



HAL
open science

Détection électrique de racines vivantes : modélisation et expérimentation sur le terrain

C. Zanetti, I. Renault, M. Venetier, P. Mériaux, S. Palma Lopes, B. Mary

► To cite this version:

C. Zanetti, I. Renault, M. Venetier, P. Mériaux, S. Palma Lopes, et al.. Détection électrique de racines vivantes : modélisation et expérimentation sur le terrain. Dignes maritimes et fluviales de protection contre les submersions, Jun 2013, Aix-en-Provence, France. p. 429 - p. 433. hal-00939098

HAL Id: hal-00939098

<https://hal.science/hal-00939098v1>

Submitted on 30 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Détection électrique de racines vivantes : modélisation et expérimentation sur le terrain

Electrical detection of live root : modeling and field testing

Caroline Zanetti^{1a3}, Isabelle Renault^{1a}, Michel Venetier^{1b}, Patrice Mériaux^{1a}, Sérgio Palma Lopes², Benjamin Mary¹

¹ Irstea, 3275 route de Cézanne, Aix-en-Provence

^{1a} UR Ouvrages hydrauliques et Hydrologie, patrice.meriaux@irstea.fr

^{1b} UR Ecosystèmes Méditerranéens et Risques, michel.venetier@irstea.fr

² IFSTTAR, Centre de Nantes, sergio.lopes@ifsttar.fr

³ ArbEauSolutions, Entreprise spécialisée en conseil de gestion de la végétation sur ouvrages hydrauliques
c.zanetti@arbeausolutions.fr

Résumé

Ces recherches s'inscrivent dans le cadre de l'étude de l'enracinement des arbres dans les ouvrages hydrauliques. Un des objectifs est l'identification d'une méthode non destructive pour la détection des racines, celles-ci induisant un risque dans les ouvrages en remblai, et notamment des digues.

La méthode électrique de « mise-à-la-masse » a été utilisée dans le cadre de ces essais. Elle consiste à injecter directement le courant dans le végétal pour tenter de détecter des racines dans le sol et localiser les plus grosses. Cette technique a été très peu développée jusqu'à présent dans l'étude des racines.

L'appareil utilisé (6470 - Chauvin Arnoux) mesure la résistivité apparente. Une électrode d'injection a été implantée à la base du tronc, et l'électrode de mesure M a été déplacée le long de cercles centrés sur l'arbre et de diamètres croissants jusqu'à 8m.

Cette expérience a été réalisée sur 4 jeunes sujets de peuplier en pot et 3 peupliers matures implantés sur sol naturel.

L'interpolation des mesures ponctuelles a permis d'obtenir une carte de la résistivité dans un cercle de 8 m de diamètre.

Au cours de la calibration du protocole, les variations lors de mesures répétées temporellement sur un point fixe se sont avérées très faibles (0,2 à 1,1 $\Omega.m$) par rapport aux variations spatiales (5 à 20 $\Omega.m$), qui peuvent donc être interprétées.

Le déterrage des systèmes racinaires a montré, parfaitement sur un exemple et moins nettement sur le second, que la position des grosses racines superficielles (moins de 15 cm de profondeur et au moins 5 cm de diamètre au départ de la

souche) correspondait spatialement aux variations révélées par la carte d'isovaleurs de résistivité.

Ces recherches exploratoires, bien que conduites sur un très petit échantillon, sont néanmoins prometteuses et vont être poursuivies dans le cadre d'une thèse.

Abstract

This research is part of a study on tree root systems impact on dikes and dams. The objective is to identify a non-destructive method to detect dangerous roots in earth dikes. The "mise-à-la-masse" method is tested with a resistivity-meter (6470 - Chauvin Arnoux. Current is injected directly in the tree to detect root presence in the soil. This protocol is not well documented in roots studies until now. An electrode is used to inject current in tree trunk and another one is moved along concentric circles of increasing diameters. Interpolation of resistivity measures gives a resistivity map within a radius of 8 m.

