

ESTIMATION DES COUPLAGES POTENTIELS DE LA CHAÎNE DE TRANSMISSION EN TDEM POUR L'INTERPRÉTATION DES TEMPS COURTS

FINCO C.¹, REJIBA F.¹, SCHAMPER C.², CAVALCANTE FRAGA L.H.³

¹ Université de Rouen Normandie, UMR CNRS 6143 M2C, Mont-Saint-Aignan, France
cecile.finco@univ-rouen.fr

² Sorbonne Université, UMR SU CNRS EPHE 7619 METIS, Paris, France

³ Envisol, Rouen, France

RESUME

L'interprétation des temps courts de la courbe de décroissance acquise lors d'un sondage par la méthode géophysique électromagnétique dans le domaine temporel est cruciale pour la caractérisation de la première dizaine de mètres du sous-sol. Cette partie de la courbe est cependant très souvent déformée par la réponse du système d'acquisition sur lui-même. L'objectif est ici d'estimer au mieux cette réponse, en considérant toutes les sources de couplages potentiels et notamment les interactions avec le sol, afin de pouvoir la filtrer tout en gardant l'information issue des premiers mètres de sol.

Mots clés : méthode électromagnétique, étude numérique, inversion

ESTIMATING THE TRANSMISSION LINK POTENTIAL COUPLINGS IN TDEM TO IMPROVE THE EARLY TIME SOUNDING INTERPRETATION

ABSTRACT

The interpretation of the early times of a time domain electromagnetic sounding is crucial to characterise the first 10 meters of the subsurface. This part of the curve is however often distorted by the acquisition system self-response. The objective here is to estimate as best as possible this response, considering all potential sources of coupling and in particular interactions with the ground, in order to filter it without removing the information from the first few meters of the ground.

Keywords: transient electromagnetic method, numerical study, inversion

INTRODUCTION

Les développements récents d'appareils de mesures par la méthode géophysique électromagnétique dans le domaine temporel (TDEM) à petites boucles tels que le tTEM (AUKEN et al., 2018) accompagnent le développement de l'utilisation de la méthode pour l'étude de la très proche surface. Ces appareils tractés permettent l'établissement de cartes de résistivité électrique sur des surfaces importantes (1 km²/jour). Grâce aux petites boucles de ces appareils, la coupure du courant est plus rapide et permet la mesure et l'interprétation du signal à des temps plus courts de l'ordre de quelques μ s. La caractérisation de la variabilité des premiers mètres du sous-sol est donc possible et intéressante pour de nombreuses applications telles que des études environnementales, archéologiques ou géotechniques, lorsqu'on s'intéresse en particulier à des terrains conducteurs (0.1 à 300 Ω .m).

Cependant la courbe de décroissance mesurée est souvent déformée aux temps courts principalement à cause de la réponse du système d'acquisition sur lui-même. Ces courants sont liés aux boucles d'émission (Tx) et de réception (Rx) elles-mêmes, mais aussi aux interactions entre les boucles et avec le sous-sol. Un moyen existant pour retirer ces courants parasites est d'appliquer un filtre passe-bas connu soit directement pendant l'acquisition soit pendant l'inversion des sondages TDEM (EFFERSØ et al, 1999 ; NYBOE et SØRENSEN, 2012). La fréquence de coupure de ce filtre est fixée pour toujours être plus basse que celle de la réponse du système qui peut varier en fonction du sous-sol prospecté. Par voie de conséquence, ce filtre passe-bas élimine dans certaines conditions une partie de la réponse de la très proche surface. Il s'agit donc ici d'estimer le plus précisément possible cette réponse afin de pouvoir appliquer un filtre spécifique lors de l'inversion, sans l'application d'un filtrage à la fréquence

définie en amont, afin d'exploiter au maximum les temps courts et améliorer la caractérisation des premiers mètres du sous-sol.

La méthode de simulation 3D par différences finies dans le domaine temporel (FDTD) permet une estimation des tensions de la plupart des sources de couplage potentielles. Ces simulations demandent cependant une puissance de calcul importante pour la discrétisation notamment des câbles et connexions, ainsi que la variabilité du sous-sol.

