

MODELISATION DE LA REPONSE ELECTROMAGNETIQUE INDUITE POUR LA DETECTION DE RESEAUX ENTERRES

CARRIVE P.^{1,2}, SAILHAC P.², SAINTENOY A.²

¹JFM Conseils, Les Ulis, France

²Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, Orsay, France

RESUME

Dans cette étude nous considérons un cas d'école d'une canalisation de gaz dans un environnement électriquement résistant avec des mesures réelles de radio-détection, radar de sol et imagerie électrique. Une localisation de la conduite est indiquée par l'instrument de radio-détection. Nous nous intéressons à la modélisation de ces mesures pour retrouver les hypothèses de base utilisées par le système commercial utilisé avec l'objectif de développer des traitements permettant d'augmenter la profondeur d'investigation et la précision dans l'application à la détection des réseaux enterrés.

Mots clés: Induction magnétique, détection de réseau (canalisations ou câbles)

ABSTRACT

In this study we consider the detection of gas pipeline in a resistant environment with radio-detection, GPR and ERT data. An approximate location of the pipe is indicated by the radio detection instrument. We are interested in modeling these data to get back to the basic assumptions used by regular commercial systems with the objective of developing processing tools to increase the depth of investigation and the precision in the application to the detection of buried networks.

INTRODUCTION

La localisation précise des réseaux enterrés est devenue un enjeu sociétal important pour éviter les détériorations des canalisations lors des phases de travaux. La détection électromagnétique est couramment utilisée pour cartographier les réseaux enterrés lorsqu'ils sont conducteurs (canalisations métalliques, lignes électriques, etc). Un courant est émis dans le réseau ciblé à partir d'un générateur de courant alternatif et un récepteur basé sur des bobines de mesure capte le champ magnétique induit à la fréquence d'émission. Le principe de ces systèmes de détection électromagnétique est comparable à celui des méthodes électromagnétiques utilisées en imagerie géophysique pour lesquelles la théorie est bien connue. Il existe néanmoins peu de publications présentant de manière détaillée les applications à la recherche de réseaux enterrés. Nous considérons ici le cas simple d'une canalisation de gaz dans un environnement résistant avec des mesures réelles de radio-détection puis abordons sa modélisation. Le principe d'induction électromagnétique est utilisé dans de nombreux équipements commerciaux (RD8100 de Radiodetection, Intelliscan de Stanley, Vscan de AGM-Tech, Eurekfil de Courant, etc.). L'utilisation de ces outils de détection électromagnétique de réseaux enterrés fait l'objet d'une norme française depuis mars 2003 (NF EN 50249) qui définit les principes utilisés mais aussi les gammes de fréquences et intensités que ces outils doivent utiliser en contexte urbain. Ils existent plusieurs types de dispositifs électromagnétiques pour la détection de réseaux, certains sont basés sur des récepteurs passifs qui utilisent une source d'ondes électromagnétiques présente dans l'environnement, d'autres sont basés sur des récepteurs couplés à une source contrôlée par un opérateur. Dans le dernier cas, le signal peut être émis vers le réseau recherché selon trois modes classiques de connexion.

On parle ainsi du mode direct pour lequel on branche le générateur directement sur le réseau d'une ligne conductrice dont le traçage est effectué à l'aide d'un récepteur sensible aux champs magnétiques produits au voisinage par le courant s'écoulant dans cette ligne. Le mode induction est celui pour lequel le signal est produit via le générateur sans contact direct avec le réseau à localiser mais à l'aide d'une bobine émettrice placée à proximité de sorte qu'il y ait des courants électriques induits dans la partie conductrice du réseau. Enfin le mode pince est celui pour lequel on utilise une pince toroïdale qui est installée directement autour de la ligne conductrice et permettant d'y induire un courant. Dans tous les cas le récepteur est classiquement composé d'une ou plusieurs bobines horizontales ou verticales qui permettent de mesurer l'induction magnétique émise dans le voisinage du réseau conducteur. Nous présentons ces outils à l'aide d'expériences de terrain et des modélisations. Nos expériences de terrain ont été menées avec un récepteur actif de type RD8100 et en mode direct dans un champ agricole traversé par un réseau de gaz métallique dont la profondeur n'est pas connue sur la commune de Beynes dans les Yvelines (à environ 50 km à l'Ouest de Paris). En complément d'une configuration classique en mode direct, dans laquelle le générateur est connecté d'une part au réseau et d'autre part à une électrode lointaine. Des profils de résistivité et radar ont été réalisés pour caractériser le sol. Les profils radar font ici office de référence sur l'indication réel de la profondeur. Le terrain expérimental choisi avec des sols relativement résistifs électriquement permet de s'assurer d'un fort contraste de conductivité entre le réseau et son encaissant ; nous considérons une modélisation dans cette situation la plus simple, en négligeant la conductivité de l'encaissant.