This experimentation has been realised on 4 young poplar trees in jar and on 3 adult poplar trees rooted in a natural soil. Repeated measures on the same points during protocol calibration showed very few variations (between 0,2 and 1,1 $\Omega.m$) compared to spatial variations around the trees (5 to 20 $\Omega.m$).

After root excavation, the spatial distribution of shallow big and long roots (less than 15 cm in depth and more than 5 cm of proximal diameter) matched the variations illustrated on the resistivity map.

This research shows very promising results and will be continue during a PhD study.

Introduction

L'enracinement des arbres entraîne des risques pour les ouvrages hydrauliques en terre [1]-[3].

Le développement des systèmes racinaires ligneux dans les digues génère des risques de dégradation et d'érosion liés à l'action des racines vivantes et au phénomène de décomposition du bois.

Les arbres déracinés par l'effet du vent peuvent générer des dégâts visibles importants, tandis que les racines décomposées, laissent des galeries non perceptibles au sein des remblais [1].

Les travaux de recherches menés entre 2007 et 2010, ont mis en évidence que certaines espèces végétales étaient plus dangereuses que d'autres du fait de leur spécificités morphologiques. Les robiniers, les saules et notamment les peupliers développent des racines de diamètre et longueur très importants. Ce sont également des espèces ayant un bois présentant une faible résistance à la dégradation. Le peuplier, pionnier et robuste, est l'essence la plus présente sur les ouvrages hydrauliques. Afin de connaître la distribution exacte des racines dans le sol, les protocoles appliqués à ce jour, notamment par Irstea [4], prévoient de déterrer et d'extraire mécaniquement les systèmes racinaires, ce qui constitue une méthode destructive pour le végétal et pour l'ouvrage qu'il faut ensuite réparer.

Il paraît donc essentiel de développer une technique non destructive permettant de détecter et localiser les racines potentiellement dangereuses dans une digue ou un barrage en remblai.

En 2010, des premiers essais exploratoires en laboratoire de détection par méthode électrique d'échantillons de racines enfouis dans des bacs de matériau [4] ont permis d'identifier les conditions optimales pour la réalisation de mesures sur le terrain. Le peuplier s'est montré plus conducteur que d'autres espèces testées (Robinier, chêne, frêne) et les matériaux non conducteurs (sables et graves) sont les plus propices à la détection des racines car ils offrent un fort contraste de résistivité [4]. En conclusion de ces essais, l'utilisation de méthodes électriques semblait donc prometteuse pour la détection non-destructive des racines [5]-[7].

La prospection électrique mesure en plusieurs points de la surface, entre différentes électrodes, la différence de potentiel due à l'injection d'un courant continu dans le sol [8]. Le but de cette méthode est de calculer la résistivité apparente des terrains sous-jacents en voyant comment le flux de courant change suivant les milieux. La mise-à-la-masse est une méthode que l'on peut considérer comme un cas particulier des mesures de potentiel [9]. Dans ce cas l'électrode d'injection est remplacée par un objet conducteur dans lequel on injecte le courant. L'ensemble de l'objet joue alors plus ou moins le rôle d'électrode, toute sa surface se mettant sensiblement au même potentiel, lorsque l'objet en question

est très conducteur. Cette méthode a été déployée lors d'expérimentations récentes pour comprendre les modalités de propagation du courant au sein du végétal et pour apprécier, en situation réelle, sa capacité à repérer depuis la surface les racines des arbres en place [10].

Matériel et Méthodes

Modélisation

Il s'agit d'un modèle 3D. Nous avons choisi de modéliser une racine de conductivité élevée et un sol résistant sous Comsol Multiphysics. Le milieu a pour taille 100x100x50 m et a une résistivité de 1000 Ohm.m. La racine est modélisée par une section de 0,2x0,2 m, le tronc est affleurant et la racine est horizontale à 0,3m de profondeur et « infiniment » longue. Les électrodes sont en surface : A sur la partie émergente de la racine, B à l'infini, N également mais pas dans la même direction et M est mobile en cartographie autour de A (tous les 45°, AM = 0,1 à 50 m - Figure 1).

