

Introduction

J.-L. Mari, C. Vergnault

En géophysique d'exploration pétrolière ou d'étude de réservoir, la méthode la plus utilisée pour obtenir un modèle du sous-sol est la méthode sismique. Cette méthode prend une part de plus en plus importante dans les reconnaissances de sol pour des études géotechniques, hydrogéologiques ou de caractérisation de site vis-à-vis des problématiques d'aléa sismique (Mari *et al.*, 1998).

La méthode sismique de surface comprend :

- la sismique réfraction (ondes P ou S) qui fournit un modèle de vitesse du sous-sol. Cette méthode, appliquée aux ondes P, est très couramment employée en géotechnique, afin de suivre l'évolution de la position du substratum, ainsi que les évolutions longitudinales de son état physique ou de celui de sa couverture (voir *Guide Sismique réfraction*, Les Cahiers de l'AGAP, O. Magnin, Y. Bertrand, 2005).
- La sismique réflexion, méthode d'échographie du sous-sol à 2 ou 3 dimensions, fournit en premier lieu une image des contrastes d'impédance acoustique du sous-sol. En fonction des moyens mis en œuvre, la profondeur d'investigation

Ce chapitre de l'ouvrage *Sismique en forage et diagrapies acoustiques* est publié en Open Access sous licence creative commons CC-BY-NC-ND permettant l'utilisation non commerciale, la distribution, la reproduction du texte, sur n'importe quel support, à condition de citer la source.

© EDP Sciences, 2018

DOI: 10.1051/978-2-7598-2262-1.c002

peut atteindre la centaine de mètres jusqu'à plusieurs milliers de mètres. En revanche, la méthode n'est pas performante dans les 20 à 50 premiers mètres.

- La sismique en ondes de surface (*Multiple Analysis of Surface Waves*, MASW), par l'analyse de la vitesse de phase des ondes de Rayleigh ou Love dans le domaine fréquentiel (diagramme de dispersion), va permettre de calculer l'évolution de la vitesse des ondes de cisaillement (V_S) des premières dizaines de mètres du sous-sol. Cette méthode est de plus en plus employée en géotechnique en combinaison avec la méthode de sismique réfraction, afin de déterminer le module de cisaillement.

La résolution verticale de toutes les méthodes géophysiques de surface se dégrade en fonction de la profondeur investiguée. Pour obtenir un modèle précis des paramètres sismiques (vitesses de propagation des ondes P (V_P) et des ondes S (V_S), densité) du sous-sol, et ce en profondeur, les géophysiciens utilisent des données de forage telles que celles fournies par la sismique de puits et la diagraphie acoustique, notamment pour réaliser un calage et une calibration en profondeur des mesures de surface. De plus, le traitement permet de fournir à la fois un modèle en vitesse de propagation des ondes (ondes P et S) et un modèle en densité, comme les exemples présentés à la fin de cette introduction.

Les exemples présentés en figure 1 sont extraits de sismiques 3D. Celui de la figure 1a est un exemple de proche surface (Mari et Porel, 2007). La distribution des vitesses P a été obtenue par sismique réfraction (tomographie) pour la très proche surface (jusqu'à 30 m de profondeur) et par sismique réflexion (inversion acoustique) pour les horizons sismiques profonds (entre 20 et 120 m). Ce premier exemple fera l'objet de l'étude de cas présentée au chapitre 5. Il est à noter qu'une approche similaire pourrait être faite en combinant la méthode MASW et la méthode sismique en ondes S. Les figures 1b, 1c et 1d sont issues du traitement d'une campagne sismique réflexion tirée pour imager des horizons jusqu'à 1 500 m de profondeur (Mari et Yven, 2014). Les distributions de vitesse (V_P et V_S) et de densité ont été obtenues par inversion élastique.

Les exemples de cette introduction permettent déjà de mettre le doigt sur le fait que les méthodes sismiques de surface et de puits combinées avec des méthodes acoustiques peuvent être utilisées avec fruit pour estimer des modules mécaniques (coefficient de Poisson, modules de cisaillement et de Young...). L'objectif de cet ouvrage est d'illustrer que les démarches appliquées en géophysique d'exploration profonde, combinant différentes méthodes sismiques et diagraphiques, peuvent se décliner pour certaines reconnaissances géotechniques, hydrogéologiques ou des caractérisations de site dans le cadre d'études d'aléa sismique.

Dans le but de présenter certaines de ces démarches et leurs applications pour des reconnaissances de la proche surface (< 150 m), l'ouvrage est composé de cinq chapitres.

- Le premier chapitre est consacré à l'état de l'art du domaine géotechnique concernant les mesures en forage des vitesses de cisaillement du sous-sol. Il montre l'intérêt de combiner différentes méthodes : mesure de sismique de puits de type Profil Sismique Vertical (PSV) en onde S_H généralement nommée downhole, transmission entre forages généralement nommée crosshole, diagraphie acoustique de type dipôle (PSSL).

