

## FUSION DE DONNEES GEOPHYSIQUES ET GEOTECHNIQUES PAR L'UTILISATION DES FONCTIONS DE CROYANCE

DEZERT T.<sup>1,2</sup>, FARGIER Y.<sup>2,3</sup>, PALMA-LOPES S.<sup>1</sup>, COTE P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IFSTTAR, GERS, GeoEND, 44344 Bouguenais, France, *theo.dezert@ifsttar.fr*

<sup>2</sup> Cerema Direction territoriale Normandie-Centre, 41000 Blois, France

<sup>3</sup> Univ Lyon, IFSTTAR, GERS, RRO, 69675 Bron, France

### **RÉSUMÉ**

*Nous proposons d'utiliser la fusion de données, en particulier la règle de Smets et de PCR6, pour combiner des informations géophysiques et géotechniques et ainsi améliorer la reconnaissance de la subsurface. Ici, nous testons ces approches sur des données synthétiques et mettons en évidence leur capacité à caractériser la présence d'une interface horizontale et d'une lentille sableuse.*

*Mots clés : Géophysique, géotechnique, fonctions de croyance, fusion de données*

### **ABSTRACT**

#### **USE OF BELIEF FUNCTIONS FOR GEOPHYSICAL AND GEOTECHNICAL DATA FUSION**

*We propose the use of Smets and PCR6 combination rules to merge geophysical and geotechnical data and thus improve the characterization of the subsurface. Here, we test these approaches on synthetic data and highlight their ability to characterize the presence of a horizontal interface and a sandy lens..*

*Key words: Geophysics, geotechnical testing, belief functions, data fusion*

### **.1 INTRODUCTION**

Les méthodes de reconnaissance géophysiques et géotechniques sont souvent conjointement utilisées pour l'investigation du sous-sol. Les méthodes géophysiques sont non intrusives et fournissent des informations physiques sur de grands volumes de sous-sol avec d'importantes incertitudes associées. Ces incertitudes sont notamment dues aux aspects indirects et intégrant des méthodes ainsi qu'à la résolution des problèmes inverses. Les méthodes de reconnaissance géotechniques sont quant à elles intrusives et fournissent une information plus fiable mais ponctuelle. Une question importante concerne notre capacité à combiner ces deux types de données en tenant compte de leurs incertitudes, imprécisions et distributions spatiales respectives. Dans ce travail, nous suggérons l'utilisation des fonctions de croyance (ou Belief Functions, BF) afin de fusionner des données géophysiques (résistivités électriques, RE) et géotechniques (résistance de pointe, RP) pour montrer leur capacité à dissocier trois ensembles de sols. Concernant le formalisme des BF, nous renvoyons le lecteur vers Shafer

(1976) qui les a introduites. L'utilisation des BF's nécessite: (1) de sélectionner un cadre de discernement (ou Frame of Discernment, FoD) du problème considéré, (2) de déterminer les masses de croyances (Basic Belief Assignments, BBAs) à partir des données disponibles et (3) de choisir une règle de combinaison.

## 2 CONSTRUCTION DU FOD ET DES BBAS

Ici, nous considérons trois classes de sols distincts  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  et  $\theta_3$  à identifier. Comme le FoD,  $\Theta$ , doit consister d'un ensemble d'hypothèses exhaustives et exclusives, nous utilisons une quatrième classe  $\theta_4$  recouvrant les caractéristiques physiques non incluses dans les trois premiers ensembles. Le FoD est commun aux deux sources d'informations. Nous utilisons  $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4\}$ . La construction des BBAs pour chaque source d'information consiste à affecter une masse de croyance  $m(.)$  à chaque hypothèse de  $\Theta$ . L'espace des fonctions de masse  $m$  est fixé par toutes les disjonctions possibles des hypothèses de  $\Theta$ , on le note  $2^\Theta$ .

### 2.1. Construction des BBAs associées aux données géophysiques

Nous proposons d'utiliser les RE comme données géophysiques. Nous considérons deux couches de sol: une couche conductrice supérieure ( $10 \Omega.m$ ) représentant des argiles (Palacky et West, 1987) et une couche sous-jacente plus résistive ( $10^2 \Omega.m$ ) représentant des limons. Une anomalie très résistive ( $10^3 \Omega.m$ ) représentant une lentille sableuse de 10,5 m de haut et 21,25 m de large est positionnée entre ces deux premiers milieux. Nous associons ensuite les classes de RE à des sols spécifiques appartenant à  $\Theta$  :  $\theta_1 = [5, 20]$ ,  $\theta_2 = [50, 2.10^2]$ ,  $\theta_3 = [5.10^2, 2.10^3]$  et  $\theta_4 = [1, 5[ \cup ]20, 50[ \cup ]2.10^2, 5.10^2[ \cup ]2.10^3, 10^4]$ . Nous utilisons le logiciel gratuit Res2Dmod (Loke, 2002) pour simuler l'acquisition de données bruitées à partir d'un modèle fixé (Fig. 1a) puis nous utilisons le logiciel Res2Dinv (Loke et Barker, 1996) pour obtenir la section de RE inversée comme on l'obtiendrait à partir de données de terrain (Fig. 1b).

