

CARACTERISATION DE LA STRUCTURE VERTICALE D'UNE ZONE HUMIDE PAR COUPLAGE DE METHODES GEOPHYSIQUES ET CONFRONTATION A DES DONNEES DE SONDAGES

RENAUD A.^{1,2}, PESSEL M.¹, LARTEY J.¹, DURAND V.¹,

¹ Université Paris-Saclay, CNRS, UMR 8148, GEOPS, 91405, Orsay, France, adrien.renaud@universite-paris-saclay.fr

² Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE-IPSL), UMR 8212 (CEA-CNRS-UVSQ), Université Paris-Saclay, CEA Saclay, l'Orme des Merisiers, 91191, Gif-sur-Yvette Cedex, France

RESUME

Dans cette étude, dont l'objectif est de caractériser la géométrie et la structure verticale d'une zone humide riparienne, plusieurs méthodes d'investigation, indirectes et directes, ont été réalisées : tomographie de résistivité électrique, mesures électro-magnétiques (EM) et sondages carottés. Les résultats mettent en évidence la structure profonde du marais, avec une extension verticale comprise entre 4 et plus de 8 m, un contraste de résistivité net avec le substratum, ainsi que le détail des premiers mètres de sol, notamment l'interface entre un horizon minéralisé en surface et histique en profondeur.

Mots clés : zone humide riparienne, tomographie de résistivité électrique, méthode électromagnétique, sondage

SUBSOIL AND VERTICAL CHARACTERIZATION OF A WETLAND USING MULTIPLE GEOHPHYSICAL METHODS AND COMPARING WITH CORE SAMPLING

ABSTRACT

In the purpose of characterizing the geometry and the vertical structure of a riparian wetland, several investigation methods, both inferred and direct, have been employed: electrical resistivity tomography, electromagnetic measurements and undisturbed core sampling. Results reveal the wetland's deep structure, with a thickness of 4 to more than 8 m, a clear delimitation with the substratum, and also the details of the upper part of the soil profile, with a demarcation between a mineralized horizon at the top and a histic one deeper.

Key words: wetland, riparian, electrical resistivity tomography, electromagnetic method, core sampling, soil

INTRODUCTION

Afin de construire un modèle hydrogéologique, une des premières étapes est de bien contraindre sa géométrie et sa structure verticale. Pour y arriver, plusieurs méthodes d'investigation peuvent être utilisées, qu'elles soient directes, par la réalisation de sondages, ou indirectes par l'utilisation de méthodes géophysiques. Cette étude s'inscrit dans cette problématique avec le besoin d'identifier et de caractériser précisément la structure d'un réservoir aquifère au droit d'une zone humide riparienne, jusqu'alors inconnue. La stratégie d'investigation s'est axée sur le couplage de plusieurs méthodes différentes : un profil électrique, des mesures électro-magnétiques (EM) ainsi que des sondages carottés ; l'objectif étant d'utiliser les complémentarités de chaque technique pour extrapoler les informations et avoir l'image la plus précise possible du sous-sol. La première donnera la structure profonde du système mais sur un profil 2D seulement, la seconde une cartographie sur toute la surface de la zone d'étude mais sans prendre en compte toute l'épaisseur de l'hydrosystème et enfin la dernière une image précise du profil pédologique mais uniquement sur les premiers mètres et en seulement 3 points.

MATERIEL ET METHODES

Le site d'étude est le marais de Jarcy. C'est une zone humide de type roselière, localisée dans la plaine alluviale de l'Essonne, à 45 km au sud de Paris, et qui s'étend le long du cours d'eau sur une surface d'environ 4,6 ha (cf. Fig. 1). Au droit du site, la géologie superficielle attendue est une couche d'alluvions modernes reposant sur la formation des calcaires de Brie. Son fonctionnement hydrogéologique est étudié pour comprendre les proportions des différents apports en eau (recharge, rivière, nappe de bordure et sous-jacente) et prédire l'impact d'un arasement de barrage sur l'Essonne.

Les données des sondages électriques ont été acquises en mai 2018 par dispositif Wenner, sur un profil de 140 m (cf. Fig. 1) avec un espacement entre électrodes d'un mètre. Les données ont ensuite été inversées avec le logiciel BERT (Günther et al., 2006).

Les mesures EM ont été réalisées en février 2020 à l'aide d'un conductivimètre électromagnétique de type Slimgram (CMD Explorer) composé d'une sonde multi-bobines, une émettrice et trois réceptrices, en dipôle vertical, permettant l'acquisition de données pour trois profondeurs : 2.2, 4.2 et 6.7 m. Les points de mesure ont été définis selon un maillage pseudo-rectangulaire pour un total de 80 points, soit une densité d'une mesure pour 400 à 900 m² (cf. Fig. 1).

