

MÉTHODES SISMIQUES POUR LA DÉTECTION DE DIFFÉRENTS NIVEAUX DE NAPPE DANS DES AQUIFÈRES SUPERFICIELS

PASQUET S.¹, BODET L.¹, DHEMAIED A.², MOUHRI A.^{1,3}, VITALE Q.¹,
REJIBA F.¹, FLIPO N.³, GUÉRIN R.¹

¹ Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, UMR 7619 METIS, F-75005 Paris, France, sylvain.pasquet@upmc.fr

² École des Ponts ParisTech, UMR 8205 CERMES, F-77420 Champs-sur-Marne, France, dhemaiea@cermes.enpc.fr

³ Mines ParisTech, Centre de Géosciences, F-77300 Fontainebleau, France, nicolas.flipo@mines-paristech.fr

RÉSUMÉ

L'étude conjointe des vitesses de propagation des ondes de compression (P) et de cisaillement (S) (V_p et V_s) a été proposée dans un système aquifère multicouche, bien contraint grâce à des données de tomographie de résistivité électrique, de forages et piézométriques. Les ondes P et de surface ont été enregistrées simultanément avec un dispositif d'acquisition unique. Une acquisition en ondes SH a également été réalisée sur la même ligne afin de comparer systématiquement les modèles de V_s obtenus avec l'interprétation en réfraction des ondes SH et l'inversion de la dispersion des ondes de surface. Les modèles 1D de V_s obtenus grâce à l'inversion de la dispersion des ondes de surface sont remarquablement similaires à ceux obtenus avec l'interprétation en réfraction. Les rapports V_p/V_s calculés à partir des résultats des deux méthodes ont révélé un fort contraste à une profondeur correspondant au niveau de la nappe, confirmant les performances de cet outil pour la détection des niveaux de nappe.

Mots clés : méthodes sismiques, hydrogéologie, ondes de surface, rapport V_p/V_s

ABSTRACT

SEISMIC METHODS FOR DETECTING DIFFERENT WATER TABLE LEVELS IN SHALLOW AQUIFERS

The combined study of pressure- (P) and shear- (S) wave velocities (V_p and V_s) was proposed in a multilayer aquifer system, well-constrained by electrical resistivity tomography, log and piezometer data. P- and surface waves were recorded simultaneously with a single acquisition setup. The survey was supplemented with a SH-wave acquisition along the same line to systematically compare V_s models obtained from SH-wave refraction interpretation and surface-wave dispersion inversion. 1D V_s models obtained with surface-wave dispersion inversion are remarkably similar to those obtained from the refraction interpretation. V_p/V_s ratios calculated from the results of both methods showed a

strong contrast at a depth corresponding to the water table level, confirming the good performance of this tool for detecting water table levels.

Key words: *seismic methods, hydrogeology, surface waves, V_p/V_s ratio*

.1 INTRODUCTION

Parmi les méthodes géophysiques appliquées à l'hydrogéologie, la prospection sismique est souvent confinée à la caractérisation de la géométrie des aquifères. Elle est fréquemment utilisée pour la détection du toit de la nappe (BACHRACH et NUR, 1998) dans des aquifères « simples » (*i.e.* matériaux homogènes et consolidés, perméabilité élevée), lorsque la surface piézométrique est considérée comme une interface du milieu (nappe libre). Mais la réponse sismique, en présence de telles interfaces et plus généralement dans le contexte de la caractérisation de la zone critique et des systèmes aquifères, reste complexe. L'interprétation des vitesses estimées est souvent délicate à cause de leur variabilité en fonction de la lithologie de l'aquifère (paramètres mécaniques intrinsèques et géométrie des milieux poreux le constituant, influence du degré de saturation etc.).

L'étude conjointe des vitesses de propagation des ondes de compression (P) et de cisaillement (SH) (respectivement V_p et V_s) peut toutefois fournir des informations sur les paramètres de l'aquifère, comme cela est communément pratiqué pour la plupart des fluides dans l'exploration pétrolière. Le comportement de V_p et V_s étant fortement découplé en présence de fluide, l'étude du rapport V_p/V_s permet de différencier les variations de vitesses liées à la lithologie de celles liées à la présence d'une nappe. De récentes études montrent en effet que l'évaluation de ce rapport peut être pratiquée de manière systématique grâce à la tomographie sismique en réfraction en utilisant parallèlement ondes P et S (GRELLE et GUADAGNO, 2009). Mais d'un point de vue pratique, la mesure de V_s reste délicate à mettre en œuvre car les ondes S sont souvent difficiles à générer et à identifier sur les enregistrements sismiques. Une alternative peut-être proposée par l'estimation indirecte de V_s à partir de l'inversion de la dispersion des ondes de surface, omniprésentes dans la majorité des enregistrements sismiques classiques (réflexion, réfraction). Cette approche a été récemment proposée dans des aquifères de sable grâce à l'estimation des rapports V_p/V_s , en utilisant les vitesses V_s obtenues à partir de l'inversion de la dispersion des ondes de surface (KONSTANTAKI et al., 2013).

