



Géosciences pour une Terre durable



Offre de post-doctorat d'une durée d'un an

Géologie, Géophysique et Modélisation pour la Géothermie

Changement d'échelle des propriétés acoustiques, de l'échantillon à l'échelle sismique : Liens avec la sédimentologie, la diagenèse et les propriétés de réservoir du Dogger du bassin de Paris

Contexte du projet, problématique et objectif général du projet.

Le manque de données de puits, incluant des analyses sur carottes, ou de prospections sismiques récentes depuis la surface, constitue souvent un frein à l'évaluation précise des propriétés des réservoirs géothermiques, telles que la porosité, la perméabilité ainsi que la productivité et l'injectivité. En effet, les données disponibles pour la géothermie profonde sont le plus souvent incomplètes (très rares carottes et peu de diagraphies déployées) et peu denses. Ainsi, très peu de données en 3D, permettant d'imager et caractériser le sous-sol à haute résolution, sont disponibles. Il est donc nécessaire, pour réduire l'aléa géologique, de mieux prédire les propriétés des réservoirs géothermiques dans l'espace, et ce à partir de données éparées ou incomplètes. Le projet PR3DICT (**PR**édiction **3D** des hétérogénéités de réservoirs pour la **Car**actérisation des ressources **géoTh**ermiques) ambitionne de répondre à ce besoin en proposant une méthodologie basée sur les techniques de l'exploration pétrolière pour prédire l'hétérogénéité spatiale des propriétés des corps poreux et perméables des réservoirs géothermiques, avec un cas d'application sur le Dogger du bassin de Paris où les données sont majoritairement 1D (puits) ou 2D (sismique). Le projet PR3DICT est coordonné par le BRGM et regroupe l'Université Paris-Saclay et SLB. Il est financé par l'ADEME. Dans le cadre de ce projet, SLB réalisera la modélisation pétrophysique et l'imagerie sismique quantitative sur un cube sismique 3D vers Melun dans une zone très étudiée par l'exploitation d'hydrocarbures. Le BRGM aura la charge de l'analyse et prédiction des hétérogénéités en 3D du Dogger dans cette même zone. L'étude du projet post-doctoral sera centrée sur la caractérisation multi-échelle des propriétés acoustiques du Dogger, de l'échelle de l'échantillon à l'échelle sismique, et des potentiels liens avec les propriétés réservoir. Le projet MINERGIE (Capart et al., 2021; Allo et al., 2021) réalisé dans la cadre d'une collaboration ADEME-BRGM, avait montré la faisabilité de valoriser d'anciennes lignes de sismique réflexion pétrolière par des approches d'interprétation quantitative pour obtenir des informations sur les propriétés pétrophysiques du réservoir le long des profils sismiques. Les limites dues à la qualité de la donnée ont été mises en avant ainsi que les difficultés du saut d'échelle entre la mesure de porosité faite au puits et les valeurs obtenues à partir de l'inversion sismique. Ainsi, afin de palier à la limite du saut d'échelle, l'étude du présent post doctorat est organisée en 3 tâches principales : i) caractérisation pétrophysique et pétrographique à l'échelle de l'échantillon ; ii) étude diagraphique et modélisation sismique synthétique ; iii) changement d'échelle acoustique et liens avec les propriétés de réservoir. L'objectif principal est de valider une méthodologie pour caractériser le réservoir en exploitant d'anciennes données sismiques et de puits, sans avoir recours à de nouvelles explorations. Cela permettra d'optimiser l'utilisation des nombreuses données existantes et de limiter les coûts d'une phase d'exploration dans le futur.

Méthodologie envisagée

Tâche 1 : Caractérisation pétrophysique et pétrographique à l'échelle de l'échantillon

Des travaux récents ont mis en évidence que les niveaux producteurs sont bien prédits par la stratigraphie séquentielle, se localisant généralement sous deux surfaces de régression maximale (Thomas et al., 2023). L'analyse de faciès directement sur carottes dans les forages

de Bobigny et Vert-Saint-Denis indique que ces niveaux producteurs pourraient être liés à une émergence des faciès granulaires lors d'une chute du niveau marin relatif (Thomas et al., 2023 ; Catinat et al., 2023a et b). Les analyses géostatistiques des données de porosité et perméabilité, intégrant les faciès, permettent de mieux représenter l'architecture des niveaux producteurs, qui forment des lentilles hyper-perméables de taille et de connectivité variable. Nous proposons ici de caractériser les propriétés acoustiques (V_p , V_s en conditions sèches et saturées) d'échantillons provenant d'un forage carotté. Les propriétés réservoirs de ces mêmes échantillons ont déjà été analysés (porosité, perméabilité, RMN, ...) et il sera donc possible de confronter les résultats acoustiques aux résultats précédemment acquis. En parallèle, une caractérisation pétrographique des échantillons permettra de définir des *rock types* fonction du faciès sédimentaire et de la surimpression diagénétique, ils permettront d'interpréter les données pétrophysiques à la lueur des observations géologiques.