Ce logiciel nous donnant des valeurs de potentiel, nous avons multiplié les résultats par un facteur géométrique pour obtenir des résistivités apparentes comparables à celles que nous mesurerons sur le terrain.

Les rayons sur lesquels nous avons des données étant peu nombreux, nous avons tracé les résistivités apparentes pour chaque rayon en fonction de la distance AM puis fait une cartographie.

Expérimentation sur de jeunes peupliers s'étant développés en pot

Avant de débiter les expérimentations sur des arbres en place, nous nous sommes intéressés à de jeunes peupliers ayant grandi en pot afin de déterminer si le courant emprunte un chemin préférentiel dans le végétal.

Après avoir déterré les systèmes racinaires des jeunes arbres, les mesures ont été effectuées à l'aide d'un contrôleur de terre et de résistivité : le Chauvin Arnoux C.A. 6472 (puissance allant de 0.001 W à 100 kW et fréquence de 41 Hz à 5 kHz). Pour relier l'appareil à l'arbre, nous avons utilisé deux fils conducteurs branchés sur des pinces crocodiles. Chacune de ces dernières était ensuite reliée à une aiguille fine de 4 cm de longueur.

Quatre jeunes peupliers (5 à 6 cm de diamètre au collet) ayant grandi en pot ont été déterrés.

L'appareil était réglé de telle sorte qu'il effectuait des mesures de résistance et d'intensité entre deux points sous une tension continue (U=16V, 55 Hz). Tout au long des mesures, les arbres étaient posés sur un sol isolant.

A était plantée au niveau du collet (base du tronc), puis nous avons mesuré la résistance à une distance de 15 cm sur toutes les racines de l'arbre et ceci pour les 4 arbres. Ainsi, la distance AB restait constante ainsi que le diamètre en A.

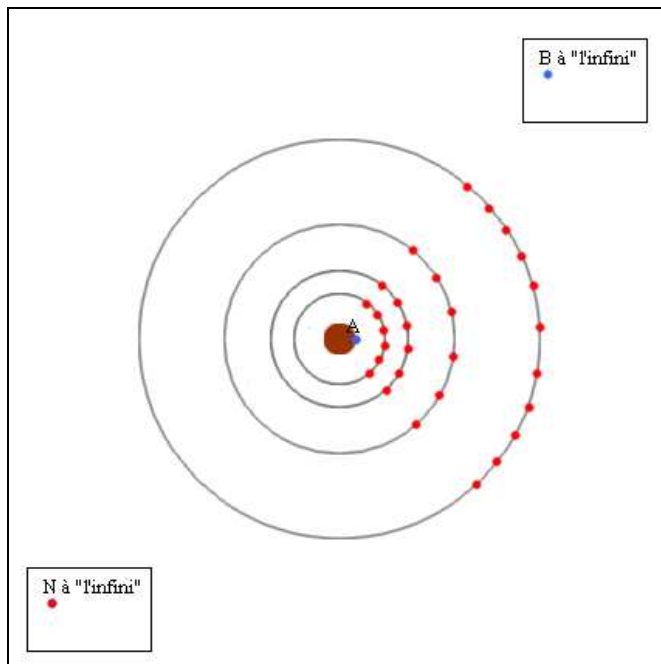


FIGURE 1 : DISPOSITION DES QUATRE ELECTRODES DE MESURES. LES POINTS ROUGES CORRESPONDENT AUX DIFFERENTES POSITIONS DU POINT M.

Expérimentation sur des peupliers matures implantés sur terrain naturel

Trois peupliers sur pied ont été utilisés (diamètre au collet entre 20 et 25 cm).

