

History matching automatisé en transport réactif. Application à l'ISR de l'uranium.

Antoine COLLET , centre de Géosciences Mines ParisTech

La production par récupération in situ (ISR) est devenue aujourd'hui pour l'uranium la première des méthodes d'exploitation avec 57 % de la production mondiale en 2020. Comme dans le domaine pétrolier, elle offre une vision indirecte du gisement ce qui rend les prévisions de production très incertaines. C'est pourquoi le centre de Géosciences de MINES ParisTech et ORANO Mining développent depuis plus d'une dizaine d'années une approche déterministe de modélisation de transport réactif dédiée à la simulation de l'exploitation ISR la modélisation est faite avec le code de transport réactif HYTEC développé au centre de Géosciences [1]. La démonstration de la faisabilité et de la robustesse des simulations de transport réactif pour l'ISR a été effectuée, notamment à KATCO, site minier situé au Kazakhstan [2]. Il existe néanmoins de grandes incertitudes sur les modèles géologiques 3D utilisés, notamment sur l'estimation initiale des réserves, et de forts écarts entre modèle et réalité subsistent [3]. Cette thèse a ainsi pour principal objectif de renforcer les capacités de prédictions des simulations en développant la résolution du problème inverse, c'est-à-dire, en améliorant le modèle géologique, et ce de façon automatique pour l'ensemble des puits producteurs d'une zone. C'est en effet à cette échelle que se joue la précision de la prévision des scénarios de production.

Deux approches sont actuellement étudiées. La première traite HYTEC comme une boîte noire et repose sur des méthodes d'optimisation externes déjà bien utilisées dans le pétrole, mais encore très peu dans le domaine du transport réactif. On peut citer notamment les lisseurs d'ensemble itératifs (ES-MDA, EnRML). À cet effet, une librairie en python a été développée pour brancher ces méthodes à HYTEC et des tests sur cas industriels sont en cours.

La seconde approche, au cœur de la thèse, est plus ambitieuse. Il s'agit d'utiliser des méthodes de type descente de gradient, en calculant le gradient par la méthode de l'état adjoint. Cela revient à développer une transposée de HYTEC, qui aura l'avantage de

donner le gradient exact et pour un coût équivalent à un seul modèle direct, là où d'autres méthodes approximent ce gradient pour un coût supérieur de plusieurs ordres de grandeur.

L'implémentation de la méthode de l'état adjoint est néanmoins très ambitieuse, car elle nécessite d'intervenir en profondeur sur code et la structure du code HYTEC (Figure 1) et présente de nombreux défis de conception et d'implémentation.

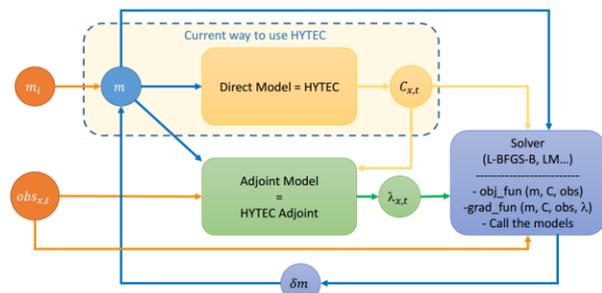


Figure 1: Schéma de la structure de HYTEC requise pour l'implémentation d'une optimisation par une méthode de descente avec calcul du gradient par la méthode de l'état adjoint.

- [1] J. van der Lee, L. De Windt, V. Lagneau, et P. Goblet, « Module-oriented modeling of reactive transport with HYTEC », *Comput. Geosci.*, vol. 29, p. 265-275, 2003, doi: 10.1016/S0098-3004(03)00004-9.
- [2] V. Lagneau, O. Regnault, et M. Descostes, « Industrial Deployment of Reactive Transport Simulation: An Application to Uranium In situ Recovery », *Rev. Mineral. Geochem.*, vol. 85, no 1, Art. no 1, 2019, doi: 10.2138/rmg.2019.85.16.
- [3] A. Collet, O. Regnault, A. Imantayeva, A. Ozhogin, et L. Garnier, « 3D reactive transport simulation of Uranium In situ recovery. Large scale well-field application in Shu Saryssu Basin, Tortkuduk deposit (Kazakhstan), in preparation. », *Hydrometall. Rev.*, 2022.