

# DÉTERMINATION PAR MÉTHODES ÉLECTRIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE LA CONTAMINATION DES TERRES AVOISINANT LE CENTRE D'ENFOUISSE- MENT TECHNIQUE D'OULED FAYET (ALGER, ALGÉRIE).

Leila DJADIA\*, Amar BOUDELLA\*\*, Fatma KHALDAOUI\*\*, Abdesslam ABTOUT\*,  
Djamel MACHANE\*\*\*, Saad Eddine HADJADJ\*\* et Mehdi-Amine GUEMACHE\*

## RÉSUMÉ

Les lixiviats résultant des déchets stockés dans le centre d'enfouissement technique (CET) d'Ouled Fayet (Alger), constituent une source potentielle de contamination des eaux souterraines. Ces produits, menacent également à brève échéance la faune et la flore de la région.

Pour suivre les éventuelles contaminations induites par l'infiltration des lixiviats, et pallier ainsi aux risques sus-cités, une série d'investigations par méthodes géophysiques (sondage électrique vertical, traîné électrique et méthode électromagnétique Slingram) ont été entreprises autour d'un casier faisant partie du CET d'Ouled Fayet. Les enregistrements ont été réalisés en deux périodes différentes : en juillet 2006, quand le casier était rempli de déchets à 50% et en mars 2007 pendant la phase finale de son exploitation (plus de 90%).

Les résultats obtenus ont permis de détecter autour de la zone prospectée, des anomalies à très fortes valeurs de conductivité, témoins directs de la présence des lixiviats.

Des études complémentaires et mesures palliatives immédiates seraient alors souhaitables.

**Mots clés** - Lixiviats - Déchets - Contaminations - Méthodes géophysiques - Conductivités.

---

\*Département de Géophysique, Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG). BP. 63, Route de l'Observatoire 16340 Bouzaréah, Alger, Algérie. l.djadia@craag.dz.

\*\*Département de Géophysique, Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du Territoire (FSTGAT), Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène (USTHB). BP. 32, El Alia 16111, Bab Ezzouar, Alger, Algérie.

\*\*\*Département Aléa Sismique, Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS). 1 rue Kaddour Rahim, BP. 252, Hussein Dey, Alger, Algérie.

- *Manuscrit déposé le 27 Juillet 2009, accepté après révision le 24 Avril 2011.*

## DETERMINATION OF THE CONTAMINATION IN THE NEIGHBOURING FIELDS OF OULED FAYET LANDFILL (ALGIERS, ALGERIA) BY ELECTRICAL AND ELECTROMAGNETIC METHODS

### ABSTRACT

The leachates produced by the stocked waste in Ouled Fayet landfill (Algiers), constitute a real danger for ground water and all neighbouring agricultural fields. As a result, all present fauna and flora of the region are threatened.

To discern possible contaminations caused by the infiltration of leachates, some measurements by geophysical methods (electrical vertical boring, resistivity profiling and electromagnetic Slingram) were applied around a cell being part of Ouled Fayet landfill. Recordings were accomplished in two periods, the first one is realised when the cell was filled with waste at 50 % and the second one in final stage of exploitation (more than 90 %).

The obtained results allowed discerning anomalies with very strong conductivities around the canvassed zone, which can be in relation with the presence of leachates. Indeed, these leachates were seeped around the cell, and that constitutes a big risk on the groundwater if the good implements will not be taken on time to restrict these infiltrations.

**Keywords** - Leachates - Waste - Contaminations - Geophysical methods - Conductivities.

### I- INTRODUCTION

Le stockage des déchets dans des décharges sauvages constituait dans un passé récent une source potentielle de pollution du sol, des nappes phréatiques. Un tel stockage induit inévitablement la dégradation de la faune et la flore avec ses répercussions sur la santé publique (Redfearn et *al.*, 2000; Vrijheid, 2000; Jarup et *al.*, 2002; Butt et Oduyemi, 2003; Abdulla et *al.*, 2008)..