Tâche 2 : Étude diagraphique et modélisation sismique synthétique

Entre les mesures de perméabilité effectuées à l'échelle du puits lors des tests de production et celles réalisées en diagraphie ou sur carotte, des écarts de plusieurs ordres de grandeur peuvent être observés (Catinat et al., 2023a). Cette tâche fait donc appel à la problématique du changement d'échelle qui vise à comprendre comment relier les données micro et macroscopiques (porosité et perméabilité issues de mesures sur carottes), aux données mésoscopiques (issues des mesures et essais de production et d'injection communiquant une information sur l'emmagasinement et la transmissivité) et également aux données sismiques. Ainsi, les jeux de données diagraphiques d'une quarantaine de puits seront analysés en détail. Les *rock-types* déterminés en tâche 1 serviront de base à l'interprétation des données soniques croisées avec la porosité neutron, afin d'obtenir un cadre sédimentologique et diagénétique bien contraint à l'échelle des puits. Les résultats obtenus seront confrontés aux mesures et essais de production et d'injection dans le but de trouver des liens entre sédimentologie, diagenèse, propriétés d'écoulement et propriétés acoustiques à mésoéchelle. Enfin, les données de soniques et de densité seront utilisées pour réaliser des sismiques synthétiques 1D qui seront confrontés aux profils sismiques réels et permettront d'interpréter les réflecteurs sismiques en termes de géologie et pétrophysique.

Tâche 3 : Changement d'échelle acoustique et liens avec les propriétés de réservoir

Dans cette tâche il s'agira d'évaluer l'apport de l'intégration de données sismiques et pétrophysique effectué tout au long du projet PR3DICT pour la construction de nouveaux modèles statiques par rapport à des modèles plus « classiques », basés uniquement sur les données statiques de puits (diagraphies, carottes et test de puits) et d'architecture stratigraphique. Pour ce faire, une analyse du changement d'échelle des vitesses acoustiques sera réalisée, les données microscopiques (laboratoire, haute fréquence) seront confrontées aux données mésoscopiques (données soniques). Les possibles différences de vitesses acoustiques pourront être interprétées à l'aide de modèle de milieux effectifs. En effet, le cas possible d'une diminution de la vitesse des ondes, de l'échelle de l'échantillon à l'échelle sonique, pourrait être interprété en densité de fissures/fractures (Baillly et al., 2019), et permettrait potentiellement d'expliquer l'évolution de la perméabilité avec le changement d'échelle. Une telle hypothèse n'est pas impossible, compte tenu de l'identification macroscopique de nombreux stylolithes et fractures à l'échelle de la carotte. Enfin, les vitesses soniques seront comparées aux vitesses sismiques et les différences entre ces deux échelles seront interprétées à la lueur des *rock-types* précédemment définis et de la possible présence de fractures. *In fine*, les réflecteurs sismiques synthétiques obtenus en tâche 2, interprétés en termes de contrastes géologiques et pétrophysiques, serviront de base à la conversion des profils sismiques réflexion en propriétés de réservoir.



Conditions de travail

Ce post doctorat, d'une durée d'un an, est à pourvoir dès à présent. La personne recrutée sera hébergée dans les locaux du laboratoire GEOPS <https://www.geops.universite-paris-saclay.fr/> de l'Université Paris-Saclay. Elle pourra réaliser de courts séjours au BRGM afin d'échanger avec les collègues en charge de la réalisation du catalogue d'hétérogénéités. Elle aura également un support de SLB pour l'utilisation des logiciels dédiés à l'étude.

Rémunération

Le salaire est fonction de l'expérience.

Profil recherché

Nous recherchons un.e docteur.e géologue avec une forte appétence pour la pétrophysique et l'interprétation de données sismiques, capable d'interagir en équipe avec plusieurs partenaires.

Contact

Merci d'envoyer vos CV, lettre décrivant vos motivations et votre adéquation avec le profil, ainsi que les contacts de 3 référents aux adresses suivantes :

cedric.bailly@universite-paris-saclay.fr

benjamin.brigaud@universite-paris-saclay.fr

a.stopin@brgm.fr

gsosio@slb.com

Références

Allo, F., Coulon, J. P., Formento, J. L., Reboul, R., Capar, L., Darnet, M., ... Stopin, A., 2021. Characterization of a carbonate geothermal reservoir using rock-physics-guided deep neural networks. *The Leading Edge*, 40(10), 751-758.

Bailly, C., Fortin, J., Adelinet, M., & Hamon, Y., 2019. Upscaling of elastic properties in carbonates: A modeling approach based on a multi-scale geophysical dataset. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(12), 13021-13038.

Capar, L., Darnet, M., Issautier, B., Marc, S., et Stopin, A., 2021. Valorisation des données de sismique réflexion et de puits, des années 80, pour de l'interprétation quantitative, sur le réservoir géothermique du Dogger dans le Bassin parisien. *Rapport final BRGM/RP-70726-FR*.

Catinat, M., Brigaud, B., Fleury, M., Thomas, H., Antics, M., Ungemach, P., 2023a. Characterizing facies and porosity-permeability heterogeneity in a geothermal carbonate reservoir with the use of NMR-wireline logging data. *Geothermics* 115, 102821. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102821>

Catinat, M., Fleury, M., Brigaud, B., Antics, M., Ungemach, P., 2023b. Estimating permeability in a limestone geothermal reservoir from NMR laboratory experiments. *Geothermics*, 111, 102707 <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102707>

Thomas, H., Brigaud, B., Blaise, T., Zordan, E., Zeyen, H., Catinat, M., Andrieu, S., Mouche, E., Fleury, M., 2023. Upscaling of geological properties in a world-class carbonate geothermal system in France: From core scale to 3D regional reservoir dimensions. *Geothermics*, 112, 102719 <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102719>