.2 SITE D'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE

Afin de répondre à ces questions dans des systèmes aquifères plus complexes (p. ex. milieux non consolidés, hétérogènes ou à faible perméabilité), des mesures sismiques ont été effectuées sur un site caractérisé par un système aquifère multicouches, bien contraint (MOUHRI et al., 2013) grâce à des résultats de tomographie de résistivité électrique, des informations de forages et des données

piézométriques (cf. Fig. 1). Les mesures ont été répétées à deux reprises, en périodes de hautes eaux (HE, mars 2013) puis de basses eaux (BE, août 2013). Les ondes P et de surface ont été enregistrées simultanément avec un dispositif d'acquisition unique. Une acquisition en ondes SH a également été réalisée sur la même ligne afin de comparer systématiquement les modèles de V_s obtenus grâce à l'interprétation en réfraction des premières arrivées des ondes SH et l'inversion de la dispersion des ondes de surface.

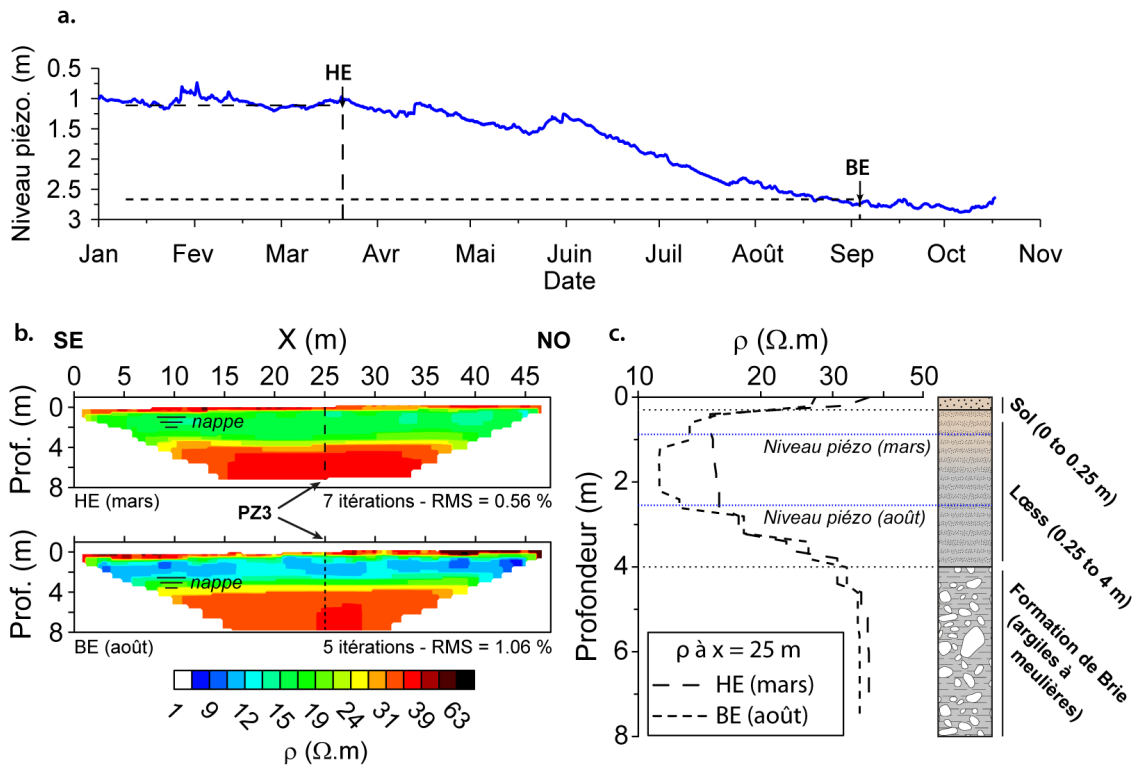


Fig. 1 - (a) Niveau piézométrique mesuré dans PZ3 du 1er janvier au 17 octobre 2013. (b) Valeurs de résistivité électrique (ρ) interprétées à partir de tomographies de résistivité électrique obtenues aux périodes de hautes eaux (HE) et basses eaux (BE). (c) Log géologique et résistivités électriques interprétées à l'aplomb de PZ3.

.3 RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

Une interprétation simple des premières arrivées P et SH en modèle tabulaire a fourni des modèles 1D de vitesse V_p et V_s en très bon accord avec la stratification interprétée à partir des données d'ERT et de forages. Les modèles 1D de V_s obtenus avec l'inversion de la dispersion des ondes de surface sont remarquablement similaires à ceux obtenus à partir de l'interprétation en réfraction (cf. Fig. 2a et 2d). Le recalcul des courbes de dispersion théoriques à partir des deux différents modèles de vitesses V_s a fourni des résultats en très bon accord avec les images de dispersion obtenues (cf. Fig. 2c et 2f).