Face à cela et, par souci de protection du milieu, l'Algérie s'est orientée vers un nouveau programme de gestion des déchets à travers l'introduction de la notion de centre d'enfouissement technique (CET) qui vient remplacer celle de décharge.

Le CET doit donc répondre à des règles et dispositions techniques précises. Le choix de son emplacement tient compte de plusieurs critères : la structure géologique du site, l'éloignement des zones urbaines, le risque écologique, la réaction du public, la facilité du transport, le

coût économique relatif au cycle de vie de la décharge ainsi que ses effets sur la santé (Banar et *al.*, 2007). En effet, le premier critère qui est la formation géologique encaissante, nécessite une étude approfondie. De ce fait, il devient impérieux d'impliquer les méthodes géophysiques dans toutes les phases de réalisation d'une décharge (conception, exploitation, fermeture).

Dans ce contexte, un travail qui a consisté en l'étude de l'étanchéité du fond d'un casier destiné à recevoir des déchets, a été réalisé (Djadia et *al.*, 2008 et 2009) dans un premier temps. La détection et le suivi des contaminations causées, constituent l'objet de cette étude en second temps. L'approche géophysique consiste à déterminer les caractéristiques géométriques des sites de décharges, à détecter et suivre l'évolution des contaminations induites (Kobr et Linhart, 1994; Aristodemou et Thomas-Betts, 2000; Orlando et Marchesi, 2001; Marchetti et *al.*, 2002; Porsani et *al.*, 2004; Soupios et *al.*, 2007).

Les techniques utilisées consistent en une série d'enregistrements par méthodes électriques

DÉTERMINATION PAR MÉTHODES ÉLECTRIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE LA CONTAMINATION DES TERRES AVOISINANT LE CENTRE D'ENFOUSSEMENT TECHNIQUE D'OULED FAYET (ALGER, ALGÉRIE)

(sondage et traîné) et électromagnétique (Slingram) tout autour du même casier pendant son exploitation (placement des déchets) afin de détecter les possibles infiltrations de lixiviats dans les sols.

## II- CADRE DU SITE ÉTUDIÉ

Situé au sud-ouest de la capitale Alger, le CET d'Ouled Fayet est considéré comme le projet pilote des centres d'enfouissement technique en Algérie (fig. 1). Il est constitué de 5 casiers de dépôts. Le casier 3 de la décharge présente le

cas d'étude. En effet, au début de l'année 2003, le site a été creusé de façon à avoir une base plane de dimensions (150x200 m) et d'une profondeur de 22 m, avec des parois à 30° de pente. Quelques mois plus tard, le fond et les parois du casier ont été recouverts par une géomembrane pour renforcer l'étanchéité du site et commencer les travaux d'exploitation.

Au milieu, le centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet est marqué par la présence d'une couverture végétale naturelle et quelques arbres d'eucalyptus. À l'extérieur, la flore est essentiellement constituée de vignoble. Quelques plantes, sans intérêt particulier du point de vue botanique, sont présentes et constituent des aliments de bétail des fermes voisines.

La coupe géologique (fig. 2) réalisée à partir des 06 sondages carottés effectués avant excavation (Benabidi et Si Bachir, 2000), a permis de mettre en évidence un terrain constitué principalement d'argiles et de marnes, d'une épaisseur de 20 m, reposant sur un substratum marneux.

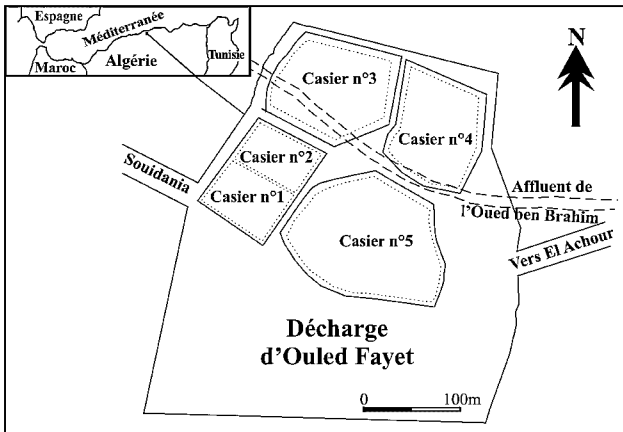


Fig. 1 - Schéma représentatif montrant la position du site d'étude (casier n°3) dans le centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet.