Le même appareil, soit le résistivimètre Chauvin-Arnoux, a servi pour ces expériences. Nous disposions également de 3 tiges métalliques et d'un clou servant d'électrode, et de bobines de fil conducteur de 50 mètres.

Les mesures ont été effectuées à la surface du sol (10 à 15 cm de profondeur).

Dans un premier temps, la configuration pôle-pôle a été choisie. Ainsi B et N sont à l'infini (30 à 50 m en pratique), A dans la racine et seule M est déplacée le long de cercles centrés en A. L'appareil a calculé la résistivité apparente dans la configuration de Wenner. La tension est de 32 V et la fréquence choisie pour toutes les expérimentations est de 55 Hz.

Les mesures ont été effectuées sur deux zones de 90°, soit en tout 180°. Les arcs de cercle étaient séparés de 10° et pour chacun d'eux des mesures ont été effectuées pour les distances AM suivantes : 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m, 6 m, 7 m, 8 m, 9 m. Les données ont été ensuite utilisées pour obtenir des cartes d'isovaleurs.

La fréquence de 55 Hz est restée identique pour les deux types d'essais (en pot et sur site). Le voltage a été augmenté afin de tenir compte du changement d'échelle (distance inter-

électrodes sur le terrain et distance inter électrode sur les arbres en pot).

Résultats

Modélisation

Nous avons réalisé un modèle très simplifié sous Comsol Multiphysics avec un sol résistant contenant une racine proche de la surface (10 cm de profondeur- Figure 2).

Les résistivités apparentes ont été calculées uniquement sur cinq rayons et une carte d'isovaleurs a été réalisée (Figure 3).

Une cartographie a été tracée et elle présente des cercles d'isovaleurs de résistivité apparente qui s'étirent dans la direction de la racine.

La modélisation montre qu'il semble possible de détecter et repérer des racines par la méthode de mise-à-la-masse. Néanmoins, il convient de noter que le modèle a été conçu avec une situation idéale avec une racine très conductrice dans un sol homogène plus résistant.

Expérimentation sur les jeunes peupliers s'étant développés en pot

Sur les racines lignifiées, le courant se déplace sous l'écorce, dans la partie qui correspond à l'aubier (zone du transport de la sève).

Cependant, le courant n'a pas de chemin préférentiel dans l'arbre : il se dirige dans toutes les racines et également dans le tronc. Ces résultats invalident notre hypothèse qui était que l'injection au niveau du départ d'une racine aurait éclairé la racine en particulier, or, le courant se diffuse dans tout le végétal et perd de l'intensité avec la distance et le diamètre des racines.

La valeur de la résistance dépend du diamètre des racines : à distances égales, plus le diamètre est grand, moins la résistance est importante. En effet, il semblerait que la résistance soit beaucoup plus grande dans une racine secondaire lorsque celle-ci est moins épaisse que dans la racine principale.

Nous avons fait une analyse statistique à partir de ces données et nous avons réussi à relier la résistance au diamètre de B dans les racines avec une $R^2= 0,93$ (Figure 4).

Ces résultats sont intéressants cependant ces formules ne sont probablement pas transposables à tous les arbres et même à tous les peupliers.