Dans cette étude, nous présentons la méthode de simulation 3D FDTD par de premiers résultats à l'air libre puis sur un sous-sol homogène. Enfin, les résultats de ces simulations seront utilisés pour l'inversion de sondages acquis avec un prototype d'appareil TDEM à petites boucles destiné à des acquisitions en configurations centrale et offset pour l'interprétation multi-paramètres (FINCO, 2019).

METHODE

La méthode de simulation utilisée ici résout les équations de Maxwell par un schéma de différences finies explicite dans le domaine temporel. La discrétisation spatiale du problème permet de considérer des géométries d'acquisition complexes et variées. Dans chaque cellule, les propriétés électromagnétiques attribuées sont homogènes, ainsi plus la discrétisation est fine et meilleure est la description de la géométrie en particulier ici puisque les objets décrits ici sont des câbles de 1 ou 2 mm de diamètre.

L'algorithme utilisé par le logiciel EMPIRE (IMST), avec lequel les simulations présentées ici ont été réalisées, est celui décrit par YEE (1966). Les champs magnétiques et électriques inconnus sont positionnés dans chaque cellule de manière à ce que chaque composante du champ magnétique soit entourée par quatre nœuds (soit deux composantes perpendiculaires) du champ électrique et inversement.

La géométrie choisie pour ces modélisations est celle d'un prototype muni d'une Tx de 5x5 m² et d'une Rx de 0,50x0,50 m² de 20 spires espacées de 1 cm (**Fig. 1a**). Les résultats des simulations seront ainsi utilisés pour l'inversion de données de terrain acquises avec ce prototype à Garchy (Nièvre).

La source de courant utilisée pour ces simulations est une gaussienne (**Fig. 1b**) plutôt qu'une source TDEM classique en escalier. En effet, l'objectif est de déterminer les propriétés de filtrage du système d'acquisition et non de reproduire un sondage TDEM complet. L'utilisation de la gaussienne permet d'étudier la réponse propre du système pour des fréquences correspondants aux premières μ s de la courbe de décroissance.

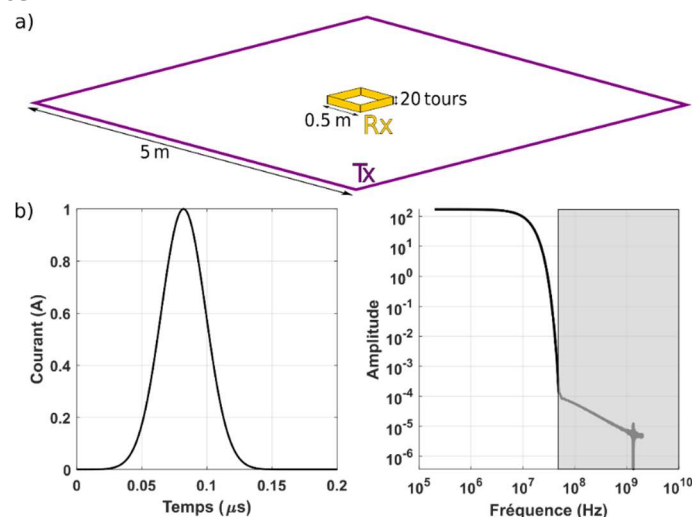


Fig. 1 – a. Géométrie d'acquisition utilisée pour les simulations (Tx de 5x5 m² et Rx de 0,5x0,5 m² et 20 spires) b. Source de courant dans les domaines temporel et fréquentiel. La zone grisée correspond aux fréquences où le niveau de signal est trop faible pour interpréter la réponse dans les boucles.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les premières simulations ont été menées à l'air libre c'est-à-dire en ne modélisant que les boucles dans l'air. Cela permet de déterminer les caractéristiques intrinsèques du système d'acquisition, et de comparer les résultats obtenus par cette méthode avec des résultats de simulations où les boucles sont modélisées par des circuits RLC équivalents (KAMENETSKY et OELSNER, 2000).

Un demi-espace homogène a ensuite été ajouté sous les boucles afin de simuler les interactions entre le système d'acquisition et le sol. La gamme de valeurs de résistivité testées va de 20 à 2000 Ωm (Fig. 2). Ces simulations indiquent que la présence du sol a une influence non négligeable sur le filtre de la boucle de réception mais que la valeur de la résistivité en a peu.