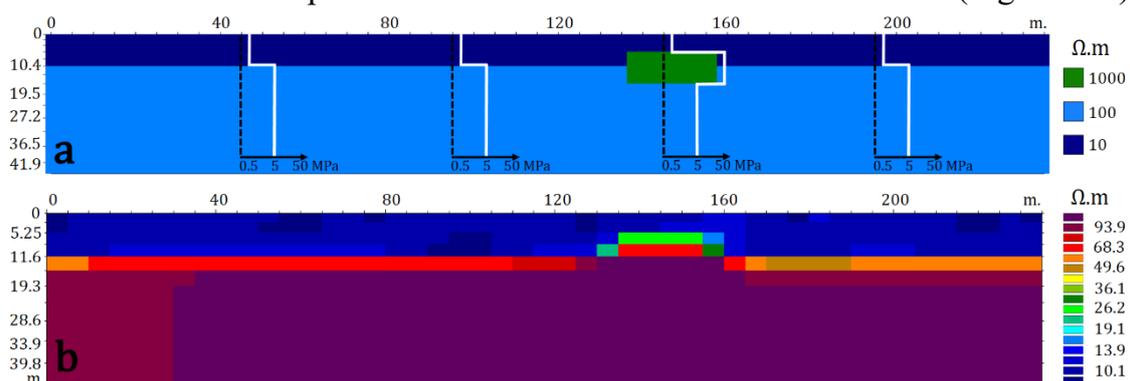


Fig. 1 – Section 2D du sous-sol présentant (a) les RE vraies avec les positions de forage (pointillés) et les RP (blanc) (b) les RE inversées.

La distinction entre les argiles et les limons peut facilement être faite alors que la détection de la lentille n'est pas évidente. Nous utilisons finalement la grille de discrétisation de Res2Dinv pour la BBA  $m_1(.)$  correspondant à chaque événement

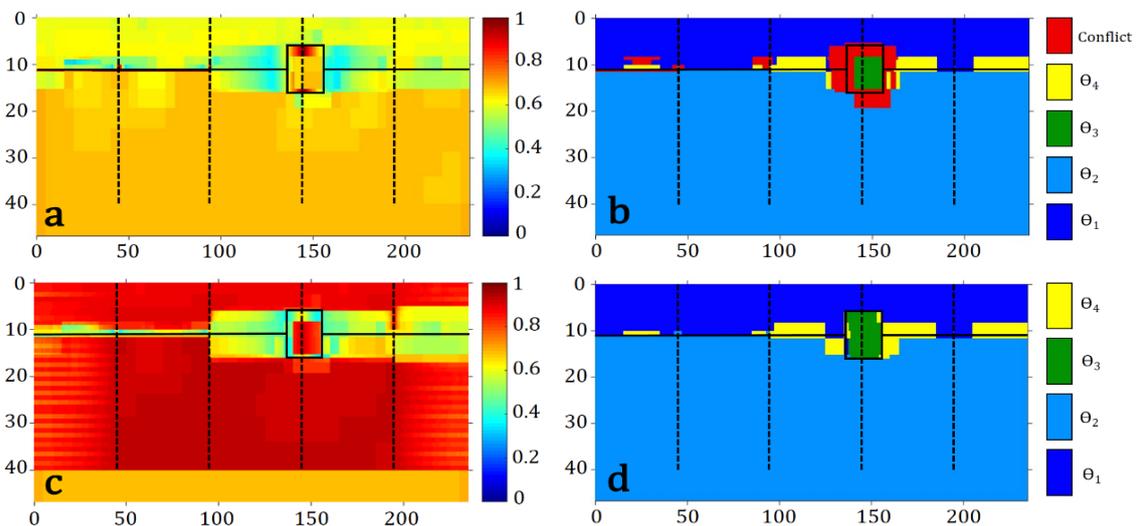
de  $2^\theta$ . Les valeurs des masses sont définies en utilisant les distances de Wasserstein calculées entre une valeur de RE inversée  $\pm$  son imprécision issue du processus d'inversion et l'intervalle correspondant à chaque hypothèse, de sorte qu'une BBA normalisée soit attribuée à chaque cellule de la grille.