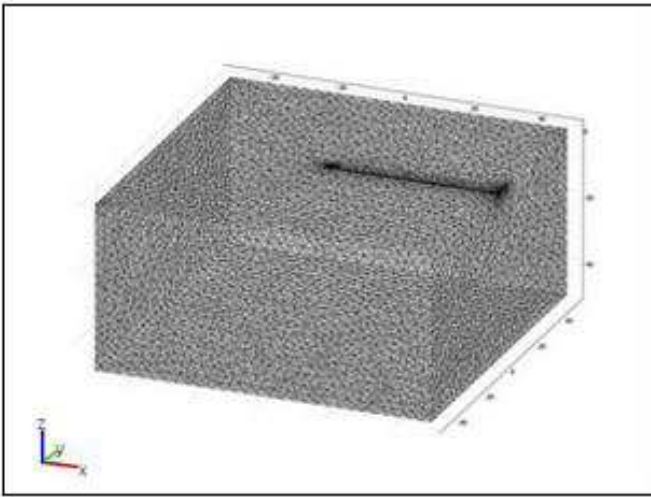
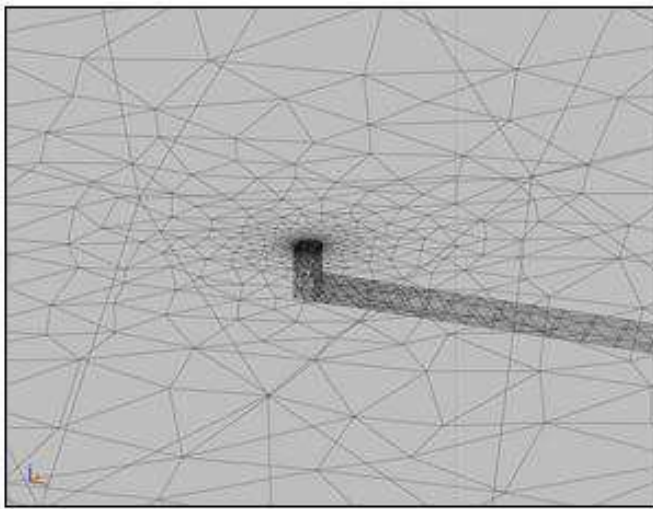


FIGURE 2 : MAILLAGE MODELISE : SOL AVEC UNE RACINE PROCHE DE LA SURFACE

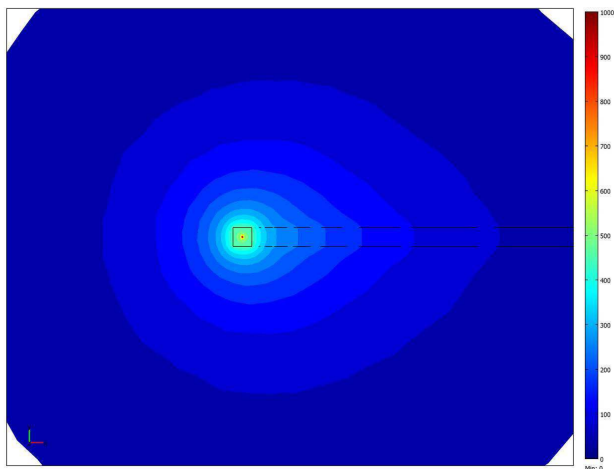


FIGURE 3 : CARTOGRAPHIE RESULTANT DE LA MODELISATION

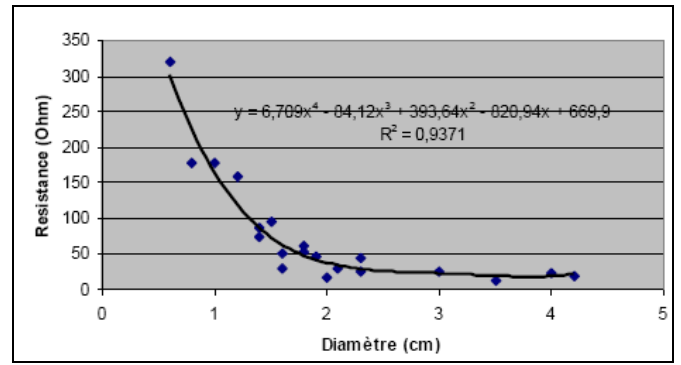


FIGURE 4 : RESISTANCE EN FONCTION DU DIAMETRE (A 15 CM DE DISTANCE DE LA BASE DU TRONC).

