

Sujet de stage :

Opérateurs Neuronaux pour la méta-modélisation du stockage de CO₂ en milieu poreux

28 septembre 2023



Porteurs : Véronique Gervais (IFPEN) & Thibault Faney (IFPEN)

La mise en place de sites souterrains de stockage de CO₂ nécessite de réaliser au préalable des études de faisabilité et de risque. Ces études peuvent s'appuyer sur des modèles numériques du sous-sol qui consistent en une grille 3D représentant la structure géométrique du stockage et peuplée en propriétés pétrophysiques (porosité, perméabilité ...). Une simulation de la dynamique des fluides injectés et en place et des différentes interactions dans le modèle fournit ensuite une représentation spatio-temporelle de l'évolution du réservoir (pression, température, fraction de CO₂ ...), qui peut être utilisée pour estimer la capacité du stockage, réaliser des analyses de risque ou tester différents scénarios d'injection.

Toutefois, les caractéristiques physiques du sous-sol sont en général mal connues, et notamment les propriétés pétrophysiques qui ont une influence majeure sur l'évolution dynamique. Cette incertitude doit donc être prise en compte dans la quantification des risques, ce qui nécessite de très nombreuses simulations d'écoulement, coûteuses en temps de calcul. Une façon de réduire les coûts calculatoires consiste à mettre en place des méta-modèles reproduisant le comportement du simulateur et fournissant des estimations fiables des sorties simulées en des temps de calculs faibles. Une difficulté pour mettre en place de telles approches réside dans le très grand nombre de variables à prendre en compte en entrée (plusieurs milliers correspondant aux propriétés pétrophysiques dans chaque maille du modèle) mais également en sortie si l'on

souhaite prédire la distribution spatiale de l'état dynamique du réservoir au cours du temps (pression, température, quantité de CO₂ dans chaque maille). Des techniques de méta-modélisation appropriées doivent donc être considérées.

Dans le cadre de ce stage, on se propose de regarder l'intérêt de modèles d'apprentissage de type opérateurs neuronaux [LJP, WLA, YZR]. En effet, de nombreux développements récents autour de ces modèles permettent de bonnes propriétés de généralisation pour des entrées en grande dimension tels que des champs de vecteur de propriétés pétrophysiques. Le stage vise aussi à implémenter des garanties de conservation physiques de certaines propriétés (masse, flux, etc.) via une approche "physics informed" consistant à pénaliser l'écart de conservation directement dans la fonction coût lors de l'apprentissage.

L'approche sera testée sur un cas synthétique inspiré d'un cas réel d'injection de CO₂ dans un aquifère salin, en considérant d'abord le transport de CO₂ seul, puis les interactions avec le milieu carbonaté (transport réactif).

References

[LJP] L. LU, P. JIN, G. PANG, Z. ZHANG and G. E. KARNIADAKIS, Learning nonlinear operators via DeepONet based on the universal approximation theorem of operators, *Nat. Mach. Intell.* 3 (2021), pp. 218–229. 10.1038/s42256-021-00302-5

[WLA] G. WEN, Z. LI, K. AZIZZADENESHELI, A. ANANDKUMAR and S. M. BENSON, U-FNO—An enhanced Fourier neural operator-based deep-learning model for multiphase flow, *Adv. Water Resour.* 163 (2022), p. 104180. 10.1016/j.advwatres.2022.104180

[YZR] H. YOU, Q. ZHANG, C. J. ROSS, C. H. LEE and Y. YU, Learning deep Implicit Fourier Neural Operators (IFNOs) with applications to heterogeneous material modeling, *Comput. Meth. Appl. Engrg* 398 (2022), p. 115296. 10.1016/j.cma.2022.115296