## 2.2. Construction des BBAs associées aux données géotechniques

Les données géotechniques utilisées sont des valeurs de RP (MPa). Nous simulons une acquisition à partir de 4 forages de 40 m, espacés de 50 m, avec acquisition tous les mètres verticalement (Fig. 1a). L'un des forages est positionné de sorte à traverser la lentille sableuse. Nous considérons l'attribution suivante d'intervalles de RP:  $\theta_1 = [0.3, 0.7]$ ,  $\theta_2 = [3, 7]$ ,  $\theta_3 = [30, 70]$  et  $\theta_4 = [10^{-2}, 0.3[ \cup ]0.7, 3[ \cup ]7, 30[ \cup ]70, 10^2]$  pouvant être associés à des sols spécifiques (Robertson, 1990). Les RP étant de plus en plus élevées des sols à grains fins vers les sols grossiers. Nous supposons une masse de croyance égale à 1 dans le forage et imposons aux masses de croyance une diminution exponentielle latérale. Ainsi, pour chaque cellule, une seconde BBA  $m_2(.)$  est fixée, entrant dans le processus de fusion.

## 3 FUSION DES BBAS ET RESULTATS PRELIMINAIRES

Le processus de fusion est effectué sur deux grilles de mêmes dimensions. La fusion de données consiste à combiner  $m_1(.)$  et  $m_2(.)$  affectées à chaque cellule de la grille. Nous présentons ici deux règles de combinaison: la règle de Smets (1990) et la règle de Redistribution Proportionnelle des Conflits no. 6 (PCR6) (Dambreville et al. 2009) permettant la redistribution de tous les conflits partiels, proportionnellement aux masses impliquées.



**Fig. 2 - Fusion avec la règle de Smets (a, b) et de PCR6 (c, d). (a) et (c) représentent les BBAs associées aux hypothèses avec la plus grande masse, présentées respectivement en (b) et (d).**

La règle de Smets permet de quantifier le niveau de conflit,  $\emptyset$ , entre les sources d'information, permettant de considérer qu'une hypothèse hors du FOD est

envisageable si les deux sources d'information fournissent des données non représentatives d'une même réalité. Grâce à cela, nous pouvons souligner la présence de zones de conflit autour des interfaces horizontales et de la lentille sableuse (Fig. 2b). La fusion avec la règle de PCR6 (Fig. 2d) est très proche du modèle réel que nous avons imposé (Fig. 1a), permettant de visualiser plus clairement les interfaces ainsi que l'extension horizontale et verticale de la lentille par rapport à l'image de RE inversées (Fig. 1b). Afin de faciliter l'aide à la décision, nous choisissons de représenter les événements présentant les masses de croyance les plus élevées (Fig. 2b et d) et leurs degrés de croyance associés (Fig. 2a et c).

#### **.4 CONCLUSION**

L'utilisation des BF's est prometteuse. Elle permet d'exploiter au mieux et de manière automatique des données géophysiques et géotechniques en combinant les avantages de chaque type de méthode (ponctuelle et spatiale). L'information issues des coupes géophysiques permet ainsi de spatialiser des informations contraintes par les sondages géotechniques. Dans le cas présent nous avons pu mettre en évidence la présence d'une interface entre deux milieux bien plus précisément que la méthode géophysique utilisée seule. De plus, la fusion permet d'estimer avec fiabilité l'extension complète d'une variation locale de la géologie avec des valeurs élevées de RE et de RP. La règle de combinaison de Smets met facilement en évidence les zones en conflit. Ces informations seraient précieuses lors d'une campagne de reconnaissance, indiquant les zones où la surveillance doit être renforcée. Dans les futurs travaux, il s'agira d'utiliser cette démarche de fusion sur un ouvrage hydraulique réel de type digue, afin de valider notre méthodologie.

#### **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- DAMBREVILLE F., CELESTE F., DEZERT J., SMARANDACHE F., 2009** – Probabilistic PCR6 fusion rule. *Adv. Appl. DSMT Inf. Fusion*, 3, 137-160.
- LOKE M.H., BARKER R.D., 1996** – Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophys. Prospect.* 44(1), 131–152.
- LOKE M.H., 2002** – RES2DMOD ver. 3.01: Rapid 2D resistivity forward modelling using the finite difference and finite-element methods. *Software manual*.
- PALACKY G., WEST G.F., 1987** – Resistivity Characteristics of Geologic Targets. *Electromagnetic methods in applied geophysics*, pp. 52–129
- ROBERTSON P.K., 1990** – Soil classification using the cone penetration test. *Can. Geotech. J.* 27(1), 151–158.
- SHAFER G., 1976** – A Mathematical Theory of Evidence. *Princeton University Press, Princeton*
- SMETS P., 1990** – The combination of evidence in the transferable belief model. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 12(5), 447–458.