*Representative diagram showing the position of the study site of study (cell n°3) in the Ouled Fayet landfill.*

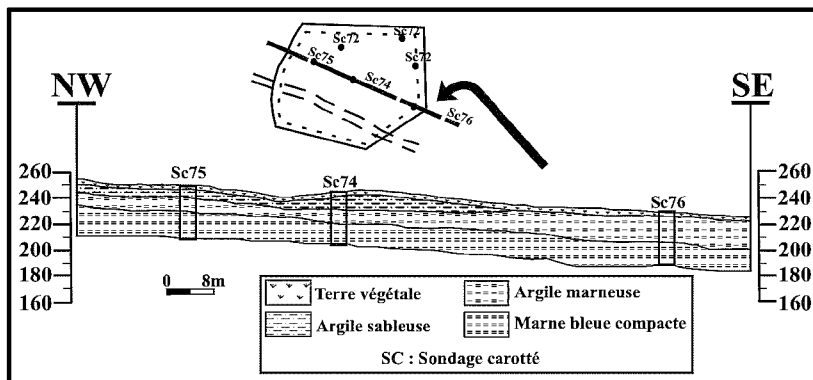


Fig. 2 - Coupe géologique réalisée à partir des données de 03 sondages carottés, ces sondages ont été effectués avant excavation du site d'étude.

*Geological cross section realized from the data of 03 boreholes, these boreholes were performed before excavation.*

Le climat, régnant dans la région d'Ouled Fayet est un climat de type méditerranéen, à caractère humide. Les précipitations moyennes annuelles se situent entre 700 mm et 800 mm.

### III- PROSPECTION GÉOPHYSIQUE

Les techniques géophysiques qui se basent sur la mesure de la résistivité électrique ou son inverse la conductivité électrique, sont à privilégier pour l'identification et le suivi d'éventuelles infiltrations de lixiviats dans la décharge. En effet, la conductivité électrique tend à augmenter fortement dans les formations contaminées (Martinho et Almeida, 2006). La surveillance par résistivité électrique des infiltrations de lixiviats dans le sol a donné de bons résultats. De récentes études, utilisant ces méthodes, ont montré les changements temporels des propriétés de la décharge (Frid et al., 2008; Kamura et al., 2005). Dans le voisinage du site d'une décharge, Pujari et al. (2007) ont pu évaluer la pollution des eaux souterraines induites par les déchets.

Dans ce travail, principalement la méthode électrique est mise en œuvre pour réaliser 6 sondages verticaux et 4 profils de traîné. En outre, la méthode électromagnétique est appliquée pour réaliser 4 profils de cartographie Slingram (fig. 3).

L'acquisition des données s'est faite pendant deux campagnes; la première en juillet 2006 quand le remplissage du casier avait atteint environ 50% et la deuxième en mars 2007 quand l'exploitation a dépassé les 90%. Il est important, également, de signaler que le terrain prospecté se trouve entouré de clôture ou faisant face à d'autres casiers, ce qui rendait la réalisation des mesures difficile et assez limitée.

#### III-1. Les méthodes électriques

Tous les enregistrements électriques ont été effectués à l'aide du résistivimètre Syscal R2 d'Iris instrument (Iris Instruments, 2001).

##### A- Sondages électriques

Les six sondages électriques réalisés (fig. 3) avec le dispositif Schlumberger autour du casier 3, durant la première campagne d'enregistrements (juillet 2006), ont été répartis sur les côtés nord, ouest et sud du casier, selon les conditions de terrain. La longueur maximale d'émission de ces sondages est de 300 m. Les différents paramètres caractérisants chaque sondage sont donnés dans le tableau I.

