

ÉVALUATION DES VARIATIONS SPATIALES DES PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES DES SOLS À L'AIDE DU RADAR DE SOL.

HOUZÉ C.¹, SAINTENOY A.¹, PANNECOUKE L.², LE COZ M.³, DE FOUQUET C.²

¹ GEOPS, Univ. Paris-Sud, CNRS, Université Paris-Saclay, Rue du Belvédère, Bât. 504-509, 91405 Orsay, France, clemence.houze@u-psud.fr

² MINES ParisTech, PSL University, Centre de géosciences, 35 rue St Honoré, 77300 Fontainebleau, France.

³ Institut de Radioprotection et Sûreté Nucléaire (IRSN)

RESUME

L'extension d'une zone de contamination à l'aplomb d'un déversement de polluant dépend fortement de l'hétérogénéité des paramètres hydrodynamiques du sous-sol. Afin de quantifier ces paramètres in situ, une méthode hydro-géophysique consiste à inverser des données radar de sol acquises lors d'une infiltration d'eau de type Porchet. Cette technique est déployée sur une sablière près d'Auffargis (78) afin de caractériser les variations spatiales des paramètres hydrodynamiques sur plusieurs dizaines de mètres. Les mesures, effectuées sur du sable de Fontainebleau à première vue homogène, mettent cependant en évidence des hétérogénéités spatiales des propriétés hydrodynamiques.

Mots clés : Radar de sol, hétérogénéités paramètres hydrodynamiques, infiltration.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE SPATIAL VARIATIONS OF THE HYDRODYNAMIC PARAMETERS OF SOILS WITH GPR

The dimensions of a contamination plume resulting from a pollutant spill depend strongly on the heterogeneity of the hydrodynamic parameters of the soil. In order to quantify these parameters in situ, a hydro-geophysical method consists of inverting radar data acquired during a Porchet water infiltration. This technique is tested on a sandpit near Auffargis (78) in order to characterize the spatial variations of the hydrodynamic parameters over tenths of meters. The measurements carried out over a homogeneous Fontainebleau sand layer, reveal heterogeneities in the hydrodynamical properties.

Key words: Ground Penetrating Radar, hydrodynamical parameter heterogeneity, infiltration.

.1 INTRODUCTION

Cette étude est réalisée dans le cadre du projet Kri-Terres soutenu par l'ANDRA et porté par ARMINES, l'IRSN et GEOPS. L'objectif de ce projet est de coupler les méthodes de terrain et les méthodes géostatistiques afin de prévoir l'extension spatiale de panaches de pollution consécutive à des fuites ou des déversements liquides. Ce problème est particulièrement intéressant dans le cadre de démantèlement de centrales nucléaires, souvent implantées sur des alluvions de rivières ou des remblais industriels. Ces milieux présentent de fortes hétérogénéités spatiales de granulométrie.

