

## Proposition de contrat de recherche à durée déterminée (postdoc ou ingénieur de recherche)

Etablissement d'un modèle d'apprentissage statistique pour aider au pilotage et à l'optimisation d'exploitation d'uranium par récupération *in situ*

### Contacts

- MINES ParisTech : Mike Pereira [mike.pereira@minesparis.psl.eu](mailto:mike.pereira@minesparis.psl.eu), Nicolas Seigneur [nicolas.seigneur@mines-paristech.fr](mailto:nicolas.seigneur@mines-paristech.fr), Irina Sin [irina.sin@mines-paristech.fr](mailto:irina.sin@mines-paristech.fr), Vincent Lagneau [vincent.lagneau@mines-paristech.fr](mailto:vincent.lagneau@mines-paristech.fr)
- Orano : Sébastien Hocquet - [sebastien.hocquet@orano.group](mailto:sebastien.hocquet@orano.group)

### Mots-clés

Transport réactif, machine learning, hytec, uranium.

### Contexte

Orano Mining et MINES ParisTech collaborent sur des projets de recherche visant à améliorer la compréhension et la simulation hydrogéochimique d'exploitations minières par récupération *in situ*. Cette technique, utilisable pour certains types de gisements bien confinés et à haute perméabilité, 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 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 ParisTech) 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).

Les opérateurs miniers bénéficient donc du caractère prédictif d'HYTEC, qui peut donc également servir pour guider l'exploitation. Dès lors apparait la volonté d'utiliser HYTEC pour optimiser la production d'uranium. Toutefois, les temps de calcul associés à ces simulations sont actuellement limitants pour une telle optimisation. Nous souhaitons donc étudier la possibilité de recourir à des algorithmes d'apprentissage statistique afin de lever ce verrou.

## Travail proposé

L'étude proposée se décline en trois parties

### 1) Calibration d'un modèle de réseau de neurones

La première phase du projet consistera à déterminer, sur un cas simplifié (duo injecteur - producteur et géométrie réduite), le type et l'architecture de réseau de neurones les plus adaptés pour représenter les processus hydrogéochimiques simulés par HYTEC. Ce premier modèle devra néanmoins être capable de prendre en compte de possibles variations des débits et des compositions des solutions d'injection. Cette calibration se fera sur la base de données d'entraînement générées par HYTEC.

### 2) Changement d'échelle

La deuxième phase consistera à modifier le modèle initial afin de considérer des dispositions puits injecteur - puits producteur plus proches des conditions réelles d'exploitation: Dans un premier temps, on considérera une cellule de production composée de 6 puits injecteurs disposés hexagonalement autour d'un puits producteur. Puis dans un second temps, on considérera un bloc de production composé de plusieurs cellules telles que décrites plus tôt.

### 3) Optimisation du plan minier

La dernière phase consistera à développer des outils d'optimisation économique du plan minier sur la base des simulations de blocs de production issues du modèle.

## Profil recherché

Jeune docteur ou ingénieur grande école, avec des connaissances en apprentissage statistique et éventuellement en hydrogéologie ou ingénierie réservoir. Expérience passée dans l'implémentation de modèles d'apprentissage (eg. avec PyTorch ou Tensorflow). Goût du travail en équipe et interdisciplinaire, au sein d'un projet entre le monde académique et l'industrie.

## Pratique

Le projet de 12 mois se déroule dans une collaboration entre le Centre de Géosciences de MINES ParisTech et Orano Mining. Le contrat, qui pourra débuter en mai 2023, est financé par Orano Mining, sous contrat Armines (opérateur de la recherche contractuelle de MINES ParisTech).

Le travail est localisé entre les locaux d'Orano Mining à Chatillon (92) et de MINES ParisTech à Fontainebleau (77). Des missions sont à prévoir à la mine de Katco au Kazakhstan.