##### B- Traînés électriques

Durant la deuxième campagne de mesures (mars 2007), des enregistrements de résistivité électrique, en utilisant la technique du traîné, ont été réalisés avec le dispositif Wenner avec deux longueurs de ligne AB : 50 m et 100 m (fig. 2).

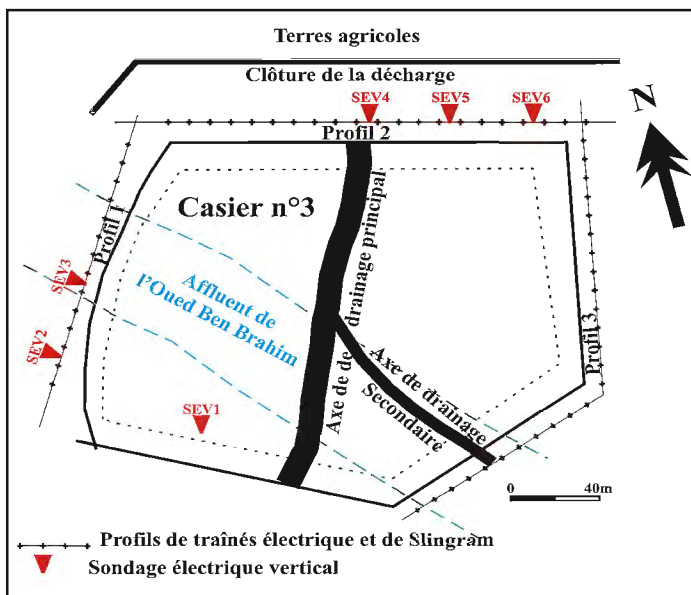


Fig. 3 - Position des enregistrements électriques et électromagnétiques sur le site d'étude.

*Position of the electrical and electromagnetic recordings in the site of study.*

DÉTERMINATION PAR MÉTHODES ÉLECTRIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE LA CONTAMINATION DES TERRES AVOISINANT LE CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE D'OULED FAYET (ALGER, ALGÉRIE)

**Tableau I** - Paramètres caractérisant les sondages électriques effectués dans le site d'étude.

*Parameters characterizing the electrical boring realized in the site of study.*

Sondages	Position par rapport au casier	Direction	Longueur de ligne AB (m)
SEV1	Sud (intérieur du casier)	Est-Ouest	120
SEV2	Ouest	Nord-Sud	300
SEV3	Ouest	Nord-Sud	200
SEV4	Nord	Est-Ouest	200
SEV5	Nord	Est-Ouest	200
SEV6	Nord	Est-Ouest	300

Ces enregistrements sont réalisés sur trois profils, au nord, à l'est et à l'ouest du casier, avec un intervalle de 10 m entre les points de mesure.

### III-2. Méthode électromagnétique Slingram

L'instrument utilisé pour la technique Slingram est le MAXMIN I+10 de la société Apex Parametrics (Apex Parametrics limited, 1998).

L'acquisition des données électromagnétiques s'est faite dans le mode MAX1 où, les deux boucles émettrice et réceptrice sont horizontalement coplanaires (dipôle vertical).

Trois espacements émetteur-récepteur ont été utilisés, il s'agit des câbles de 10 m, 20 m et 40 m permettant ainsi d'atteindre trois profondeurs d'investigations selon la relation de McNeill (1980) :

$$P = 1.5 \times S$$

où :

- **P** est la profondeur d'investigation atteinte en mètres;
- **S** est l'espacement entre l'émetteur et le récepteur en mètres.

La fréquence utilisée lors de l'acquisition est de 56320 Hz pour les câbles de 10 m et 20 m et

de 28160 Hz pour le câble de 40 m.

Les mesures sont réalisées sur les mêmes profils que le traîné électrique avec un pas de mesures de 10 m.

