

Noyaux de Fréchet en amplitude pour la diffraction des ondes de Rayleigh : application au bruit sismique

Alexandre KAZANTSEV

Des enregistrements sismiques passifs présentent souvent une augmentation d'énergie spectrale au-dessus des réservoirs d'hydrocarbures (voir [2]). Nous disposons d'un tel jeu de données, acquis au-dessus d'un site de stockage de gaz naturel appartenant à Storengy (compagnie d'Engie) situé à 1000 m de profondeur. La bande spectrale amplifiée se trouve légèrement au-dessus de 1 Hz. Notre objectif final est d'interpréter physiquement cette anomalie et éventuellement de procéder à son inversion pour imager le réservoir.

Dans un premier temps, nous faisons l'hypothèse que le bruit ambiant à basse fréquence est principalement constitué d'ondes de Rayleigh de mode fondamental (hypothèse fréquente, quoique discutable, voir [4]). Sur la base de simulations numériques présentées l'an dernier, nous avons pu montrer qu'une onde de Rayleigh de mode fondamental interagissant avec une hétérogénéité en sub-surface pouvait générer un phénomène d'amplification localisé plus ou moins à la verticale de l'hétérogénéité, à condition d'avoir une profondeur de pénétration suffisante, et donc une fréquence suffisamment basse. Pour tenir compte de la diffraction lors de l'inversion des temps d'arrivée et des amplitudes des ondes de surface provenant des télé-sismes (voir [1]), les sismologues utilisent souvent l'approximation de Born. Nous adoptons la même approche, en gardant à l'esprit que seule l'information d'amplitude sera exploitée pour notre application.

L'approximation de Born est couplée à une expression exacte de la fonction de Green élastique avec surface libre et en champ proche (donnée dans [3]). Un modèle semi-analytique construit de cette manière pour un milieu homogène donne des sismogrammes cohérents avec la simulation numérique à la fois en temps et en amplitude pour des contrastes au niveau du réservoir inférieurs à 25 %. L'approximation de Born sous-estime progressivement l'amplitude de l'anomalie au-delà de cette valeur. Forts de ce résultat, nous construisons des noyaux de sensibilité (dits de Fréchet, voir [5]) qui permettent de savoir quelles sont les zones du sous-sol qui influencent le plus l'amplitude enregistrée par un récepteur dans un milieu de référence donné. Ces noyaux de sensibilité découlent directement de la formulation de l'approximation de Born. La disponibilité de la solution numérique en tout point de l'espace permet le calcul des noyaux de sensibilité dans des milieux de référence complexes où aucune solution analytique n'est disponible.

Ce travail montre la faisabilité de la méthode, mais l'exploration des différents milieux de référence possibles reste à faire. Ce modèle purement élastique a tendance à prédire des anomalies de l'ordre de 10% pour des contrastes élastiques raisonnables, ce qui est inférieur aux observations de terrain (de l'ordre de 100%). Des effets visco- et poro-élastiques pourraient être introduits dans la suite, en simulation numérique pour tenter d'améliorer le modèle.

Références :

- [1] K. Liu et Y. Zhou, « Travelling-wave Green tensor and near-field Rayleigh-wave sensitivity », *Geophysical Journal International*, vol. 205, n° 1, p. 134-145, avr. 2016.
- [2] M.-A. Lambert, « Characterization of ambient ground-motion using spectral analysis techniques », Diss., Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 19047, 2010, 2010.
- [3] E. Kausel, *Fundamental Solutions in Elastodynamics: A Compendium*. Cambridge University Press, 2006.
- [4] S. Bonnefoy-Claudet, F. Cotton, et P.-Y. Bard, « The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies », *Earth-Science Reviews*, vol. 79, n° 3-4, p. 205-227, déc. 2006.
- [5] F. A. Dahlen, S.-H. Hung, et G. Nolet, « Fréchet kernels for finite-frequency traveltimes—I. Theory », *Geophysical Journal International*, vol. 141, n° 1, p. 157-174, 2000.