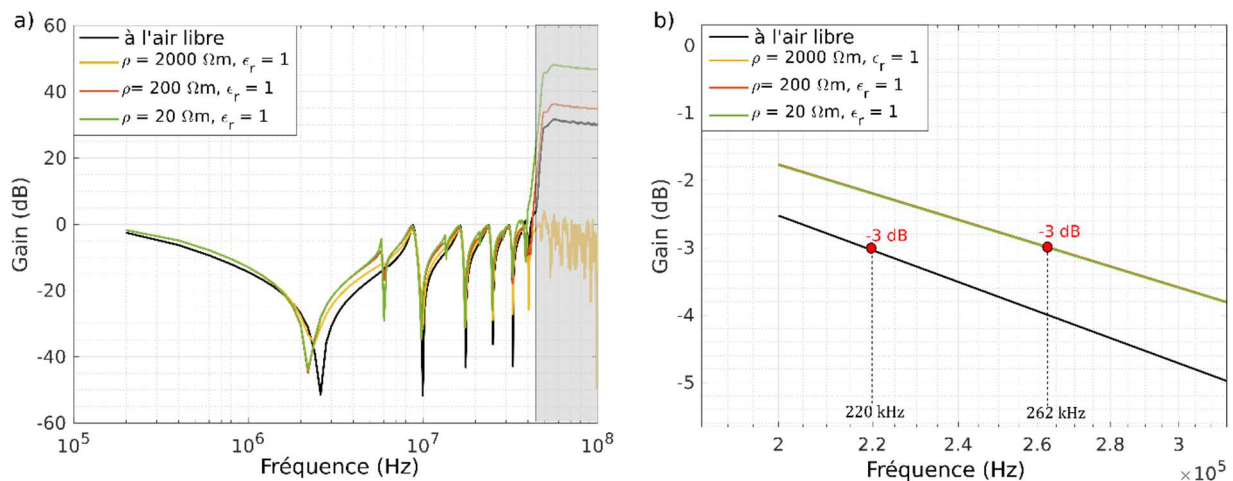


Fig. 2 – a. Résultats des simulations 3D FDTD pour le système d'acquisition posé sur un demi-espace homogène de résistivité variant entre 20 et 2000 Ωm b. Zoom sur les plus basses fréquences. Les points de gain -3 dB correspondent à la fréquence de coupure du filtre passe-bas associé.

Ces résultats ont permis d'ajuster un filtre Butterworth passe-bas du premier ordre avec une fréquence de coupure de 260 kHz utilisé lors de l'inversion du sondage acquis avec le prototype.

Ce sondage (Fig. 3a) présente une déformation très importante des temps courts, très certainement causée par une géométrie de la Rx qui aurait pu être plus performante (bobinage en nid d'abeilles par exemple). L'application du filtre passe-bas Butterworth au cours de l'inversion a permis de reproduire cette déformation et d'améliorer significativement l'inversion de ce sondage en gardant ces premières mesures. Le résidu normalisé reste élevé à 3,5, mais on retrouve un résultat d'inversion similaire à celui obtenu avec un autre appareil, le TEMFAST (AEMR), au même endroit avec un dispositif coïncident et une boucle de $25 \times 25 \text{ m}^2$ (Fig. 3b).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ces premières simulations résolvant en 3D les équations de Maxwell par un schéma de modélisation FDTD explicite ont l'avantage de permettre une prise de compte de la géométrie complexe du système d'acquisition et pas seulement de paramètres équivalents, ainsi que l'influence des interactions avec le sol dans la réponse propre du système. La difficulté majeure de cette méthode est le temps de simulation important.

De futures simulations permettront de considérer également l'influence d'autres propriétés électromagnétiques en particulier la permittivité diélectrique qui pourrait avoir une influence aux plus hautes fréquences. Des variations latérales abruptes des propriétés du sous-sol constituent également un aspect à explorer.

Enfin, ces simulations ont permis ici d'améliorer l'inversion d'un sondage existant, mais il sera intéressant de les mettre à profit pour le design d'un système d'acquisition optimal.