## IV- RÉSULTATS ET DISCUSSION

### IV-1. Sondages électriques

Les six sondages électriques ont été réalisés autour du casier, au moment où son exploitation était à environ 50%. Le logiciel « IPI2WIN » de l'Université de Moscou (Shevnin and Modin, 2003) est utilisé pour l'analyse des données. L'interprétation des résultats de sondages obtenus, montre que le terrain autour du casier est formé globalement de 3 à 4 couches d'épaisseurs et de résistivités variables (fig. 4).

#### SEV1 : sud du casier

Il est important de noter la grande difficulté dans la réalisation de ce sondage situé à l'intérieur du casier où des lixiviats flottaient en surface. Pour cela, sa longueur de ligne AB n'a pas dépassé les 120 m.

L'analyse de la courbe de sondage montre que le terrain est composé de 4 couches :

- la première a une résistivité de 40  $\Omega$ m, elle représente la couche de terre qu'on intercale avec les couches de déchets lors du tassement;
- la deuxième couche est une formation moins résistante de 2,5 m d'épaisseur. Elle représente probablement un amas de déchets caractérisé par la présence des lixiviats;
- la troisième couche est la plus résistante (110  $\Omega$ m) avec une épaisseur de 3.6 m. Elle est de même nature que la couche précédente, avec la différence d'une compaction plus importante des déchets.

