

Application des tomographies en résistivité électrique 3D à la reconnaissance de zones karstifiées, Belgique

John DECEUSTER & Olivier KAUFMANN

Service de Géologie fondamentale et appliquée, Faculté Polytechnique de Mons, Rue de Houdain 9, 7000 Mons, Belgique, John.Deceuster@fpms.ac.be & Olivier.Kaufmann@fpms.ac.be

Abstract

In this paper, we present a case study of 3D resistivity tomography over a karstic area in Bois-de-Villers, Belgium. The investigated area is located near a swallow hole in the frasnian limestone. Although no surface clue is visible nowadays, former collapses have been reported in this area. To approximate the complex geometry of the karstic environment, a true 3-D resistivity survey was made using a standard multichannel device. A new roll-along technique was implemented allowing partial covering of electrodes layouts to map the karstic area. Dipole-dipole, equatorial dipole-dipole, pole-dipole and pole-pole arrays were used. Then an inversion was carried out with the Res3DInv program. Finally tomographies are presented and a model of limestone bedrock was computed for resistivities over 200 Ω m.

Mots Clefs : tomographies électriques, résistivité, imagerie 3D, karst, roll-along

Introduction

Le cas envisagé ici se situe près du lieu dit "Aux Vivis" à Bois-de-Villers dans la commune de Profondeville en Belgique. La zone investiguée se trouve sur des calcaires dévoniens du synclinal de Walgrappe. Cette structure, située sur le bord nord du synclinorium de Dinant, s'étend perpendiculairement à la Meuse. En effet, l'axe du synclinal de Walgrappe présente une direction allant de N90°E à N120°E (voir figure 1).

Les formations calcaires, que l'on y trouve, sont très perméables et caractérisées par un karst actif. Les cavités que l'on peut y explorer ont toutes un niveau ou un réseau actif parcouru par de l'eau courante. Tous les ruisseaux et écoulements temporaires qui arrivent au contact de ces roches se perdent sous terre au niveau de dépressions en forme d'entonnoir. En plus du creusement de galeries et de cavités, les circulations souterraines sont responsables de la formation de dolines d'effondrement par soutirage.

Dans ce contexte, il est important de délimiter les zones sujettes aux instabilités locales avant d'entamer des travaux de construction. La zone reconnue dans cette étude a été classée comme zone de contraintes karstiques fortes sur base d'éléments directement observables en surface (Delaby *et al.*, 2002). C'est afin de préciser l'extension des zones potentiellement instables que nous avons eu recours aux méthodes géophysiques.

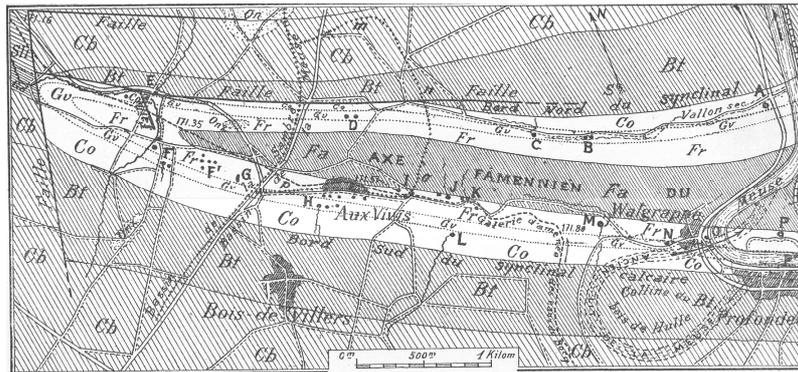


Figure 1 : Région du synclinal calcaire de Walgrappe, à l'ouest de la Meuse (Van Den Broeck *et al.*, 1910). Dévonien inférieur : Bt, Cb ; Dévonien moyen : Co, Fr ; Dévonien supérieur : Fa

La zone investiguée a une largeur (axe des Y) de 55 m et une longueur (axe des X) de 65 m. Vu la complexité de la géométrie des phénomènes karstiques à cette échelle, les méthodes d'investigation géophysiques 2D, par panneau électrique par exemple, ne semblaient pas idéales pour obtenir une couverture complète de la zone à traiter. De ce fait, nous avons mis en œuvre une méthode de mesure de la résistivité électrique du sous-sol basée sur une technique "roll-along" afin de réaliser une tomographie 3D.

