



## SOUTENANCE DE THESE D'AURELIEN SOUBEYRAN

### Thermodynamique de stockage souterrain de fluides : Application aux cavités salines

Soutenance prévue **jeudi 4 juin 2020 à 14h**  
MINES ParisTech, 35 rue Saint-Honoré 77300 FONTAINEBLEAU  
Visioconférence

#### Composition du jury proposé :

Pascale BENEZETH	Directeur de recherche	CNRS-Université Paul Sabatier Géosciences Environnement	Rapporteur
Alain MILLARD	Ingénieur de recherche, HDR	CEA Saclay	Rapporteur
Behrooz BAZARGAN-SABET	Cadre scientifique	BRGM	Examineur
Pierre BEREST	Professeur émérite	Ecole Polytechnique	Examineur
Christophe COQUELET	Professeur	MINES ParisTech	Examineur
Simon JALLAIS	Ingénieur	AIR LIQUIDE	Examineur
Michel TIJANI	Directeur de recherche	MINES ParisTech	Examineur
Ahmed ROUABHI	Maître de recherche	MINES ParisTech	Directeur de thèse

#### Résumé :

Dans le contexte actuel de transition énergétique, des projets cherchent à stocker de façon temporaire dans le sous-sol de nouveaux fluides (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>). Ces derniers peuvent présenter des caractéristiques thermodynamiques différentes de celles des produits habituellement stockés dans ces structures, tant individuellement qu'en présence des autres espèces que l'on y retrouve (saumure, insolubles, halite). Ce mémoire cherche à modéliser un stockage en cavité saline pour faire ressortir les propriétés thermodynamiques les plus susceptibles d'en affecter le comportement et d'influer ainsi sur son mode de gestion. Dans cette optique, les modélisations effectuées sur ces nouveaux fluides sont comparées à celles réalisées pour un fluide de référence, considéré a priori comme proche (ici le CH<sub>4</sub>), pour lequel on dispose d'une validation pratique.

Ce mémoire se concentre plus particulièrement sur la prise en compte des transferts de masse entre le fluide stocké et la saumure dans la modélisation. Cela nécessite d'adopter des lois d'état spécifiques pour caractériser thermodynamiquement les mélanges que ces transferts impliquent. Cela oblige également à reprendre les équations du modèle de stockage afin d'y intégrer les échanges de masse entre les phases fluides, mais aussi ceux de chaleur qu'ils induisent. Deux aspects sont traités : d'un côté, l'influence que les transferts de masse peuvent exercer sur les conditions du stockage, en le supposant à l'équilibre thermodynamique à tout instant, et de l'autre, l'évolution de ceux-ci d'un point de vue cinétique. Pour illustrer ces deux points, notamment expérimentalement, le CO<sub>2</sub> est utilisé comme cas d'étude, en raison de sa relativement forte solubilité en saumure, et comparé au CH<sub>4</sub>, qui, à l'inverse, s'y dissout faiblement.

**Mots-clés :** Cavité saline, Loi d'état, Thermodynamique de stockage, Transfert de masse, Cinétique de dissolution

## Thermodynamics of fluids underground storage: Application to salt caverns

### **Abstract:**

In the current energy transition context, ongoing projects intend to temporarily store underground new fluid products (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>). Their thermodynamic features may differ from those of the commonly stored products in such facilities, whether their own behavior is considered or their interactions with the other species remaining in the reservoir (brine, insoluble materials, NaCl cristal). This work aims to model a salt cavern storage to highlight the thermodynamic properties most impacting the storage behavior the most and influencing the choice of the monitoring process. For this purpose, the modeling of the storage behavior of these new products is compared to the already validated one, achieved on a comparable reference product (here the CH<sub>4</sub>).

This work more specifically focuses on taking into account the mass transfers occurring between the stored fluid and the brine phases. This requires to use more complex equations of states to thermodynamically characterize of the newly considered mixtures and to adapt the equations of the global storage model to incorporate the mass exchanges between the fluid phases, as well as the heat transfers these phenomena induce. Two special aspects are addressed on the mass transfers: on the one hand, their impact on the evolution of the storage conditions, considering the thermodynamic equilibrium at any time, and, on the other, their kinetic evolution. To illustrate these two points, experimentally and numerically, CO<sub>2</sub> is observed, due to its relatively high solubility in brine, and compared to CH<sub>4</sub>, which, inversely, hardly dissolves in it.

**Keywords:** Salt cavern, Equation of state, Storage thermodynamics, Mass transfer, Kinetics of dissolution