Trois sondages carottés (SC1, SC5 et SC7) ont été réalisés en octobre 2020, au plus près du profil électrique (cf. Fig. 1), à l'aide d'une gouge fermée d'un mètre et d'un marteau piqueur thermique. La profondeur atteinte a été de 2 m pour les points SC1 et SC7 et 3 m pour SC5. Une mesure de la profondeur de nappe après rééquilibrage été faite dans chacun des trous nus à l'aide d'une sonde piézométrique manuelle. Une description détaillée des carottes a été réalisée ainsi que des mesures de densité apparente et de teneur en eau massique à une résolution décimétrique.

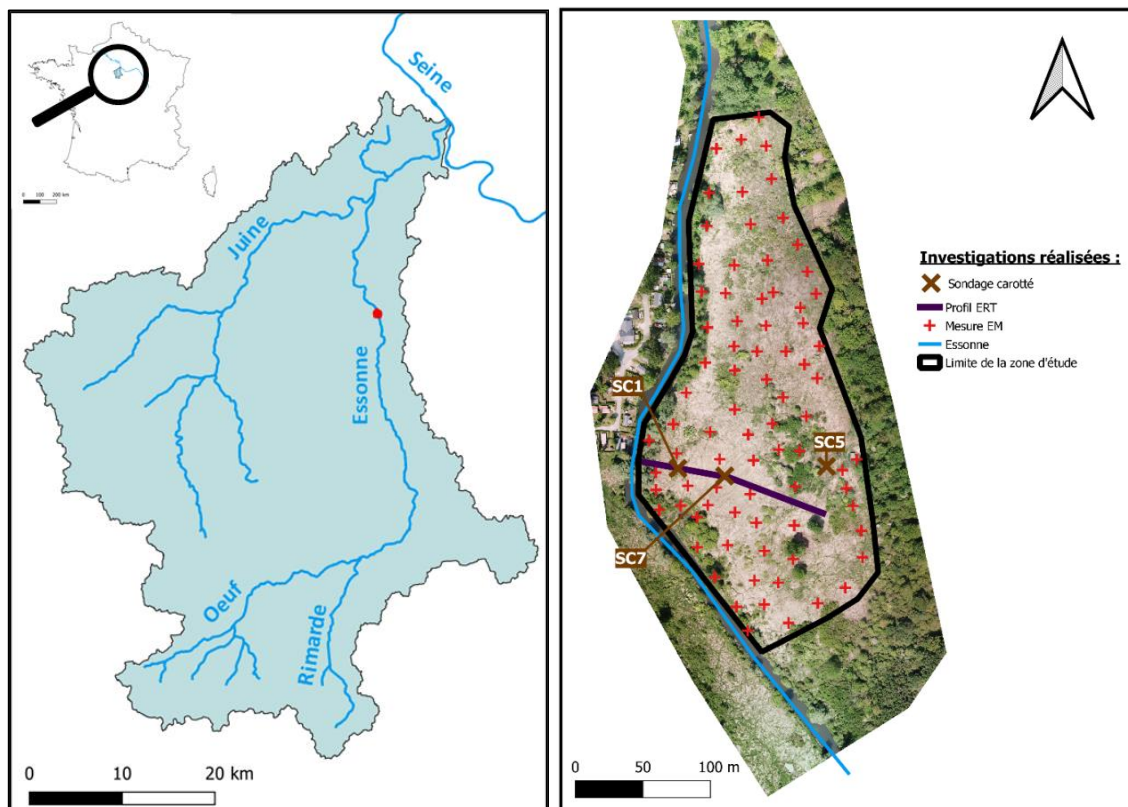


Fig. 1 : Plans de localisation du site et des investigations

RESULTATS ET DISCUSSION

La tomographie de résistivité électrique est présentée dans la Fig. 2. L'emplacement des sondages carottés a été replacé sur le profil.