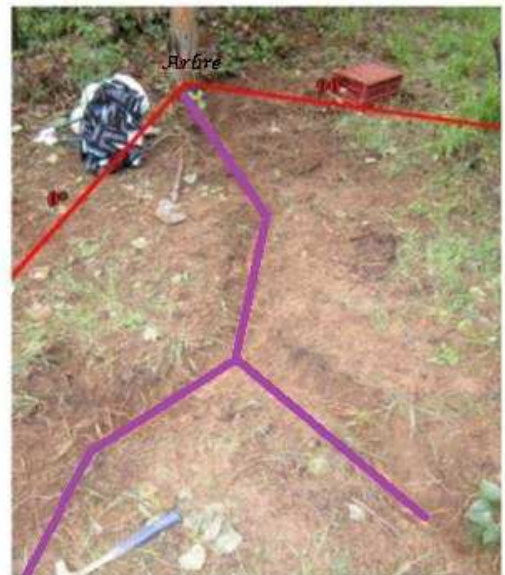
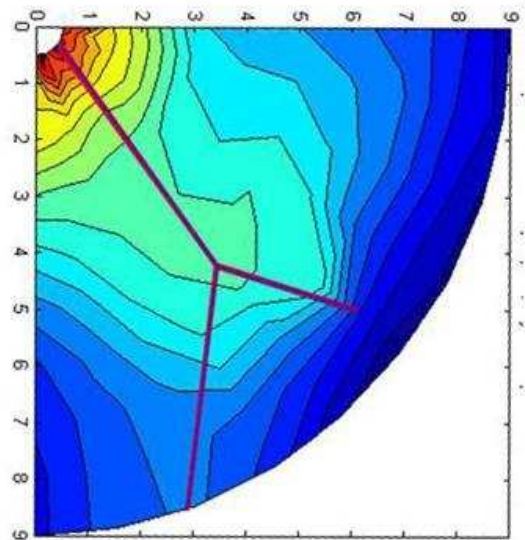


FIGURE 5 : CARTOGRAPHIE OBTENUE PAR MESURES DE RESISTIVITE ET PHOTO ILLUSTRANT LA REALITE

Expérimentation sur des peupliers matures implantés sur terrain naturel

La déformation des lignes sur la carte d'isovaleurs (Figure 5) montre une anomalie de résistivité qui pourrait correspondre à une racine principale (zone d'expansion de la couleur vert clair). Celle-ci se prolonge dans deux directions se séparant à 2 ou 3 m de l'arbre.

Nous avons creusé le sol près de l'arbre dans la direction correspondant à l'anomalie et sommes immédiatement tombés (à 10 cm de profondeur) sur une racine dont le diamètre initial était de 8 cm et de 6 cm à 2 m du tronc. Cette racine présentait une fourche à 2 m de l'arbre comme le laissait supposer la carte.

Pour valider ce résultat, il nous a fallu creuser sur toute la zone cartographiée afin de vérifier qu'il n'y avait pas d'autres racines qui n'auraient pas été détectées. A part quelques petites racines au pied de l'arbre, de quelques millimètres de diamètre et de quelques centimètres de long, qui seraient à l'origine de la zone rouge autour de l'arbre, de forte résistivité apparente, il n'y avait pas d'autre grosse racine. Sur le Figure 5, sur la cartographie les traits correspondent aux zones où nous avons pensé qu'il pourrait y avoir une racine et sur la photo, il s'agit du trajet de la racine de 8 cm de diamètre au départ.

Sur l'exemple présenté ici, cette technique a permis d'obtenir une anomalie nette de résistivité, qui s'avère plus élevée lorsqu'on se trouve à proximité d'une grosse racine. Il semble ainsi possible de déterminer la direction des racines de structure (diamètre supérieur à 5 cm), mais il est difficile de prédire leur dimension précise, en diamètre et en longueur. Les essais sur les deux autres sujets ont donné des résultats similaires, quoique moins nets.

Conclusion et perspectives

La première constatation importante de notre étude est le fait que le courant n'a pas de chemin préférentiel dans l'arbre : il se dirige dans toutes les racines et également dans le tronc.