Principes de la méthode

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un résistivimètre IRIS Syscal R1+ Switch à 48 canaux et d'un boîtier Switch supplémentaire à 48 canaux également. Les électrodes ont été placées selon une grille à maille carrée de 5 m de côté avec 12 électrodes selon l'axe Y et 8 électrodes selon l'axe X (voir Figure 2). Une zone de 55 m sur 35 m est ainsi couverte en une seule implantation.

Les mesures de la résistivité électrique sont réalisées selon les axes X et Y, ainsi que dans la direction à 45° de sorte à couvrir efficacement le volume à reconnaître. Cette méthode d'investigation correspond au "cross-diagonal survey" tel que défini par Loke (2002).

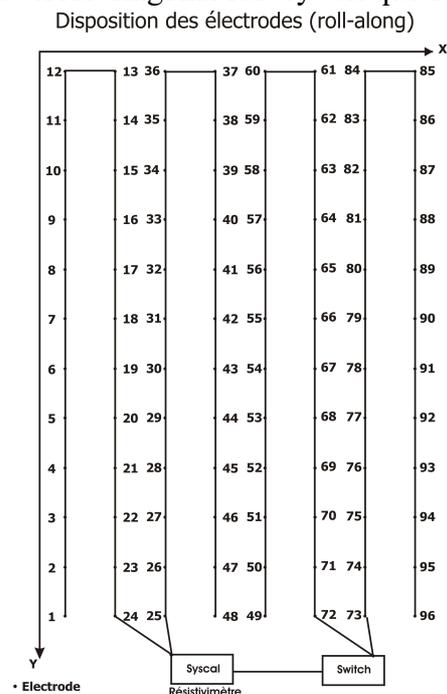


Figure 2 : Disposition des électrodes

Dans le cadre de la présente étude, nous avons retenu quatre configurations d'électrodes, deux co-linéaires (dipôle-dipôle et pôle-dipôle), une rectangulaire (dipôle-dipôle équatorial), pour lesquelles l'orientation et la distance entre les électrodes successives du dispositif sont variables, ainsi que le dispositif pôle-pôle, le plus fréquemment utilisé dans la littérature. Pour les dispositifs pôle-dipôle et pôle-pôle, la (ou les) électrode(s) "à l'infini" a (ont) été placée(s) à une distance d'environ 150 m de la zone investiguée de sorte à pouvoir négliger son (leur) influence. La profondeur maximale d'investigation est ainsi d'environ 20 m, ce qui est suffisant dans le cas présent.

Vu le grand nombre de mesures potentiellement réalisables avec ces quatre dispositifs, nous avons sélectionné parmi celles-ci, les mesures qui permettaient de couvrir au mieux chacune des pseudo-sections tout en limitant le temps total de mesure. D'une part, nous avons tenu compte des différentes profondeurs effectives d'investigation de chaque dispositif (Edwards, 1977). D'autre part, nous avons sélectionné les mesures, en fonction de la sensibilité des dispositifs, en donnant la priorité aux dispositifs à 4, puis 3, puis 2 électrodes. De cette manière une couverture optimale des pseudo-sections est assurée. Un exemple de couverture d'une telle pseudo-section est montré à la figure 3. Le nombre total de mesures est ainsi limité à environ 1700 pour une implantation complète, ce qui représente environ 7h de mesures.

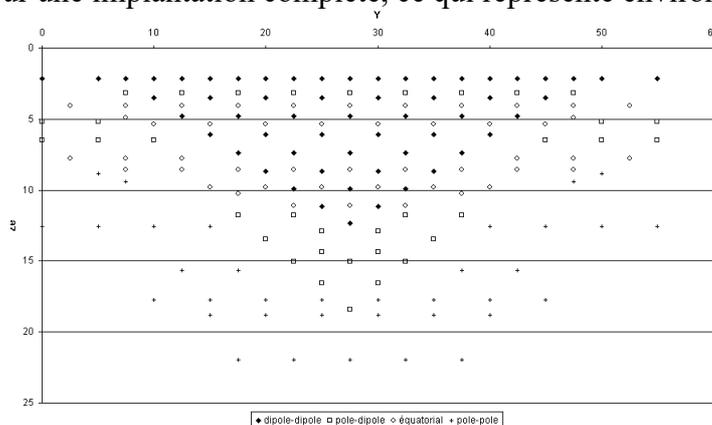


Figure 3 : Exemple de couverture d'une pseudo-section (X=10 m)

En outre, dans le but de diminuer les effets de bords, les différentes implantations se recouvrent partiellement comme on peut le voir sur la figure 4.

