

Proposition de thèse

Etude et optimisation d'une exploitation d'uranium par In Situ Recovery dans un contexte de grès consolidés

Contacts

- MINES Paris PSL : Nicolas Seigneur nicolas.seigneur@minesparis.psl.eu
- Orano : Sébastien Hocquet – sebastien.hocquet@orano.group

Mots-clés

Transport réactif, hytec, uranium, in situ recovery.

Contexte

Orano Mining et MINES Paris PSL collaborent sur des projets de recherche visant à améliorer la compréhension et la simulation hydrogéochimique d'exploitations minières par récupération *in situ*. Cette technique consiste à injecter une solution d'attaque (solution d'acide sulfurique par exemple) *via* une série de puits injecteurs et à récupérer les solutions enrichies en métal dissous par des puits producteurs. Le métal est alors séparé dans une usine de traitement. Cette technique, qui présente un avantage économique majeur, représente aujourd'hui près de 60% de la production mondiale d'uranium. Le logiciel de transport réactif HYTEC (développé au Centre de Géosciences de MINES Paris PSL) permet de simuler efficacement les processus en jeu dans le champ de puits, en 3D, à l'échelle d'un bloc de production. Ces simulations sont actuellement utilisées sur la mine de Katco au Kazakhstan tant pour la production d'uranium (Lagneau et al. 2019, Collet et al. 2022) que pour la prédiction de son empreinte environnementale (Escario Perez et al. 2022, Seigneur et al. 2024, Doucmak et al. 2025).

L'ISR est aujourd'hui principalement utilisée dans des formations de sables non-consolidés, qui permettent une circulation aisée des fluides ainsi qu'un envahissement uniforme, rendant possible un taux de récupération élevé. Dans un contexte de redéploiement du nucléaire qui prédit une croissance de la demande en uranium, une diversification des approvisionnements peut s'avérer stratégique. A ce titre, les gisements à haute teneur du bassin de l'Athabasca (Canada) représentent une opportunité. Toutefois, ces gisements au sein de grès consolidés fracturés ne présentent pas les propriétés typiques des gisements visés par l'ISR (perméabilité, confinement, ...).

Objectifs et méthodologie

Nous nous intéressons à étudier si l'ISR constitue une technique intéressante pour ces gisements, tant du point de vue économique et environnemental. Cette faisabilité sera étudiée à travers des outils de simulation numérique avec le logiciel Hytec. Le travail sera réalisé en plusieurs étapes :

- calibration du modèle pour reproduire des caractérisations hydrogéologiques (tests de traçage, caractérisations géophysiques, ...) in-situ (propriétés du milieu fracturé, ...) et géochimiques ;
- modélisation de tests in-situ de traçage réactif ;

- exploration de pistes d'amélioration de l'exploitation pour son optimisation.

Profil recherché

Diplôme de Master ou d'Ingénieur avec une expérience en géologie/hydrogéologie, géochimie, modélisation réservoir ou sciences de l'environnement.

Pratique

La thèse CIFRE de 36 mois est financée par Orano Mining. Le travail se déroulera en partie dans les locaux d'Orano (Paris, Chatillon) et ceux du Centre de Géosciences de Mines Paris PSL (Fontainebleau). Les travaux bénéficieront d'un rayonnement international à travers des publications et participations à des congrès scientifiques.

Références

Lagneau, V., Regnault, O., & Descostes, M. (2019). Industrial deployment of reactive transport simulation: An application to uranium in situ recovery. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 85(1), 499-528.

Collet, A., Regnault, O., Ozhogin, A., Imantayeva, A., & Garnier, L. (2022). Three-dimensional reactive transport simulation of Uranium in situ recovery: Large-scale well field applications in Shu Saryssu Basin, Tortkuduk deposit (Kazakhstan). *Hydrometallurgy*, 211, 105873.

Escario, S., Seigneur, N., Collet, A., Regnault, O., de Boissezon, H., Lagneau, V., & Descostes, M. (2023). A reactive transport model designed to predict the environmental footprint of an 'in-situ recovery' uranium exploitation. *Journal of Contaminant Hydrology*, 254, 104106.

Seigneur, N., Grozeva, N., Purevsan, B., & Descostes, M. (2024). Reactive transport modelling as a toolbox to compare remediation strategies for aquifers impacted by uranium in situ recovery. *Journal of Contaminant Hydrology*, 265, 104392.

Doucmaek, R., Seigneur, N., Escario, S., Chanvry, E., Lagneau, V., Khaibulin, R., ... & Descostes, M. (2025). The first modeling, measurement, and confirmation of natural attenuation over a 30-year period in a uranium in-situ recovery context: Approaches and perspectives. *Journal of Contaminant Hydrology*, 104607.