

Proposition de CDD 12 mois, ingénieur ou post-doctorat

Contacts

- MINES Paris PSL : Vincent Lagneau (vincent.lagneau@minesparis.psl.eu), Nicolas Seigneur (nicolas.seigneur@minesparis.psl.eu)
- Orano : Sébastien Hocquet (sebastien.hocquet@orano.group)

Mots-clés

Transport réactif à l'échelle du pore, uranium in situ recovery, hytec

Contexte

Orano est un acteur historique de la production d'uranium par ISR sur des projets aux Etats-Unis dans les années 1980-1990, puis au Kazakhstan et maintenant en Mongolie et en Ouzbékistan. Orano collabore depuis plusieurs années avec l'École des Mines de Paris pour améliorer la compréhension et la quantification des processus à l'œuvre au sein du gisement pendant l'exploitation par ISR, pour mettre en place des méthodes de simulation couplées hydrogéologie/géochimie (code Hytec), et l'utilisation de ces simulations à des fins de prédiction et d'optimisation.

La tendance actuelle dans le marché de l'uranium est à une augmentation de la part de production par la technique minière de récupération in situ (ISR). Les coûts de production par cette technique étant très compétitifs, de nombreux projets sont à l'étude, y compris dans des contextes historiquement non ciblés par l'ISR.

L'ISR demande des conditions spécifiques pour pouvoir être implémentée. En particulier, deux propriétés du réservoir sont nécessaires : une perméabilité suffisante pour permettre d'injecter la solution de lixiviation, et un confinement efficace pour contenir et bien récupérer les solutions. Le gisement d'Imouraren au Niger est *a priori* peu adapté : bien que situé en contexte sédimentaire confiné par des couches imperméables, sa perméabilité est généralement considérée comme trop faible pour une circulation efficace des fluides. En conséquence, il n'a jusqu'à présent pas été exploré dans une optique ISR. Il existe cependant un intérêt fort à adapter l'ISR pour ce gisement, en particulier pour les zones les moins riches pour lesquelles l'équilibre économique de techniques classiques est précaire.

Objectif

Dans le cadre de campagnes d'études sur la faisabilité de l'ISR sur ce gisement, Orano et l'École des Mines souhaitent mettre en place des simulations prédictives du comportement du gisement pendant l'exploitation : circulation des fluides entre les puits, réactivité de l'uranium et des minéraux de la gangue. Ces simulations doivent contribuer à un faisceau de preuves permettant d'affiner une évaluation économique de l'ISR pour ce gisement.

Plusieurs sources de données seront utilisées pour contraindre les modélisations : minéralogie et analyse élémentaire du minerai, essais de circulation en cellule réalisés par Orano ces dernières années, essais hydrogéologiques interprétés. Une nouvelle campagne d'expériences en cellule sous microtomographe (Patrice Creux, UPPA/LFCR) doit apporter des informations complémentaires, à la fois sur le comportement hydrodynamique et la réactivité des minéraux, y compris à l'échelle du pore.

Travail proposé

À l'échelle de la cellule de laboratoire (~10 cm)

Interprétation de données d'expériences de lixiviation en cellules triaxiales (composition de l'échantillon, suivi des courbes d'éluion, composition finale), et consolidation d'un modèle géochimique et transport réactif 1D de processus. On s'attachera à évaluer la dispersion des résultats en fonction de l'échantillon testé.

Contribution à l'analyse des données issues des essais en cellule (en relation avec le LFCR), de manière à construire pour chaque expérience un modèle transport réactif 3D à l'échelle du Volume Élémentaire Représentatif (VER). On s'attachera en particulier aux effets hydrodynamiques, y compris à l'échelle du pore (exclusion, dépassivation de surfaces, double porosité, ...) pour contraindre le modèle VER.

À l'échelle du bloc de production (~200 m)

En se basant sur les données interprétées de tests hydrodynamiques sur site (pompages de longue durée, traçages), les modèles disponibles, et en intégrant des dires d'expert (hydrogéologie, sédimentologie, géologie structurale), il conviendra de générer des scénarios hydrogéologiques 3D plausibles, et compatibles avec l'analyse réalisée précédemment à l'échelle de l'expérience au laboratoire : distribution de perméabilité, anisotropie, existence de double milieu.

En intégrant le modèle géochimique issu du laboratoire et le modèle hydrogéologique 3D, on proposera un modèle couplé 3D à l'échelle du bloc de production. Les incertitudes géologiques identifiées seront traitées en sensibilité.

Enfin, le modèle ainsi créé sera utilisé pour tester différents scénarii de production (distance entre puits, débits, composition de fluides) afin d'identifier les facteurs d'optimisation et de risque pour la production.

Implications pour le projet

Ce travail s'intègre pleinement dans le processus de décision sur la conception d'un futur pilote sur le site : forme des cellules de production, proposition de réseau de piézomètres de contrôle. Le travail, avec de forts enjeux industriels, sera mené en collaboration entre un centre de recherche (École des Mines de Paris) et chez l'industriel (Orano) au contact de plusieurs projets (exploration, hydrogéologie, R&D). Les verrous scientifiques et techniques doivent également permettre une ou plusieurs publications.

Profil recherché

Ingénieur ou docteur, intéressé par la modélisation couplée hydrogéologie-géochimie (transport réactif). Expérience en hydrogéologie et/ou géochimie et/ou modélisation appréciées.

Informations pratiques

Ce projet est financé pour un en tant que collaboration entre le Centre de Géosciences de Mines Paris PSL et Orano Mining. Le travail sera réalisé en partie à l'École des Mines de Paris (site de Fontainebleau, 77) et Orano (site de Châtillon, 92) avec plusieurs missions à Pau.