Le problème d'inversion des mesures a été résolu à l'aide du programme Res3Dinv développé par Loke (2002). Ce logiciel discrétise le volume investigué en parallélépipèdes rectangles et recherche la valeur de résistivité vraie de chacun des blocs qui minimise la différence entre résistivités apparentes calculées et mesurées. L'algorithme d'inversion est basé sur la méthode "smoothness-constrained least-squares method" (Sasaki, 1992) avec la possibilité d'utiliser la technique d'optimisation quasi-Newton (Loke and Barker, 1996).

Résultats et Interprétation

Les mesures effectuées à l'aide des dispositifs pôle-pôle se sont révélées peu fiables et ont été écartées des traitements ultérieurs. Les tomographies présentées ici ne tiennent donc pas compte de cette configuration.

L'inversion a été réalisée sur 3314 mesures en prenant en compte la topographie. Ce calcul mené avec un Pentium 4, 2 GHz, 256 Mb et a duré environ 30 minutes. Le logiciel Res3Dinv fournit des sections horizontales et verticales selon les axes X et Y. Les sections horizontales et deux sections verticales sont données à la figure 5.

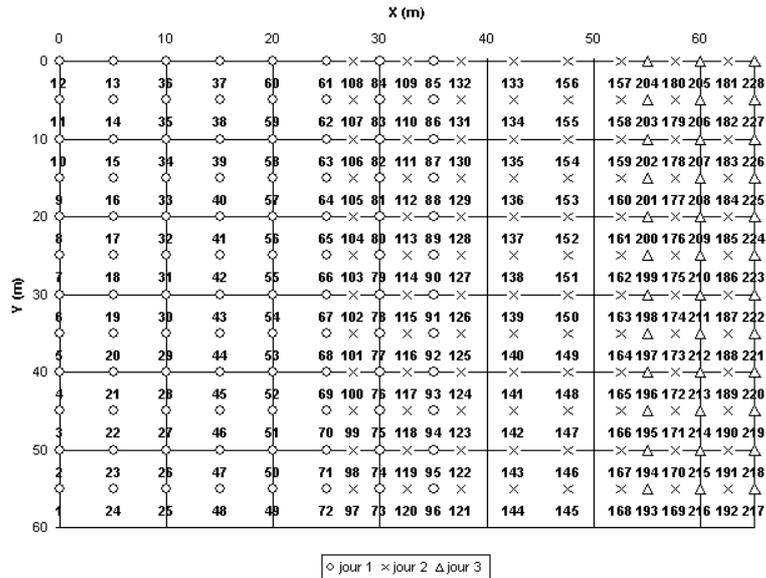


Figure 4 : Différentes implantations des électrodes par recouvrement

Les tomographies ont permis de mettre en évidence en surface des terrains de résistivité inférieure à $100 \Omega \text{ m}$ sur 5 à 6 m d'épaisseur. Ceux-ci correspondent à une couverture sablo-argileuse ou limoneuse au sommet de laquelle on retrouve localement des résistivités plus élevées. Ces dernières sont associées à des remblais et situées principalement au centre de la zone investiguée. Les tomographies ont également montré l'existence en profondeur de calcaires massifs, altérés en leur sommet, caractérisés par des résistivités supérieures à $200 \Omega \text{ m}$. En outre, sous les remblais, les faibles résistivités se prolongent en profondeur. Elles traversent le modèle de part en part parallèlement à l'axe des X. Ceci correspond à la direction générale des écoulements souterrains de la zone. En outre, on note également la présence de ces faibles résistivités entre la perte "Aux Vivis", située au fond d'une grande doline localisée en X de 48 à 55 m et en Y de -5 à -12 m, et l'axe général des écoulements. Ces zones de faibles résistivités sont donc susceptibles d'être le siège d'écoulements qui soutirent les matériaux meubles surmontant les calcaires.