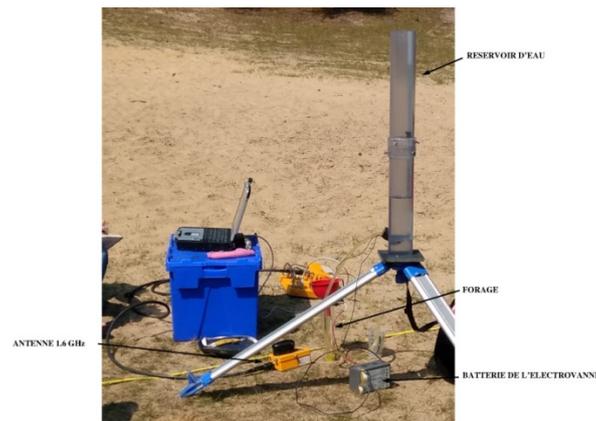


Fig. 1 – Dispositif expérimental

Une méthode développée récemment utilise des mesures statiques de radar de sol au cours de tests d'infiltrométrie de type Porchet pour estimer les paramètres hydrodynamiques de sols de faible conductivité électrique (SAINTENOY et al., 2008; LÉGER et al., 2016). Le code SWMS-2D (ŠIMUNEK et al., 1994) est utilisé pour calculer les distributions de teneur en eau aux différents pas de temps de l'infiltration d'eau de manière tri-dimensionnelle axi-symétrique, à charge constante dans des forages de faibles profondeurs. Les teneurs en eau sont converties en paramètres électromagnétiques en utilisant des relations pétrophysiques, et leurs distributions sont entrées dans le logiciel GprMax (WARREN et al., 2016) qui simule les radargrammes. L'algorithme SCE-UA (DUAN et al., 1992) est utilisé pour optimiser les paramètres de Mualem-van Genuchten en ajustant les temps d'arrivée des ondes électromagnétiques enregistrées par le radar de sol.

Cette méthode est intéressante pour notre problème car seules 10 minutes de mesures d'infiltration sont nécessaires. La répétition des mesures à différentes localisations d'un site est alors envisageable et permettra d'obtenir de l'information sur les variations spatiales des paramètres hydrodynamiques.

.2 MATERIELS ET METHODES

Nous avons déployé la méthode hydro-géophysique sur une ancienne sablière près d'Auffargis (78). La mesure de type Porchet a été répétée 14 fois, tous les dix mètres le long d'un profil de 70 m et tous les 5 mètres le long d'un profil perpendiculaire de 25 m. Le temps d'acquisition est de 6 minutes. Chaque infiltration a été faite dans un trou de tarière de profondeur 30 ou 40 cm et de diamètre 4 cm, avec une charge constante de 10 cm. Nous avons utilisé un radar de sol (système Malå) muni d'antennes de fréquence 1.6 GHz, leur centre placé à 20 cm du centre du trou (**Fig. 1**). Deux mesures d'infiltration TRIMS (COQUET et al., 2000) ont été faites pour comparaison. Des échantillons ont été prélevés au fond de chaque trou pour des analyses granulométriques et des mesures de teneur en eau au laboratoire. L'ensemble de ces mesures a nécessité une journée à 4 personnes.

Au cours du temps d'infiltration, un bulbe se développe autour du trou dont la géométrie et l'évolution dépendent fortement des paramètres hydrodynamiques du sol. L'onde électromagnétique se réfléchit sur la surface du bulbe, mais est aussi renvoyée après avoir parcouru toute sa surface, provoquant l'apparition de deux réflexions sur le radargramme (**Fig. 2**). Les temps d'arrivées de ces réflexions sont inversés pour déterminer les propriétés hydrodynamiques en utilisant un code développé sous Python.

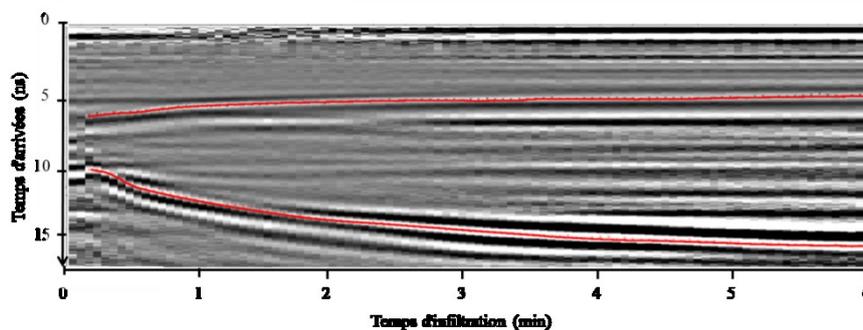


Fig. 2 – Exemple de radargramme obtenu durant une infiltration. L'onde réfléchie est en haut et l'onde renvoyée après avoir parcourue la surface est en bas

.3 RESULTATS

La conductivité hydraulique K calculée à partir du suivi du volume infiltré au cours du temps est présentée **Fig. 3a**. Sur les 7 courbes présentées, deux groupes possédant des valeurs de K différentes sont visibles : 0,5 et 1 cm/min. Ces valeurs sont en accord avec les mesures de TRIMS : 0,4 et 0,8 cm/min. Les variations des temps d'arrivée de l'onde réfléchie faisant le tour du bulbe (**Fig. 2**) sont présentées sur la **Fig. 3b**. Une analyse de sensibilité de l'allure de ces courbes en fonction des paramètres hydrodynamiques a été effectuée et démontre

que les différences observées correspondent à des jeux de paramètres distincts. Ainsi, malgré l'apparente homogénéité du terrain étudié (sable de Fontainebleau), les mesures mettent en évidence des variations dans les propriétés hydrodynamiques le long d'un profil de plusieurs dizaines de mètres. Ces données sont en cours d'inversion afin de retrouver les paramètres hydrodynamiques correspondants.

