

Offre de Thèse / octobre 2025

Nouveaux composites Zeolites – Hydrates de gaz pour le stockage solide de gaz

CONTEXT :

Dans le cadre du projet CaeSAR coordonné par l'Université de Caen Normandie, nous recrutons un doctorant pour travailler sur de nouveaux composites zéolithes - hydrates de gaz destiné au stockage de gaz.

Les clathrates, ou hydrates de gaz (Figure 1), sont des composés cristallins dans lesquels des molécules de gaz, généralement du méthane, de l'azote ou du dioxyde de carbone, sont piégées à l'intérieur d'une structure formée exclusivement de molécules d'eau. Ces architectures particulières, organisées en cages polyédriques, se stabilisent dans des conditions spécifiques de basse température et de haute pression, typiquement rencontrées dans les sédiments marins profonds ou les zones de pergélisol.

Les hydrates de gaz suscitent un intérêt croissant en raison de leur rôle potentiel dans le cycle global du carbone, mais aussi en tant que réservoirs énergétiques prometteurs, puisqu'ils peuvent stocker d'importantes quantités de gaz à l'état solide. L'étude des mécanismes de formation et de stabilité de ces structures cristallines est donc essentielle pour explorer de nouvelles voies de stockage et de transport du gaz naturel ou du CO₂ dans des matériaux solides. Ce projet a pour objectif le développement d'un nouveau milieu de stockage solide, efficace et durable.

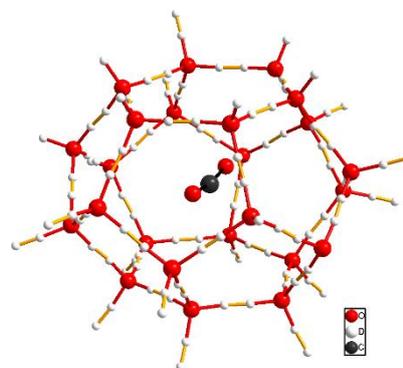


Figure 1. Structure d'un hydrate de CO₂

PROJECT SCIENTIFIQUE :

A l'heure actuelle, les applications industrielles des hydrates de gaz restent limitées en raison de leur cinétique de cristallisation lente. L'idée de ce projet est de trouver des voies de synthèse rapides avec des conditions moins extrêmes en associant des matériaux respectueux de l'environnement : des zéolites (minéraux aluminosilicates naturels) et hydrates de gaz.

L'objectif de cette thèse sera le développement de nouvelles structures composites combinant ces deux types de matériaux microporeux. Ceci doit permettre de mieux comprendre le mécanisme de croissance des cristaux d'hydrates de gaz, où les zéolites agissent comme des surfaces hétérogènes favorisant le processus de nucléation. Plusieurs types de zéolite présentant des chimies de surface et des caractéristiques de pores variées seront utilisés. La formation des hydrates de gaz sera étudiée à l'aide de techniques *in situ* et *ex situ*, notamment par diffraction (RX, synchrotron, neutron) et par spectroscopie infrarouge et Raman.

Le projet impliquera le LCS (Laboratoire Catalyse et Spectrochimie) pour la synthèse d'échantillons et la caractérisation des propriétés d'absorption, et le CRISMAT (Laboratoire de Cristallographie et Sciences des Matériaux) pour l'étude des structures cristallines et la réalisation d'analyses par diffraction des rayons X et des neutrons.



Pendant sa thèse, l'étudiant devra caractériser les structures de ces matériaux zéolithes - hydrates de gaz, ainsi que leurs capacités de stockage du CO₂ et du CH₄. Il sera amené à synthétiser les zéolithes utilisées pour la formation d'hydrates de gaz. Un travail sera également consacré au développement de procédures et à la mise en place d'équipements pour la caractérisation des nouveaux matériaux zéolithes / hydrates de gaz par diffraction des rayons X et des neutrons.

PROFILE DU OU DE LA CANDIDAT(E) :

Le candidat doit être actuellement inscrit ou titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur, en chimie ou en physique. Il doit avoir de solides connaissances en chimie du solide, en méthodes de synthèse, en cristallographie et techniques de caractérisation des matériaux : diffraction des rayons X, spectroscopie (IR, Raman), analyses thermiques.

CANDIDATER :

Les candidats doivent envoyer leur Curriculum Vitae, leurs relevés de notes de Master 1 et 2 ainsi qu'une lettre de motivation par email à nicolas.barrier@ensicaen.fr

INFORMATIONS :

- **Lieux de travail** : Laboratoires LCS & CRISMAT, UNICAEN/CNRS/ENSICAEN, Campus 2, 6 Bd Maréchal Juin, 14000 Caen, France
- **Début et durée du contrat** : 1er octobre 2025, 3 ans
- **Financement** : Caesar Excellence project Supported by University of Caen Normandy (<https://anr.fr/Projet/A-23-EXES-0001>)
- **Encadrants** :
 - ✓ Dr Valentin VALTCHEV (DR CNRS / LCS) : valentin.valtchev@ensicaen.fr
 - ✓ Dr Nicolas BARRIER (MCF-HDR / CRISMAT) : nicolas.barrier@ensicaen.fr