Ainsi, la tomographie électrique 3D a permis de mettre en évidence des zones de faibles résistivités, potentiellement instables de par leur nature, au sein de calcaires sains et massifs. En outre, la tomographie montre que ces zones ont déjà été remblayées par le passé, ce qui laisse à penser qu'elles peuvent être réactivées notamment lors de fortes pluies ou d'orages violents.

Finalement, un modèle à trois dimensions des zones de résistivité supérieure à $200 \Omega \text{ m}$ permet d'esquisser la géométrie du socle calcaire sain. Ce modèle est présenté à la figure 6.

Conclusion

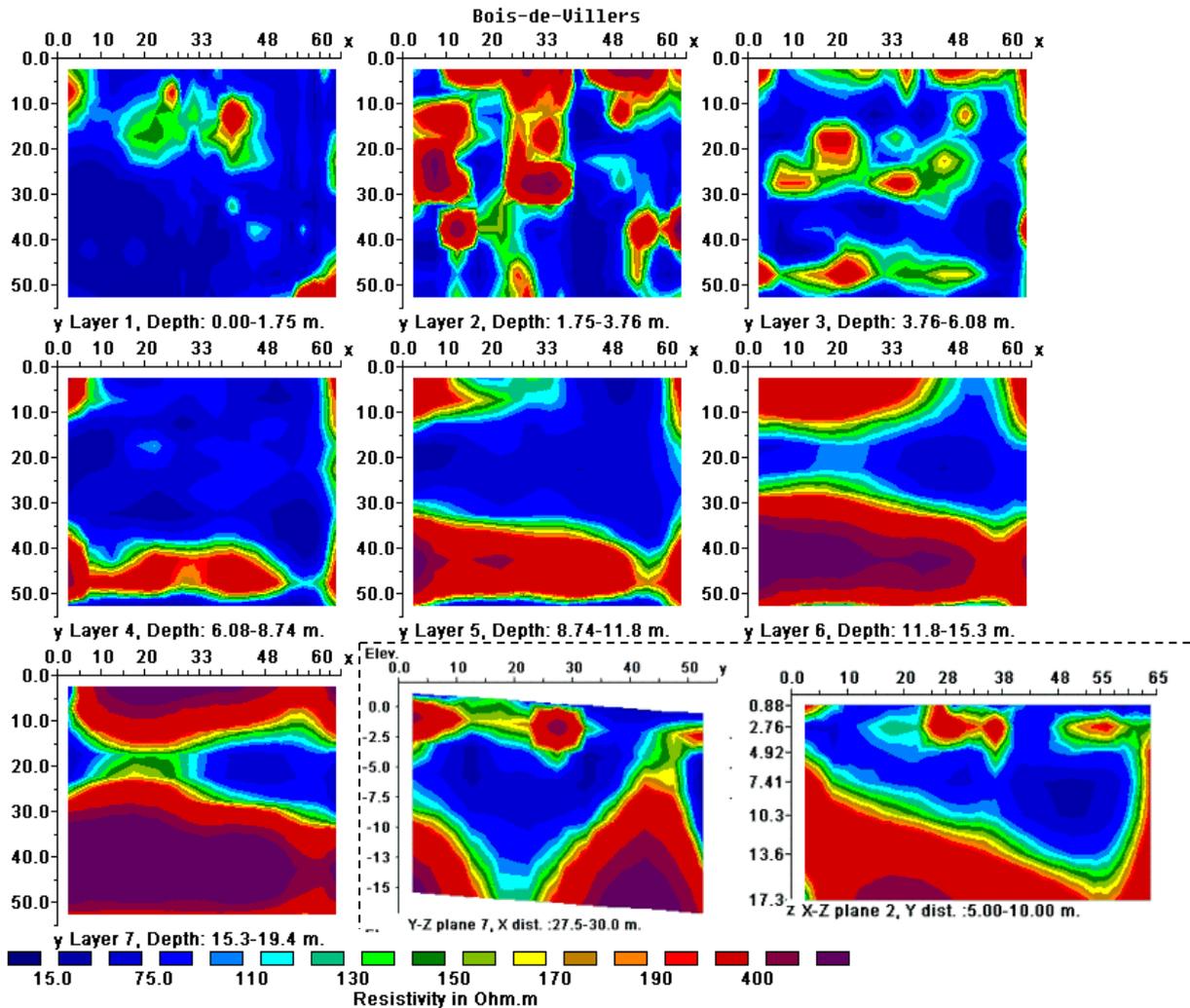
La méthode de tomographie en résistivité électrique 3D mise en œuvre ici présente l'avantage de restituer la géométrie d'objets géologiques complexes, ce qui est indispensable dans le cadre de zones karstifiées telles que celle étudiée ici. De plus, la méthode "roll-along" adoptée, avec recouvrement des implantations, permet de couvrir une zone d'extension relativement importante de manière complète et rapide.