Le recalcul s'est avéré être un outil particulièrement fiable pour valider les modèles 1D de V_s obtenus à partir des deux méthodes. Les rapports V_p/V_s

calculés à partir des résultats des deux méthodes (cf. Fig. 2b et 2e) ont révélé un fort contraste à une profondeur correspondant au niveau de la nappe, confirmant les performances de cet outil pour la détection des niveaux de nappe.

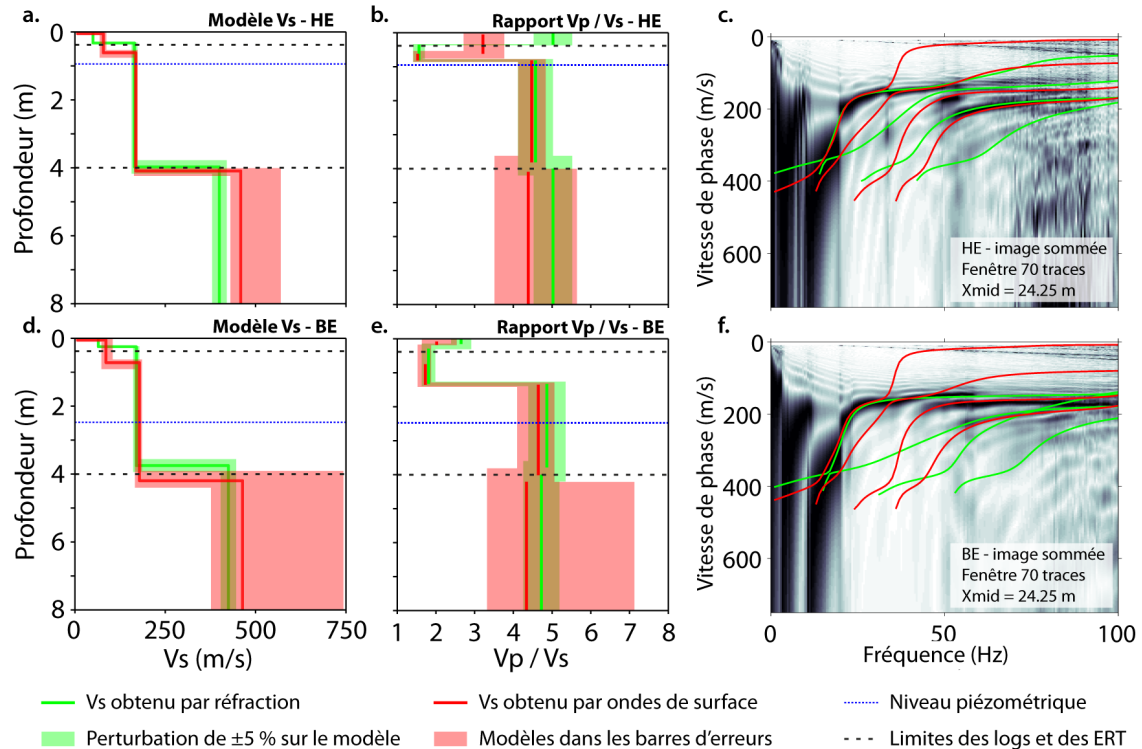


Fig. 2 – Modèles V_s (a, HE et d, BE) obtenus par réfraction en ondes SH (en vert) et inversion de la dispersion des ondes de surface (en rouge). Rapport V_p/V_s (b, HE et e, BE) et courbes de dispersion théoriques (c, HE et f, BE) calculés à partir des modèles V_s obtenus par réfraction en ondes SH (en vert) et inversion de la dispersion des ondes de surface (en rouge).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BACHRACH, R., NUR, A., 1998. High-resolution shallow-seismic experiments in sand, Part I: Water table, fluid flow, and saturation. *Geophysics* 63(4), 1225–1233.
- GRELLE, G., GUADAGNO, F.M., 2009. Seismic refraction methodology for groundwater level determination: “Water seismic index”. *J. App. Geophys.* 68(3), 301–320.
- KONSTANTAKI, L., CARPENTIER, S., GAROFALO, F., BERGAMO, P., SOCCO, L.V., 2013. Determining hydrological and soil mechanical parameters from multichannel surface-wave analysis across the Alpine Fault at Inchbonnie, New Zealand. *Near Surf. Geophys.* 11(4), 435–448.
- MOUHRI, A., FLIPO, N., REJIBA, F., DE FOUQUET, C., BODET, L., KURTULUS, B., TALLEC, G., DURAND, V., JOST, A., ANSART, P., GOBLET, P., 2013. Designing a multi-scale sampling system of stream–aquifer interfaces in a sedimentary basin. *J. Hydrol.* 504, 194–206.