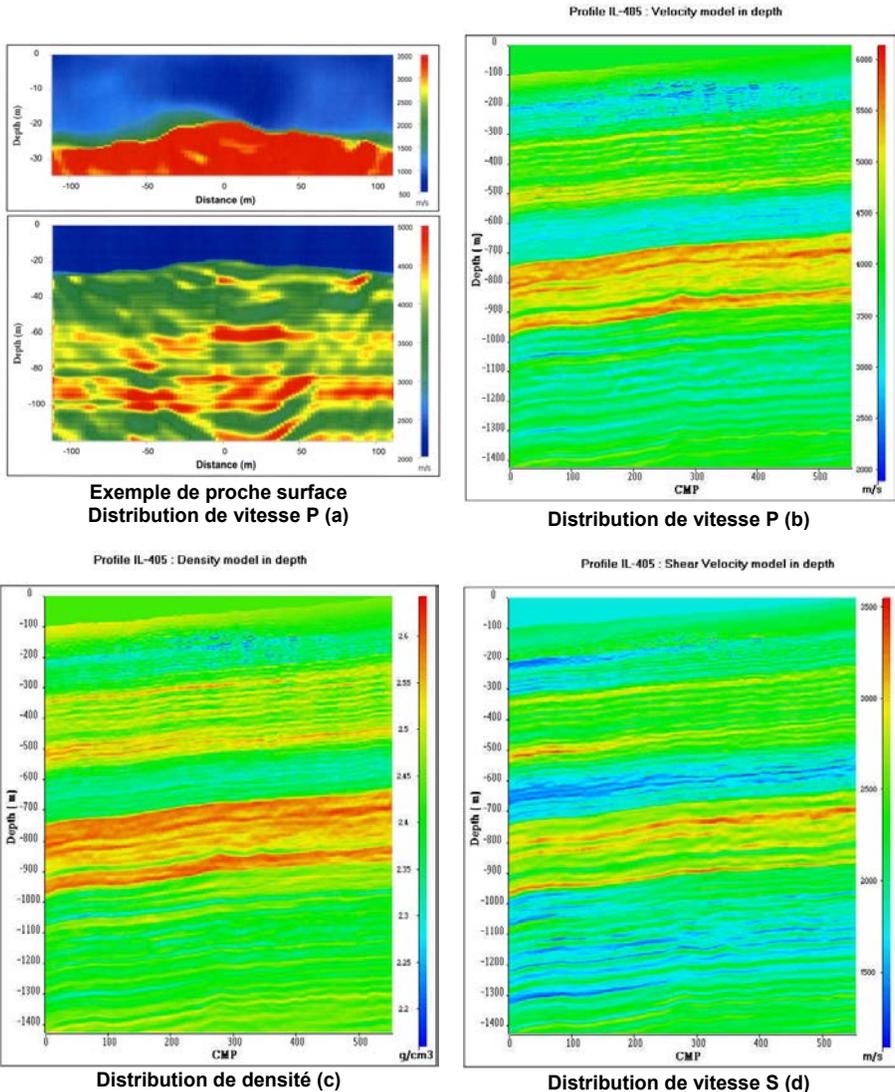


Figure 1 Distributions de vitesse et de densité obtenues par sismique ; a : exemple de proche surface ; b, c, d : exemple de type pétrolier.

- Le deuxième chapitre est consacré à la sismique de puits. Il décrit la procédure de mise en œuvre, les moyens d'acquisition (sources et capteurs) utilisés dans le domaine du génie civil, les différents types d'ondes qui composent les enregistrements de sismique de puits (ondes de volume et modes guidés), les séquences de traitement. Pour plus d'information, le lecteur est invité à consulter l'ouvrage *Sismique de puits*, de J.-L. Mari et F. Coppens (2000, Éditions Technip).

- Le troisième chapitre est consacré à la diagraphie acoustique en champs total et à ses principales applications dans le domaine du génie civil. Il décrit sommairement : les outils de diagraphie (logging) mis en œuvre (outil monopôle ou dipôle), les différents types d'ondes qui composent un enregistrement acoustique, l'apport des mesures acoustiques à la description des formations géologiques (paramètres mécaniques). L'apport des ondes de Stoneley pour l'estimation des vitesses S des formations et la détection des zones fracturées y est discuté. Il montre également comment la diagraphie acoustique peut être utilisée pour évaluer la qualité de la cimentation d'un forage.
- Le quatrième chapitre montre l'intérêt de combiner les mesures de vitesse des formations fournies par les outils de puits de type PSV et les outils acoustiques (soniques). Il montre sur un exemple de proche surface la méthode de calage entre le sonique et les tirs de contrôle (PSV), conduisant à l'obtention d'une loi temps-profondeur, calée sur la sismique et utilisée pour le passage en temps des diagraphies et le calcul des sismogrammes synthétiques.
- Le cinquième chapitre est une étude de cas intégré d'un aquifère calcaire karstifié, relativement proche de la surface (de 20 à 130 m). On montre comment une description multi-échelle du réservoir peut être réalisée en intégrant les informations fournies par différentes méthodes sismiques de surface 3D-THR, diagraphies acoustiques en champ total, PSV avec hydrophones, imageries de paroi et mesures de débitmétrie.

***Note :** Dans le domaine pétrolier, le terme puits est couramment employé pour un forage. Cette notion n'est pas adaptée à la géotechnique où les forages sont des ouvrages de reconnaissance et non de production. Dans ce livre, on conservera donc le terme puits pour toutes les descriptions en lien avec un transfert de technologie du monde pétrolier vers la géotechnique. En revanche, le terme forage sera employé pour les descriptions en lien avec des méthodes courantes en géotechnique.*

Références

- Mari J.L, Arens G., Chapellier D., Gaudiani P., 1998, *Géophysique de gisement et de génie civil*. Éditions Technip, Paris.
- Mari J.L., Porel G., 2007, 3D seismic imaging of a near – surface heterogeneous aquifer: a case study, *Oil and Gas Science and Technology, Rev IFP* 63, 179-201. Doi: 10.2516/ogst/2007077.
- Mari J.L., Yven B., 2014, The application of high-resolution 3D seismic data to model the distribution of mechanical and hydrogeological properties of a potential host rock for the deep storage of radioactive waste in France, *Marine and Petroleum Geology* 53, 133-153.