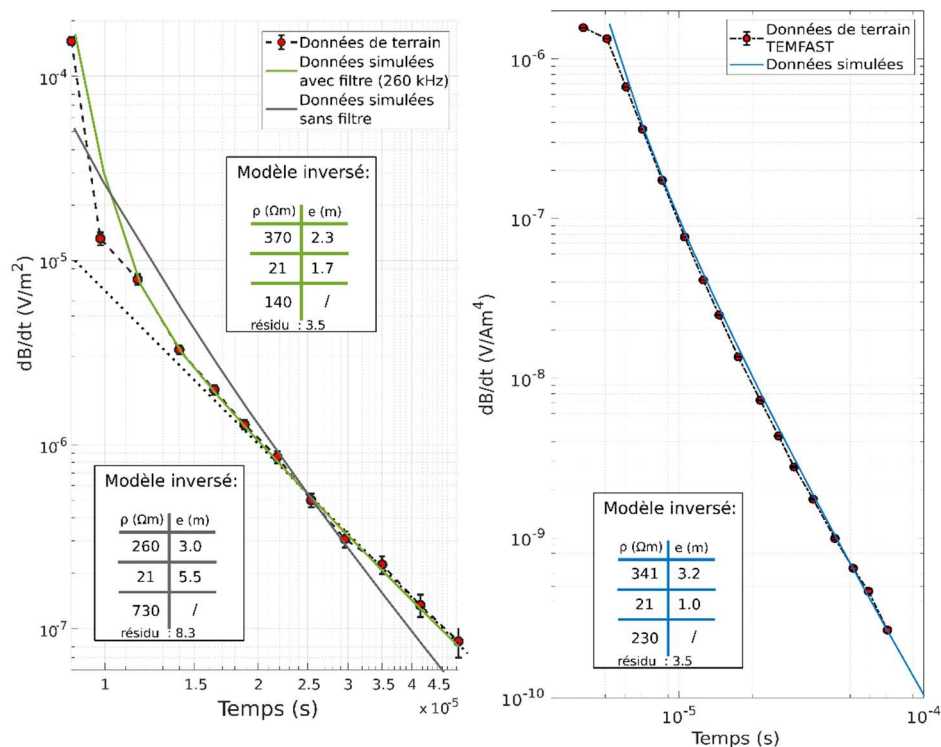


Fig. 3 – a. Sondage TDEM acquis à Garchy et résultats de l'inversion avec et sans l'utilisation d'un filtre passe-bas ajusté sur les simulations 3D FDTD b. Résultat d'inversion d'un sondage acquis avec le TEMFAST (AEMR) au même endroit

Remerciements

Ce travail a bénéficié des moyens de calcul du mésocentre CRIANN (Centre Régional Informatique et d'Applications Numériques de Normandie)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- YEE K., 1966** – Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. *IEEE Transactions on antennas and propagation*, 14(3), 302–307.
- EFFERSØ F., AUKEN E., SØRENSEN, K., 1999** – Inversion of band-limited TEM responses. *Geophysical Prospecting*, 47(4), 551–564.
- KAMENETSKY, F., OELSNER, C., 2000** – Distortions of EM transients in coincident loops at short time-delays. *Geophysical Prospecting*, 48(6), 983–993.
- NYBOE N. S., SØRENSEN, K., 2012** – Noise reduction in TEM: Presenting a bandwidth- and sensitivity-optimized parallel recording setup and methods for adaptive synchronous detection. *Geophysics*, 77(3), 203–212.
- AUKEN E., FOGED N., LARSEN J. J., LASSEN K. V. T., MAURYA P. K., DATH S. M., EISKJÆR T. T., 2018** – tTEM—A towed transient electromagnetic system for detailed 3D imaging of the top 70 m of the subsurface. *Geophysics*, 84(1), 13–22.
- FINCO C., 2019** – Étude de l'impact simultané des propriétés électriques, diélectriques et magnétiques du sous-sol sur la mesure géophysique par méthode électromagnétique inductive dans le domaine temporel (TDEM). *Thèse de doctorat, Sorbonne Université, Paris*. 128p.