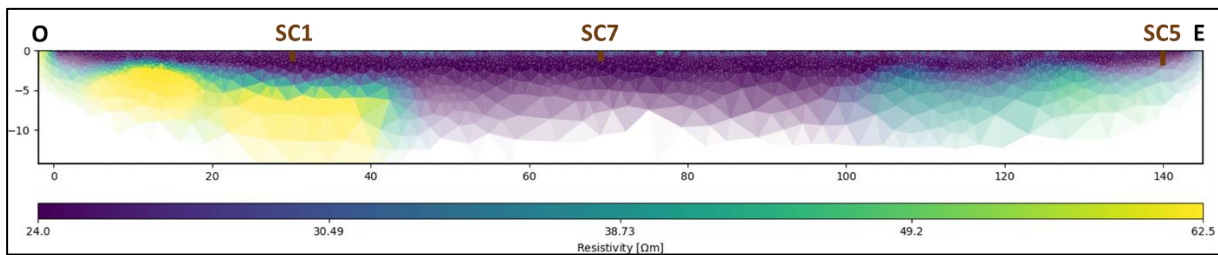


Fig. 2 : Tomographie de résistivité électrique : 140 électrodes, protocole Wenner, espacement 1m, rrms (relative rms) =3.2 %

La formation principale du marais, la plus conductrice avec une résistivité proche de 24 Ωm , présente une profondeur variant de 4 à 5 mètres sur les bords du profil, à plus de 8 m (limite d'investigation du dispositif) en son centre. Là où la première couche est plus fine, apparaît un substratum plus résistant (40 à 60 Ωm) correspondant vraisemblablement à la formation des calcaires de Brie attendue au droit du site, ou tout du moins un horizon d'altération de ces derniers.

Les résultats des mesures EM présentés en Fig. 3 montrent la même structure profonde du marais avec une zone centrale plus conductrice que sur les bords (Fig. 3c). Ces données permettent de délimiter longitudinalement cette zone qui s'étend en direction N-S sur toute la longueur du marais. De plus, les horizons superficiels sur les Fig. 3a et Fig. 3b suivent la même organisation, avec une zone plus conductrice au centre même si les contrastes sont moins marqués.

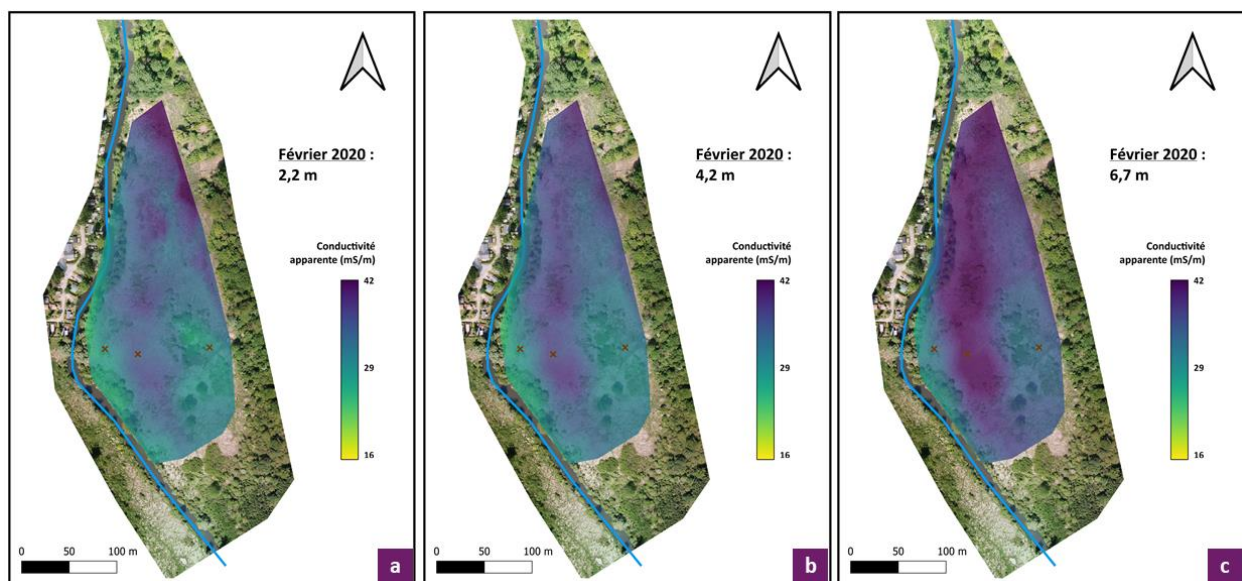


Fig. 3 : Cartographies des mesures EM pour chacune des profondeurs d'investigation

Les profils de teneur en eau et de densité apparente présentés en Fig. 4 montrent tous une interface nette entre un horizon superficiel défini par une densité apparente élevée, une teneur en eau relativement plus faible, et un horizon profond avec des propriétés qui s'inversent (densité apparente plus faible et teneur en eau très élevée). Ce changement n'intervient cependant pas aux mêmes profondeurs selon les sondages : 1, 1.5 et 2 m respectivement pour SC1, SC7 et SC5.

