



HAL
open science

Inversion quantitative de donnée sismique ancienne pour la caractérisation de la ressource géothermale dans le Bassin de Paris

Mathieu Darnet, Alexandre Stopin, Laure Capar, Stephane Marc, Benoit
Issautier, Jean-Luc Formento, Fabien Allo, Jean-Philippe Coulon, Romain
Reboul

► To cite this version:

Mathieu Darnet, Alexandre Stopin, Laure Capar, Stephane Marc, Benoit Issautier, et al.. Inversion quantitative de donnée sismique ancienne pour la caractérisation de la ressource géothermale dans le Bassin de Paris. Journées de la Géothermie 2022, Jun 2022, Aix les bains, France. hal-03641617

HAL Id: hal-03641617

<https://hal.science/hal-03641617>

Submitted on 14 Apr 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Inversion quantitative de donnée sismique ancienne pour la caractérisation de la ressource géothermale dans le Bassin de Paris

Mathieu Darnet, Alexandre Stopin, Laure Capar, Stéphane Marc, Benoît Issautier BRGM
Jean-Luc Formento, Fabien Allo, Jean-Philippe Coulon, Romain Reboul CGG

m.darnet@brgm.fr; a.stopin@brgm.fr; l.capar@brgm.fr; s.marc@brgm.fr; b.issautier@brgm.fr
; fabien.allo@cgg.com; jean-philippe.coulon@cgg.com; romain.reboul@cgg.com

Mots clés : Géothermie, aquifère, Dogger, interprétation quantitative, sismique, pétrophysique,

1. INTRODUCTION

Depuis les années 50, sur l'ensemble des bassins sédimentaires français, de nombreux opérateurs principalement pétroliers, ont acquis plus de 350 000 kilomètres linéaires de données de sismique réflexion et ont foré plus de 6 000 puits. Les progrès technologiques de l'acquisition sismique et des algorithmes de traitement du signal, couplés avec une meilleure connaissance des variations lithologiques de la proche surface, ont permis d'appréhender la structure globale des bassins (e.g. profondeur du toit et base des grands ensembles géologiques). Cependant il reste toujours difficile de prédire avec précision la productivité des niveaux réservoirs. Cette limite est principalement due à une faible connaissance des propriétés du réservoir (niveaux producteurs et imperméables) entre les puits existants. Afin d'améliorer la connaissance des réservoirs, des techniques modernes basées sur l'analyse des amplitudes du signal sismique et sur les données enregistrées lors des forages peuvent être utilisées. Une de ces techniques, l'interprétation quantitative, est traditionnellement utilisée en exploration pétrolière pour identifier sur la sismique la présence de couches réservoirs (Mougenot, 1999). Certains opérateurs de géothermie, commencent déjà à retravailler de façon systématique la sismique existante avant l'implantation d'un doublet géothermique, mais son interprétation reste qualitative et gagnerait à être plus quantitative, afin d'en diminuer les risques. Dans le cadre de la convention numéro 2005C0030 entre l'ADEME et le BRGM, pour l'année 2020, une interprétation quantitative du Dogger du Bassin parisien, à partir des données de sismique réflexion acquises dans les années 80 et de puits existants, a été réalisée. L'objectif de cette étude est d'établir une méthodologie et d'énoncer des recommandations sur l'utilisation des données de sismique réflexion et de puits existants, afin de réduire le risque géologique avant forages et d'apporter de nouvelles informations entre les puits sur les caractéristiques pétrophysiques du réservoir étudié. Cette contribution résume la mise en œuvre et les principaux résultats de ce projet.

2. METHODOLOGIE

L'interprétation quantitative (QI) vise à déduire les propriétés statiques du réservoir loin du puits de forage à partir des données d'amplitude sismique. Le processus commence par une inversion sismique pour obtenir les propriétés élastiques du sous-sol (par exemple, l'impédance acoustique) à partir des amplitudes sismiques enregistrées, suivie par la dérivation de relations statistiques entre les propriétés élastiques et les propriétés de la roche à partir des informations de puits et enfin l'application de ces relations pour transformer les propriétés élastiques en propriétés de réservoir. Dans cette étude de cas, couvrant la partie nord-est du Bassin parisien, quatre lignes sismiques de réflexion 2D de 1986 et une ligne sismique de réflexion 2D de 1988 sont utilisées ainsi que vingt-sept puits géothermiques et cinq puits pétroliers avec des diagraphies de gamma-ray, de densité, d'ondes soniques compressionnelles et de porosité.