Les expérimentations sur les petits arbres nous ont également montré que la résistance entre deux électrodes piquées dans le peuplier dépend de la distance entre ces deux électrodes et du diamètre des racines ou du tronc aux endroits où sont implantées les électrodes. Le courant passe mieux dans les racines de gros diamètre.

Ces expériences nous ont également permis de constater que l'ancrage de l'électrode influençait grandement les résultats et qu'il était nécessaire de mettre au point une technique afin de planter l'électrode (aiguille ou clou) toujours de la même façon.

Trois expériences exploratoires menées sur des peupliers en place nous ont donné des résultats intéressants : la méthode de la mise à la masse est donc une piste prometteuse à exploiter pour déterminer de façon non destructive le tracé des plus grosses racines des arbres jusqu'à une profondeur restant à préciser.

Les prochains tests chercheront à confirmer ces premiers résultats encourageants et à observer les variations de réponse de la résistivité en fonction des espèces végétales, de la taille des racines, des différents types de sol et de leur taux d'humidité, ainsi que de la profondeur de la mesure en fonction des paramètres d'injection. Des études paramétriques étudiant l'influence de la profondeur de la racine, du contraste de résistivité, du degré de saturation du sol doivent être réalisées.

Une thèse vient de démarrer (B. Mary), sous la direction d'Irstea, du Cerege et de l'IFSTTAR, sur le développement de techniques géophysiques non destructives pour la détection des racines ligneuses dans les sols. Des essais seront réalisés en conditions réelles sur des arbres devant être retirés des digues ou barrages.

Remerciements

Les auteurs remercient la Fédération de recherche ECCOREV qui a soutenu les travaux expérimentaux du présent article et assuré une partie du financement du stage d'Isabelle Renault en Master 2 à l'EOST de Strasbourg.

Références

- [1] Zanetti C. (2010) *Caractérisation du développement des systèmes racinaires ligneux dans les digues*, Thèse de doctorat, Université de Provence – IRSTEA Aix en Provence, 197p.
- [2] Mériaux P, Vennetier M, Aigouy S, Hoonakker M and Zylberblat M (2006) *Diagnostic et gestion de la végétation sur les digues et barrages en remblai*. Commission Internationale des Grands Barrages 22^e Congrès des Grands Barrages: pp. 1-19.
- [3] Vennetier M, Chandioux O, Ripert C and Mériaux P (2004) *Diagnostic et gestion de la végétation sur ou dans l'environnement des digues*. Cemagref, Aix en Provence. pp 1-18.
- [4] Zanetti C., Weller A., Venneteir M., Meriaux P. (2011) Detection of buried tree root samples by using geoelectrical measurements: a laboratory experiment. *Plant and Soil* 339, pp. 273–283
- [5] Amato, M., B. Basso, et al. (2008). *In situ detection of tree root distribution and biomass by multi-electrode resistivity imaging*. *Tree Physiology* 28(10): 1441-1448.
- [6] Dalton, F. N. (1995). *In-situ root extent measurements by electrical capacitance methods*. *Plant and Soil* 173(1): 157-165.
- [7] Hagrey, S. A. and T. Petersen (2011). *Numerical and experimental mapping of small root zones using optimized surface and borehole resistivity tomography*. *Geophysics* 76(2): G25-G35
- [8] Chapellier, D. (2000) *Cours de géophysique : la prospection électrique de surface*. Université de Lausanne
- [9] Osiensky J. L. (1997). *Ground water modeling of mise-a-la-masse delineation of contaminated ground water plumes*. *Journal of Hydrology* 197(1-4). pp. 146-165.
- [10] Renault I. (2012). *Détection électrique de racines vivantes : expérimentation sur le terrain*. Rapport de stage de fin d'étude d'Ingénieur de l'Ecole et Observatoire de Sciences de la Terre de l'Université de Strasbourg – IRSTEA, Aix-en-Provence, 68p

Mots-Clés

Détection, racines vivantes, méthode électrique non-destructive, modélisation, expérimentation.