1. Principe instrumental et modélisation

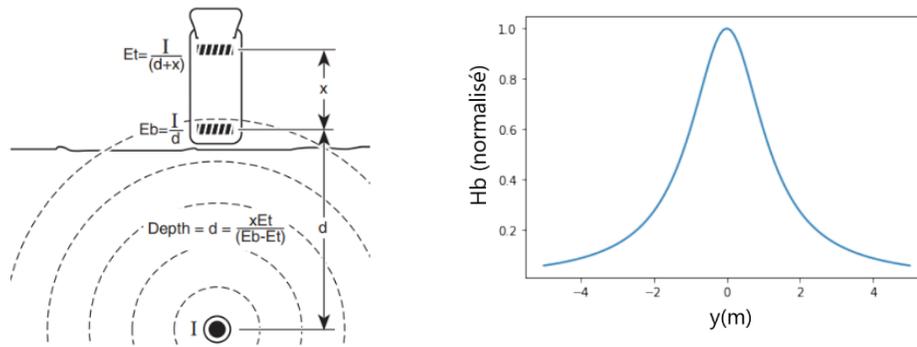


Figure 1 : A gauche : Schéma du principe du dispositif RD8100 (Radiodétection Ltd.) représenté à l'aplomb d'une canalisation de profondeur d et constitué de deux capteurs sont placés l'un au-dessus de l'autre, séparés d'une hauteur $x=38$ cm. A droite : Profil de la projection horizontale du champ magnétique mesuré dans la direction orthogonale à celle d'une canalisation placée à la profondeur $d=1$ m

Nous utilisons le système RD8100 (Radiodétection Ltd.) qui fonctionne à des fréquences comprises entre 50 Hz et 33 kHz dont le principe est illustré sur la figure 1. Chacun des capteurs fournit au système une force électromotrice (E_t sur le capteur du « top » et E_b sur celui du « bottom ») proportionnelle à l'amplitude du champ magnétique suivant la loi de Faraday.

Une canalisation horizontale parcourue par un courant d'intensité I , produit dans son voisinage un champ magnétique de direction orthoradiale dont l'amplitude est déterminée par la loi d'Ampère : $Id/(2\pi r)$ où r est la distance à la canalisation et d la profondeur de la cible. Le profil de la réponse de chaque capteur à une canalisation en profondeur suit une Lorentzienne (figure 1) ; il est calculé par projection horizontale pour tenir compte de l'orientation des bobines. Ainsi la composante horizontale du champ magnétique sur la bobine du bas, à la distance r_b de la canalisation de profondeur d , est :

$$H_b = \frac{Id}{2\pi r_b^2} = \frac{I}{2\pi} \frac{d}{y^2 + d^2} .$$

Sans mesure précise du courant I présent dans la canalisation, le système RD8100 n'utilise pas cette mesure seule mais indique une intensité appelée « signal strength » basée sur le rapport des mesures issues des deux capteurs. Nous calculons ce rapport dans le cas d'une simple canalisation située en $y=0$ à la profondeur d :

$$R(y) = \frac{H_t}{H_b} = \frac{r_b^2}{r_t^2} \frac{d+x}{d} = \frac{d+x}{d} \frac{y^2 + d^2}{y^2 + (d+x)^2} ,$$

où $x=0.38$ m est la hauteur séparant les deux capteurs et y l'espacement à la normale au réseau le long du profil.

2. Site experimental

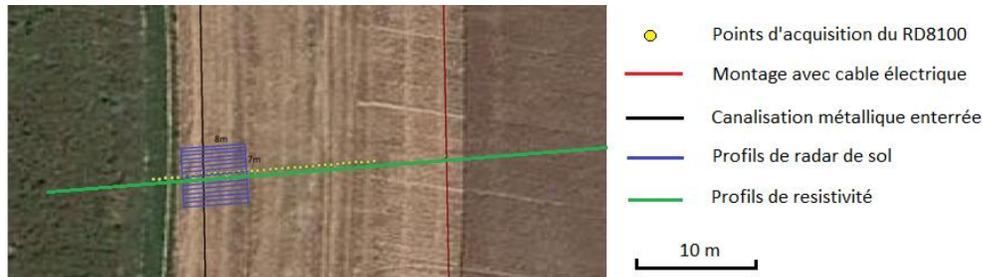


Figure 2 : Plan du site avec le réseau de gaz (en noir), le générateur de courant est connecté d'une part au tuyau de gaz et d'autre part à la terre via un câble électrique (en rouge) relié à une électrode située à l'aplomb de la canalisation de gaz, un profil de points d'acquisition d'induction électromagnétique (en jaune), et une série de profils parallèles de radar de sol (en bleu).