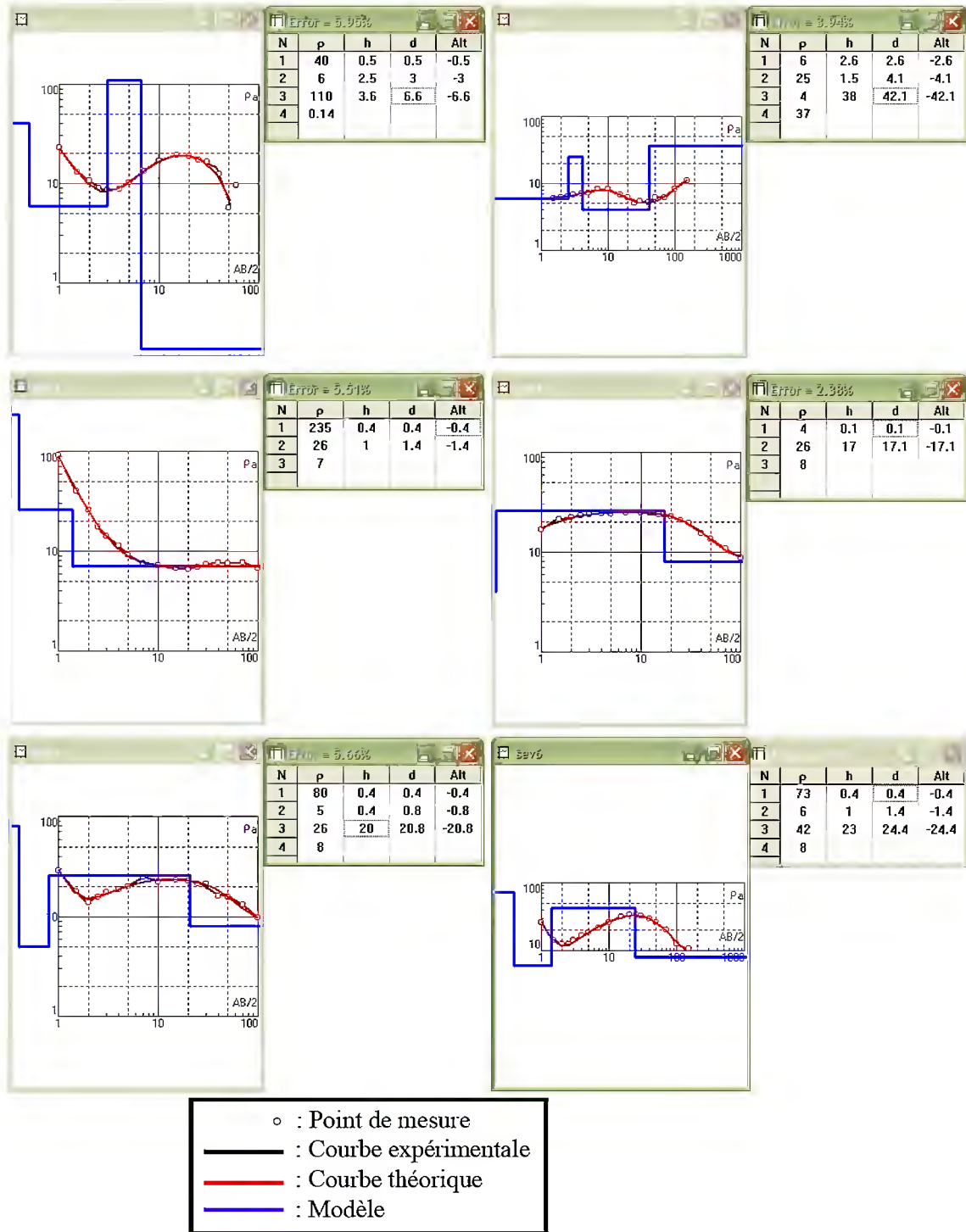


Fig. 4 - Courbes de sondages électriques réalisés sur le site d'étude.  
*Electrical boring curves realized in the site of study.*

DÉTERMINATION PAR MÉTHODES ÉLECTRIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE LA CONTAMINATION DES TERRES  
AVOISINANT LE CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE D'OULED FAYET (ALGER, ALGÉRIE)

- finalement, la quatrième couche, très conductrice ( $0.14 \Omega\text{m}$ ), se trouve à 6.5 m de profondeur. Cette faible résistivité est probablement due à la forte concentration des lixiviats provenant, d'une part, de déchets du casier et d'autre part, du casier n°2 plein et fermé, qui se trouve à proximité du casier n°3.

### SEV2 et SEV3 : ouest du casier

Les sondages SEV2 et SEV3 sont situés sur le côté ouest du casier (fig. 3) qui est traversé par un ancien lit d'oued (Oued Ben Brahim). Les résultats des deux sondages ont montré la succession lithologique suivante :

- une première formation d'une épaisseur allant de 2.6 m à 0.4 m et des résistivités de  $6 \Omega\text{m}$  à  $235 \Omega\text{m}$  respectivement sur SEV2 et SEV3. Dans le premier cas (SEV2), il s'agit probablement d'une couche d'argile influencée par la présence des lixiviats (e.g. Frid et al., 2008). Au contraire, le résultat dans le deuxième cas, (couche mince très résistante), est dû certainement aux conditions climatiques (mois de juillet, sol sec);

- une deuxième couche, apparaît dans les deux sondages, elle a presque la même résistivité (respectivement  $25 \Omega\text{m}$  et  $26 \Omega\text{m}$ ) et une épaisseur

qui augmente vers le sud (de 1 m sur SEV3 à 1.5 m sur SEV2). Ce résultat est dû probablement à une formation de sable argileux en comparaison aux données des sondages carottés effectués près de l'axe de l'ancien lit d'oued;

- une troisième formation dont la résistivité varie de  $4 \Omega\text{m}$  à  $7 \Omega\text{m}$  (faibles valeurs) sur les deux sondages, avec une épaisseur de 38 m sur le SEV2. Elle est due probablement aux marnes vertes mises en évidence au niveau des sondages carottés qui sont influencées localement par les lixiviats (e.g. Guerin et al., 2004 et Zume et al., 2006);

- la dernière couche, montrée uniquement par le SEV2, est la plus résistante dans ce sondage ( $37 \Omega\text{m}$ ). Elle est probablement la résistivité du substratum marneux sain.

### SEV4, SEV5 et SEV6 : nord du casier

Pour les sondages SEV4, SEV5 et SEV6, une corrélation entre les résultats obtenus à partir de chaque sondage a été effectuée afin d'avoir une meilleure interprétation.