Remerciements

Nous tenons particulièrement à remercier Monsieur Claudio Barcella de l'a.s.b.l. *GREIN* pour son aide lors de la réalisation des mesures sur le terrain.

Bibliographie

- Delaby S., Martin T., Michel G., 2002. Contraintes karstiques III : carte 47/7 –Malonne. *Ministère de la Région Wallonne, DGATLP.*
- Edwards L.S., 1977. A modified pseudosection for resistivity and induced polarization. *Geophysics*, 42, 5, 1020-1036.
- Loke M.H., 2002. *Rapid 3D Resistivity and IP inversion using the least-squares method.* Geoelectrical Imaging 2D & 3D, Geotomo Software.
- Loke M.H., Barker R.D., 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.
- Sasaki Y., 1992. Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophysical Prospecting*, 40, 453-464.
- Van Den Broeck E., Martel E.A., Rahir Ed., 1910. *Les cavernes et les rivières souterraines de la Belgique.* Tome 1.



X Unit Electrode Spacing 2.5M. Y Unit Electrode Spacing 5.0M. Iteration 6 - RMS Error 5.14%

Figure 5 : Exemples des tomographies obtenues : les 7 premières images présentent les différentes couches horizontales créées par le logiciel Res3Dinv, les deux images en bas à droite représentent des "sections" en Y-Z (à X : 27,5-30,0 m) et en X-Z (à Y : 5,0-10,0 m)

Bois-de-Villers : Modèle 3D

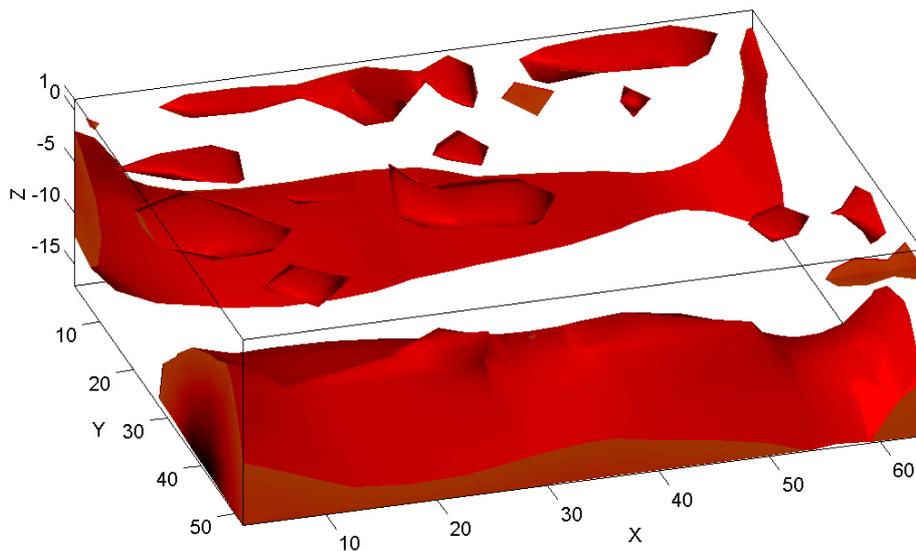


Figure 6 : Modèle 3D du socle calcaire (résistivités supérieures à 200 Ω m)