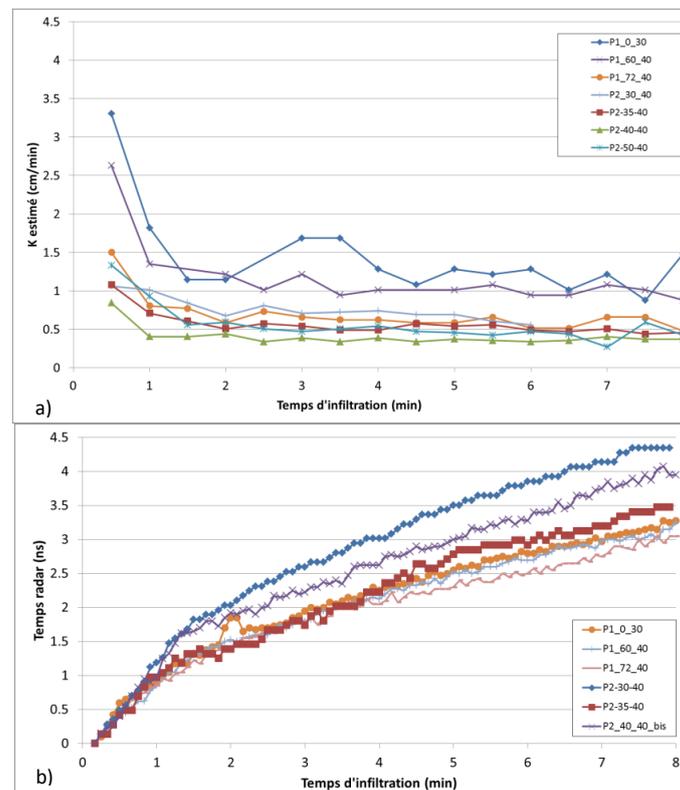


Fig. 3 – a) Conductivité hydraulique K, et b) temps d'arrivée de l'onde réfléchié faisant le tour du bulbe, au cours du temps d'infiltration

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

COQUET, Y., BOUCHER, A., LABAT, C., VACHIER, P., ROGER-ESTRADE, J., 2000 – Caractérisation hydrodynamique des sols à l'aide de l'infiltromètre à disques. *Etudes et Gestion des Sols*, 2000, vol. 7, p. 7-24.

DUAN Q., SOROOSHIAN S., GUPTA V.K., 1994 – Optimal use of SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. *J. of Hydrol.*, 158, 265-284.

LÉGER E., SAINTENOY A., TUCHOLKA P., COQUET, Y., 2016 – Hydrodynamic Parameters of a Sandy Soil Determined by Ground-Penetrating Radar Monitoring of Porchet Infiltrations. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 9, no 1, p. 188-200.

SAINTENOY A., SCHNEIDER S., TUCHOLKA P., 2008 – Evaluating ground penetrating radar use for water infiltration monitoring. *Vadose zone journal*, vol. 7, no 1, p. 208-214.

ŠIMUNEK, J., VOGEL, T., VAN GENUCHTEN, M. T., 1994 – The SWMS-2D Code for Simulating Water Flow and Solute Transport in Two-dimensional Variably Saturated Media, Version 1.21. *US Salinity Laboratory, Riverside, CA*, 1994.

WARREN C., GIANNOPOULOS A., GIANNAKIS I., 2016 – gprMax: Open source software to simulate electromagnetic wave propagation for Ground Penetrating Radar. *Computer Physics Communications*, 2016, vol. 209, p. 163-170.