Le site expérimental est un champ agricole de la commune de Beynes dans les Yvelines (à environ 50 km à l'Ouest de Paris) traversé par une canalisation de gaz. La figure 2 montre les profils de mesures réalisées avec le système RD8100 ainsi que deux autres méthodes géophysiques utilisées pour préciser le contexte. Deux profils de résistivité composés de 48 électrodes chacun espacés d'un mètre entre elles, ont été réalisés avec un SYSCAL (IRIS instrument). Quinze profils de radar de sol GSSI 350 MHz ont été acquis parallèles entre eux et espacés de 0.5 m de tels sorte à obtenir une acquisition en 3D. Un profil d'induction électromagnétique composée de 36 points d'acquisitions ponctuelles a été réalisé avec un RD8100 et son générateur. Ces enregistrements ont été réalisés dans un premier temps dans les conditions standard d'acquisitions en mode direct, en branchant le générateur à une prise de potentiel (élément conducteur affleurant et relié à la canalisation de gaz) et à une électrode mise à la terre à moins de 5 m de la prise de potentiel. Le courant est alors bouclé à travers les sols en place. Dans un second temps un câble électrique a été installé de telle sorte à minimiser les retours de courant électrique à travers le sol. Le câble branché (en rouge sur la figure 2) s'écarte de 20 m perpendiculairement au réseau de gaz pour ensuite longer la canalisation de gaz sur plus de 150 m. L'électrode a été installée au-dessus de la canalisation de gaz. Le courant ainsi créé est d'environ 6 mA pour le premier montage et d'environ 56 mA pour le second. De plus le second montage tend à s'affranchir de l'influence d'éventuels éléments conducteurs autre que le réseau ciblé et ainsi mieux isoler le signal reçu au niveau du récepteur. Le générateur et le récepteur d'induction électromagnétique ont été réglés à une fréquence de 640 Hz.

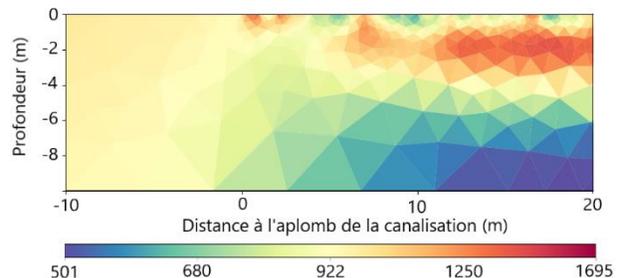
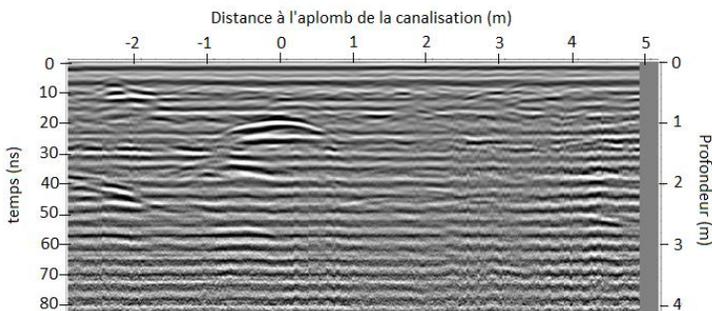


Figure 3 a) : Radargramme d'un profil transversal à la canalisation de gaz (en bleu sur la figure 2) Figure 3 b) : profil de résistivité électrique (en vert sur la figure 2)

Les acquisitions réalisées avec le SYSCAL nous indiquent des résistivités allant d'environ 700 à plus de 1600 Ω m. Ces données confirment en partie la faible conductivité des sols en place. Les profils radars ont été traités avec le logiciel reflexw (Sandmeier, 2012) et la vitesse a été ajustée avec l'hyperbole du réseau ciblé et un rayon de 0.13 m. La reconnaissance de l'hyperbole se faisant visuellement nous avons considéré une vitesse comprise entre 0.10 et 0.12 m/ns. Sur la figure 3 a) l'hyperbole dont l'apex est obtenue à $t=18$ ns correspond à la canalisation de gaz. La figure 3 a) nous montre les premiers signes de la canalisation à 18 ns soit à une profondeur de 0.90 m pour 0.10 m/ns et une profondeur de 1.08 m pour 0.12 m/ns.

