux, avec comme application la compréhension des hydrates sédimentaires. Certaines études portent également sur les procédés de séparation de gaz, mais aucune ne concerne le stockage de froid. Par ailleurs, l'étude de la cinétique de formation des hydrates en milieu poreux a très peu été abordée dans la littérature pour les hydrates sédimentaires, et quasiment pas pour les procédés.

Le sujet de thèse proposé vise à étudier de manière approfondie les processus liés à la formation des hydrates de gaz en milieux poreux, en croisant les connaissances développées dans le domaine des géosciences à l'Ifremer et du génie des procédés à Irstea afin de bénéficier de leurs apports spécifiques. L'Ifremer s'intéresse en effet aux hydrates dans les milieux poreux afin de mieux appréhender leur distribution dans les sédiments et leur influence sur la stabilité des fonds océaniques. Irstea s'intéresse à l'étude des hydrates et des milieux poreux pour le stockage de froid. En fonction des conditions rencontrées dans les sédiments (géosciences) ou dans les réacteurs (génie des procédés), ces travaux permettront d'évaluer pour chaque objectif l'impact de la composition du milieu réactionnel et de la nature du milieu poreux sur les processus de formation et déstabilisation des hydrates. Ce travail de thèse s'appuiera sur un ensemble de dispositifs expérimentaux sous pression présents à Irstea et à l'Ifremer ; et l'ensemble des données résultantes seront utilisées pour développer un modèle qui décrira le comportement d'hydrates pendant les phases de nucléation et de croissance en milieux poreux.

## **II. Environnement académique et financier**

Cette thèse sera co-encadrée/dirigée par Pascal Clain (Enseignant chercheur à l'ESILV, accueil recherche à Irstea), Anthony Delahaye (HDR, Irstea, Génie des Procédés) et Livio Ruffine (Ifremer, Hydrates sédimentaires), en collaboration avec le comité de suivi constitué de Laurence Fournaison (HDR, Irstea) et Sébastien Garziglia (Ifremer, hydrates sédimentaires). Deux membres de l'équipe Enerfri-GPAN collaborant sur les hydrates, Minh Hoang (modélisation systèmes) et Véronique Osswald (cristallisation, cinétique, étude en réacteur), seront également impliqués dans le suivi de la thèse.

Les moyens expérimentaux existants à Irstea (réacteur sous pression, calorimètre par analyse thermique différentielle avec visualisation) et à l'Ifremer (cellules haute pression pour la formation des hydrates et la visualisation de la morphologie après dépressurisation et récupération de la carotte, appareillage équipé de capteurs acoustiques est en cours de finalisation), ainsi que les modèles semi-empiriques et prédictifs associés aux approches expérimentales seront mis à disposition du doctorant.

## **III. Profil du candidat souhaité**

Formation en génie des procédés, génie chimique.

Compétences souhaitées en géosciences, physico-chimie, thermodynamique, énergétique et transferts thermiques.

Compétences requises en caractérisations expérimentales.

De bonnes connaissances en modélisation et programmation serait un plus.

Bon niveau d'anglais, qualités rédactionnelles.

Autres qualités : autonomie, rigueur, capacité d'analyse, créativité, esprit d'équipe.