En mettant ces résultats en parallèle des cartographies EM, ces horizons plus minéralisés, et les teneurs en eau plus faibles, n'expliquent toutefois qu'en partie les valeurs de conductivités apparentes plus

faibles en surface (Fig. 3a). Il faut aussi prendre en compte la profondeur de la nappe par rapport au sol, qui était de 0.38, 0.08 et 0.09 m respectivement pour SC1, SC7 et SC5 en février 2020. C'est donc la combinaison de ces deux paramètres qui pourrait permettre d'expliquer les contrastes de conductivités apparentes mesurées en surface :

- Au droit de SC1, la couche minéralisée est de faible épaisseur (1 m) mais la profondeur de la zone non saturée est importante (0.38 m), la conductivité mesurée est donc plus faible.
- Au droit de SC7, la zone minéralisée est de profondeur intermédiaire (1.5 m) mais l'épaisseur de la zone non saturée est faible (0.08 m), la conductivité apparente est donc relativement plus élevée.
- Enfin, au droit de SC5, la conductivité mesurée est relativement faible car la zone minéralisée profonde (2 m) compense la faible épaisseur de la zone non saturée (0.09 m)

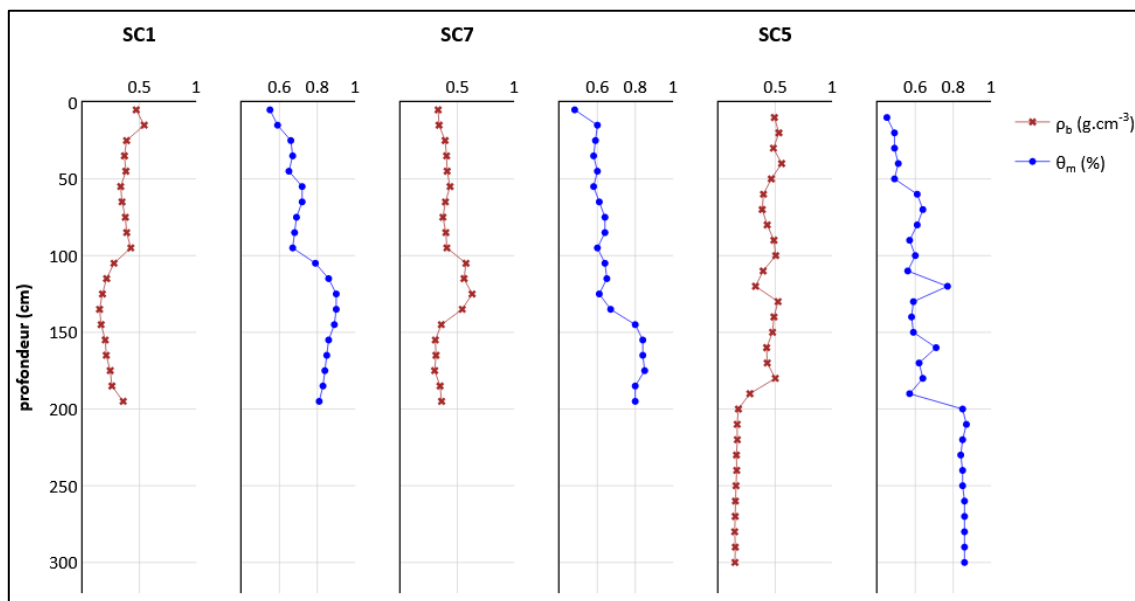


Fig. 4 : Profils de densité apparente et de teneur en eau massique pour chacun des sondages

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis d'avoir une première image de la structure du marais de Jarcy en profondeur. De type histosol, il est composé en surface d'un horizon minéralisé, dont la profondeur varie en fonction de la distance à la rivière, et d'un horizon plus ou moins histique qui atteint 5 m sur ses bordures et jusqu'à plus de 8 m au centre. Cette géométrie remarquable s'étend sur toute la longueur du marais et forme comme un chenal, d'une largeur d'environ 60 m et dont les contreforts sont délimités par le substratum plus résistant. Sans cette approche multi-méthodes il aurait été difficile sinon impossible de tirer ces mêmes conclusions. Néanmoins, il sera intéressant dans un futur proche de réaliser un profil électrique plus grand afin de délimiter l'extension verticale du chenal et un second avec un espacement d'électrodes plus petit pour identifier de façon continue l'interface entre horizons minéralisés et horizons peu dégradés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Günther, T., Rücker, C., and Spitzer, K. (2006). 3-d modeling and inversion of DC resistivity data incorporating topography - Part II: Inversion. *Geophys. J. Int.*, 166(2):506–517.