3. Premiers résultats et discussion

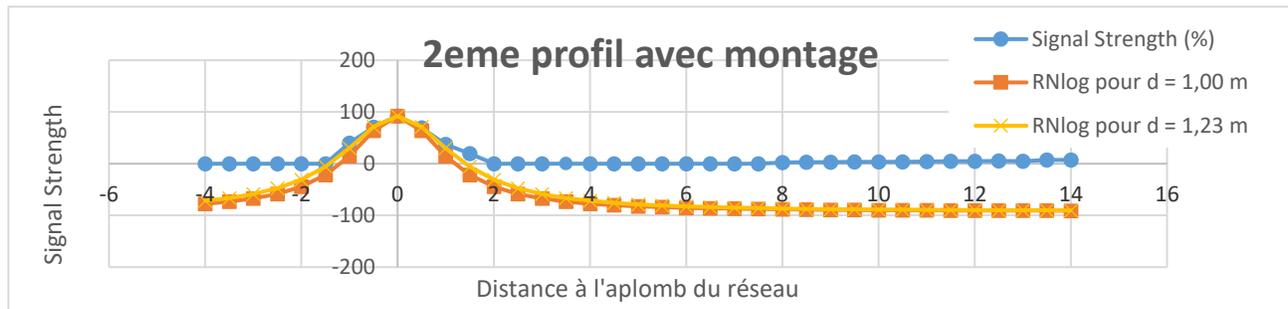


Figure 4 : Graphique comparatif des données acquisitions et calculées : le « signal strength » en dB (en bleu) pour l'installation avec montage, et des courbes calculées représentant le logarithme du rapport RNLog (figure 2 de droite) ajustée à la valeur maximale observée (92,2) pour un modèle avec une canalisation à la profondeur de 1,00m (en rouge) ou de 1.23 m (en orange).

Comme indiqué sur la figure 1, le récepteur électromagnétique RD8100 possède deux bobines horizontales qui permettent le calcul de la profondeur. Ce principe ne prend pas en compte les interférences extérieures causées par d'éventuels éléments conducteurs non ciblés. La profondeur enregistrée est de 1,23 m pour le centre de la canalisation soit 1,09 m pour la génératrice supérieure (en déduisant le rayon de la canalisation) à l'aplomb du réseau et pour un courant $I = 56,4$ mA. La profondeur reconnue au radar de sol (avec ajustement de la vitesse par hyperboles) est comprise entre 0.90 et 1.08 m. L'outil RD8100 applique un gain réglable manuellement qui amplifie les contrastes d'intensités entre les bobines. Le « signal strength » correspond à l'indicateur d'intensité relative entre les bobines en dB. La figure 5 permet de comparer le profil enregistré par le RD8100 avec ceux calculés pour deux modèles de profondeurs différentes, utilisant une échelle logarithmique. On peut remarquer que la diminution de la profondeur augmente la différence entre les données calculées et celles observées, rendant plus étroite la partie centrale du profil à l'aplomb de la canalisation. On note également que les valeurs nulles sur le profil des données acquises correspondent aux valeurs négatives sur les données calculées (un seuil exclue les faibles valeurs dans l'instrumentation). Enfin, on remarque aussi que le profil des données réelles n'est pas symétrique par rapport au réseau ; un modèle plus complexe devra être développé.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude d'un outil commercial de détection de canalisation par induction électromagnétique permet de mettre en évidence l'information non utilisée dans les procédures rapides d'interprétation. Contrairement à la méthode SLINGRAM, l'acquisition avec le RD8100 permet de transformer la cible conductrice en émetteur dont la signature est généralement plus grande que celle de sources secondaires mêlées aux remblais. Le cas d'un réseau enterré seul sans la présence d'autre élément conducteur à proximité est rare. Il faut noter que les différentes méthodologies de détection du RD8100 ne permettent pas toujours de s'affranchir d'élément extérieur, d'où le choix d'un milieu résistif pour l'étude de cas. De plus, l'usage standard du système RD8100 n'utilise que l'amplitude maximale du rapport mesuré R. Par une expérience sur des sols résistifs et un montage permettant de s'affranchir de l'influence de conducteur autre que la canalisation métallique ciblée, nous concluons qu'il est possible d'utiliser le profil des valeurs de R obtenu en s'éloignant de part et d'autre d'une canalisation pour préciser sa profondeur, nous envisageons aussi de caractériser d'autres propriétés en lien avec la géométrie des structures et la nature du milieu encaissant.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Sandmeier, K. J. (2012). REFLEXW Version 7.0, Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. *User's Manual*, 578.
- Union technique de l'Electricité et de la communication. *Localisateurs électromagnétiques pour câbles et canalisations enterrés – Performances et sécurité*. NF EN50249, Mars 2003, 38p.
- SPX Corporation. *ABC & XYZ of locating buried pipes an cables for the beginner and the specialist*. Radiodetection Ltd. 2008, 166.
- Meriem Hafsi. *Géo-détection des réseaux enterrés par fusion de données multimodales et raisonnement spatial*. Université Grenoble Alpes, 2018, 187 p.