Modélisation du stockage et de la réactivité de l'hydrogène en aquifères profonds

CONTEXTE GENERAL

Storengy, société du groupe Engie, est l'un des leaders mondiaux en matière de stockage souterrain de gaz. Dans le cadre de la transition énergétique, Storengy étudie et développe des solutions de stockage souterrain d'hydrogène (H_2) en nappes aquifères. D'une part, la production de gaz naturel issue de nouveaux procédés induit des changements de composition du gaz stocké avec des teneurs en l'H_2 pouvant atteindre quelques pour cent. D'autre part, dans le cadre du développement de la filière hydrogène en Europe, l'H_2 (pur) produit de manière renouvelable peut participer à la décarbonation de la production d'électricité et des procédés industriels, mais également apporter une flexibilité sur les réseaux d'énergie lorsqu'il est stocké. Il s'agit alors d'étudier le stockage de l'hydrogène gazeux dans le sous-sol.

Le Centre de Géosciences de l'École des Mines de Paris (Mines Paris – PSL) développe le code de transport réactif HYTEC qui couple les réactions géochimiques à l'écoulement et au transport advectif/dispersif dans les milieux poreux (van der Lee et al., 2003). HYTEC permet de simuler aussi l'écoulement, la diffusion et la réactivité d'un mélange de gaz (Sin et al., 2017) sur une large gamme de pressions et de températures (Sin et al., 2019 et 2023). Le module géochimique de HYTEC permet de prendre en compte l'ensemble des processus chimiques d'interaction eau-gaz-roche, et simule également la croissance et les cinétiques bactériennes.

Le but de ce projet post-doctoral, issu d'une collaboration entre Storengy et Mines Paris – PSL, est de modéliser le comportement des stockages d'H_2 en milieu poreux. L'un des enjeux est de prendre en considération les réactions bio-géochimiques susceptibles de se développer dans le milieu poreux pendant l'exploitation du stockage. Ces réactions biotiques (méthanogénèse, sulfato-réduction, etc.) peuvent éventuellement modifier la composition du gaz stocké (perte de l'H_2, risque de production d'H_2S), la chimie des eaux et les propriétés pétrophysiques du milieu poreux. Il s'agit d'un domaine de recherche qui est en plein développement au sein de la communauté internationale du transport réactif.

OBJECTIF ET REALISATION DES RECHERCHES

L'objectif principal de cette étude est : i) la compréhension et la modélisation des processus bio-géochimiques dans les stockages souterrains en aquifère suite à l'injection d'un gaz naturel contenant une certaine concentration en H_2 ; ii) la quantification de l'impact de cette injection sur l'eau, le gaz stocké et la roche du réservoir au cours du temps ; (iii) la modélisation simplifiée du stockage à l'échelle industrielle (cycles d'injection et de soutirage).

- Dans un premier temps, différentes expériences de laboratoire (Haddad et al. (2022) par exemple) permettant d'identifier et de caractériser les processus biogéochimiques suite à l'injection d'H_2 seront modélisées. Les cinétiques des réactions physico-chimiques et microbiologiques liées à l'interaction entre les phases eau-gaz-roche seront contraintes par les expériences. Lorsque les résultats expérimentaux seront reproduits sous HYTEC, des études de sensibilité seront réalisées sur différents paramètres tels que la quantité de réactifs (carbonates, sulfates, etc.), la compétition entre les populations bactériennes *in-situ* (sulfato-réductrices et méthanogènes en particulier), la température, la pression, l'effet tampon réalisé par certains minéraux, etc.

- La modélisation à l'échelle du stockage souterrain sera étudiée dans un second temps en se basant sur les données minéralogiques et pétrophysiques des sites de stockage de Storengy. On veillera à tenir compte des conditions d'exploitation (débits d'injection et de soutirage aux

puits, effets thermiques, etc.) et analysera tout d'abord des configurations simplifiées. Les résultats de simulation seront comparés aux mesures *in-situ* obtenues sur les sites de stockage.

Ce projet fera l'objet a minima d'une publication scientifique et d'une présentation en congrès ou workshop internationaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Haddad, P., Ranchou-Peyruse, M., Guignard, M., Mura, J., Casteran, F., Ronjon- Magand, L., Senechal, P., Isaure, M.-P., Moonen, P., Hoareau, G., et al. (2022) Geological storage of hydrogen in deep aquifers–an experimental multidisciplinary study. Energy & Environmental Science 15, 8, 3400–3415.

Sin, I., Lagneau, V., Corvisier, J. (2017). Integrating a compressible multicomponent two-phase flow into an existing reactive transport simulator. Advances in Water Resources 100, 62-77.

Sin, I., and Corvisier, J. (2019). Multiphase multicomponent reactive transport and flow modeling. In Reactive Transport in Natural and Engineered Systems, J. Druhan and C. Tournassat, Eds., Mineralogical Society of America ed., vol. 85. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, Ch. 6, pp. 143–195.

Sin, I., De Windt, L., Banc, C., Goblet, P., and Dequidt, D. (2023). Assessment of the oxygen reactivity in a gas storage facility by multiphase reactive transport modeling of field data for air injection into a sandstone reservoir in the Paris Basin, France. Science of The Total Environment 869, 161657.

van der Lee, J., De Windt, L., Lagneau, V., Goblet, P. (2003). Module-oriented modeling of reactive transport with HYTEC. Computers and Geosciences 29, 265-275.

PROFIL RECHERCHÉ

- Niveau doctorat (ou ingénieur avec une première expérience) ;
- Fort goût pour la modélisation des phénomènes physico-chimiques ;
- Forte motivation pour le travail en équipe sur un projet collaboratif entre l'institution académique et l'industrie ;
- Très bonne maîtrise de l'anglais, tant à l'écrit qu'à l'oral.

LIEU ET CONTRAT DE TRAVAIL

Ce contrat est issu d'une collaboration Storengy / Mines Paris - PSL.
Durée : CDD de 18 mois de Mines Paris – PSL.
Date de commencement : à partir du deuxième trimestre 2024.
Localisation : Mines Paris – PSL, Centre de Géosciences, Fontainebleau (77) ; échanges réguliers avec Storengy, Bois-Colombes (92).

CONTACTS

Irina Sin irina.sin@minesparis.psl.eu et Laurent De Windt laurent.de_windt@minesparis.psl.eu