La qualité des données sismiques et diagraphiques est essentielle pour obtenir des propriétés de réservoir fiables. En effet, dans une étude QI, les variations latérales et verticales des amplitudes se traduisent en variations des propriétés du réservoir. Par conséquent, les variations d'amplitude des données de sismique non liées à de véritables changements des propriétés élastiques du sous-sol biaiseront les estimations des propriétés de la roche. Bien qu'acquises il y a plus de 30 ans, la qualité des données sismiques est globalement bonne. Le retraitement sismique effectué a mis notamment l'accent sur l'élimination des bruits tout en préservant les amplitudes suivi d'une étape d'imagerie (traitement migration avant sommation en temps, ou PSTM).

La gamme de fréquences des données sismiques influence deux aspects critiques de l'étude QI, la résolution verticale et le degré de dépendance à un modèle initial basse fréquence fiable. La gamme de fréquences enregistrée dans l'intervalle du réservoir va de 15 Hz à 85 Hz, offrant une résolution verticale d'environ 20 mètres. Ceci est suffisant pour identifier la base, le toit et les couches principales au sein de ce réservoir de 150 mètres d'épaisseur. Dans les années 80, les systèmes d'acquisition n'étaient pas conçus pour générer ni enregistrer des fréquences inférieures à 15 Hz. L'inversion sismique repose donc sur la création d'un modèle initial basse fréquence qui inclut toutes les fréquences inférieures à ce seuil puisque cette information n'est pas présente dans les données.

Pour une étude QI, les diagraphies suivantes sont requises, gamma-ray, porosité neutron, densité et vitesse des ondes compressionnelles (ondes P) sur l'intégralité de l'épaisseur du réservoir. D'autres diagraphies comme la vitesse des ondes de cisaillement (ondes S) pourraient aider à différencier les faciès ciblés et ainsi affiner l'estimation des propriétés du réservoir. Malheureusement la vitesse des ondes S n'a pas été enregistrée sur les puits disponibles et les diagraphies ne sont disponibles que sur une section du réservoir. Les puits pétroliers, forés sur une plage de profondeur plus longue ont fourni des informations clés bien qu'ils soient éloignés de quelques kilomètres de la ligne sismique la plus proche. L'analyse initiale des diagraphies a montré qu'un important travail d'édition et de conditionnement était nécessaire pour avoir des données de bonne qualité.

L'inversion sismique consiste à mettre à jour itérativement un modèle élastique initial du sous-sol afin d'expliquer au mieux les données sismiques enregistrées. A chaque itération, les données synthétiques sont comparées aux données réelles : la différence entre les deux permet de quantifier les changements à appliquer sur les propriétés élastiques du modèle à l'itération suivante. L'inversion s'arrête lorsque cet écart atteint un seuil satisfaisant (résidu entre sismique et synthétique minimisé).

Le modèle basse fréquence initial est construit à partir de l'interprétation du réservoir faite sur les lignes sismiques retraitées et de l'extrapolation des diagraphies. La figure 1b montre l'impédance acoustique obtenue en sortie de l'inversion sismique.

Pour prédire la porosité totale, une relation statistique entre l'impédance acoustique et la porosité est dérivée des diagraphies. Cette relation illustrée sur la figure 1c montre que deux tendances peuvent être distinguées, l'une représentant le calcaire du Dogger et l'autre les marnes de l'encaissant. La représentativité de ces deux tendances signifie que la porosité peut être prédite avec confiance pour chacune des deux lithologies, en supposant que l'impédance est retrouvée avec précision à partir des données sismiques. Les deux tendances sont appliquées, dans leurs intervalles respectifs sur le volume d'impédance, pour obtenir la porosité totale (Figure 1d).

Les réservoirs géothermiques du Dogger du Bassin parisien correspondent à des sables carbonatés peu cimentés, organisés sous forme de lentilles convexes. Ces niveaux oolithiques sont situés dans la partie supérieure du Dogger. L'interprétation de la porosité obtenue permet d'identifier plusieurs structures à haute porosité avec une telle forme convexe comme illustré sur la figure 1d. La présence de ces corps de fortes porosités est confirmée par les puits qui les ont pénétrés, ce qui augmente la confiance dans le résultat de cette analyse QI. Sur l'image de porosité, on peut également observer que la partie inférieure du Dogger qui a un volume d'argiles plus élevé présente une porosité totale plus élevée. Comme la relation calcaire a été dérivée sur la partie supérieure du Dogger, la porosité peut être surestimée dans cette partie du réservoir. De plus, la forte porosité observée au sommet du Dogger est très probablement un artefact dû à une interprétation erronée du sommet du Dogger dans le modèle initial. Le manque de basses fréquences dans les données, ne permet pas à l'inversion de corriger cette mauvaise interprétation. Néanmoins, les résultats obtenus sont prometteurs et montrent que des informations pertinentes sur le réservoir peuvent être prédites à partir des données héritées disponibles. Par exemple, la connectivité potentielle entre les corps poreux adjacents pourrait être utilisée pour optimiser les trajectoires des futurs doublets de puits afin de maximiser la qualité du réservoir et le nombre de corps rencontrés.

3. RÉSULTATS

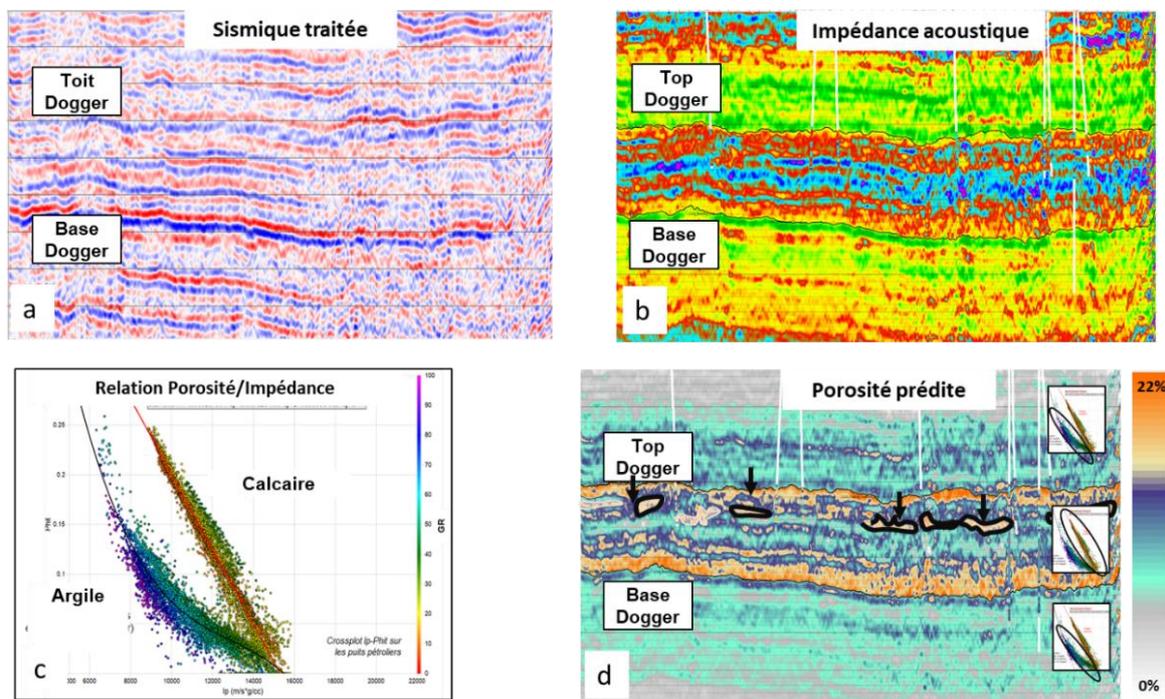


Figure 1 : Sismique retraitée, donnée d'entrée de l'inversion (a), impédance acoustique obtenue par inversion (b), relation entre l'impédance et la porosité dérivée des diagraphies de puits (c), porosité totale obtenue en combinant l'analyse des diagraphies et l'impédance acoustique (d). Des lentilles oolithiques convexes (tracés noirs indiqués par des flèches) peuvent être identifiées dans la partie supérieure du réservoir.

4. CONCLUSIONS

Ce travail a montré que les données de puits et de sismique réflexion acquises dans les années 80 peuvent aider à estimer les propriétés du Dogger du Bassin parisien loin des forages pour une fraction du coût d'une nouvelle acquisition sismique. La méthodologie proposée est couramment et directement applicable aux projets géothermiques. Il est important de traiter correctement les données sismiques ainsi que les diagraphies de puits pour garantir des résultats de bonne qualité. Malgré les incertitudes identifiées dans ce projet, les résultats obtenus sont en accord avec le concept géologique du réservoir et les informations des puits. Cette étude de cas montre que les données anciennes sont utiles pour minimiser les risques d'exploration pour le développement de l'énergie géothermique. Cependant, l'acquisition de données modernes avec une bande passante de fréquence plus large et un algorithme d'imagerie et d'inversion moderne devrait également être envisagée pour relever certains des défis évoqués.

BIBLIOGRAPHIE:

Mougenot D. [1999] Seismic imaging of a carbonate reservoir: the Dogger of the Villeperdue oil field, Paris Basin, France. *Petroleum Geoscience*, Vol. 5, 75-82. Martin, A., Dupierre, M. (2022). Le développement de la géothermie dans le Bassin Parisien, *Revue Géologues*, Vol 150, 23-29.