La coupe géo-électrique ainsi obtenue (fig. 5), montre que les couches mises en évidence pour les trois sondages, ont relativement des pa-

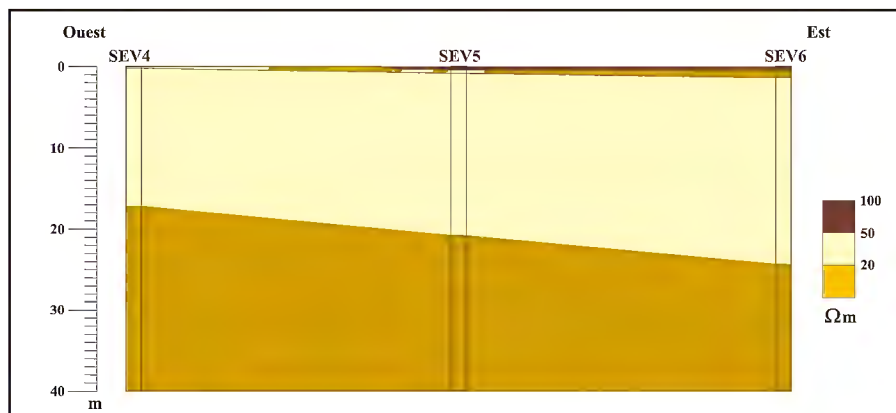


Fig. 5 - Coupe électrique réalisée par la corrélation entre les résultats d'interprétation des trois sondages SEV4, SEV5 et SEV6. Elle montre la distribution de la résistivité électrique au nord du casier n°3.

**Electrical cross section realized by the correlation between the electrical borings interpretation results (SEV4, SEV5 and SEV6). It shows the distribution of electrical resistivity in the North of the cell n°3.**

ramètres (résistivité et épaisseur) très proches, à l'exception de la première couche, caractérisant les deux sondages SEV5 et SEV6, qui est absente au niveau du sondage SEV4. Cette dernière formation, mince (40 cm) et résistante (respectivement 73 et 80  $\Omega\text{m}$ ) est une couche de remblais observés à l'œil nu.

La première couche du SEV4 a les mêmes caractéristiques que la deuxième couche des SEV5 et SEV6. Sa résistivité est très faible, très proche sur les trois sondages (respectivement 4  $\Omega\text{m}$ , 5  $\Omega\text{m}$  et 6  $\Omega\text{m}$ ). Son épaisseur passe de quelques centimètres sur SEV4 et SEV5 à 1 m sur SEV6. Il s'agit probablement d'une formation d'argile sableuse, mise en évidence par les sondages carottés et qui est très influencée pas les lixiviats.

Ensuite, vient une couche de marnes vertes, selon les données de sondages carottés, plus résistante (26  $\Omega\text{m}$  sur SEV4 et SEV5 et 42  $\Omega\text{m}$  sur SEV6). Son épaisseur augmente vers l'ouest pour atteindre 23 m sur le SEV6.

La dernière couche a la même résistivité (8  $\Omega\text{m}$ ) sur les trois sondages. C'est probablement une formation de marnes très influencées par la présence des lixiviats car, à cette profondeur, on a atteint le fond du casier qui constitue la base de la circulation des lixiviats.

#### IV-2. Traînés électriques

En mars 2007, l'exploitation du casier étant à 90%, trois profils de traîné électrique ont été réalisés au nord, à l'est et à l'ouest du casier pour compléter les résultats des sondages. Il n'a pas été possible de couvrir le côté sud puisque l'accès était impossible à cause des lixiviats qui flottaient à l'intérieur du casier.

L'analyse des graphiques donnant la variation de la résistivité apparente mesurée en fonction de la distance, nous a permis de faire les constatations suivantes :

#### Profil 1 : ouest du casier

Ce profil (fig. 6) de direction nord-sud se caractérise par une faible variation de résistivité (3  $\Omega\text{m}$  à 12  $\Omega\text{m}$ ), pour les deux dispositifs (AB=50, 100 m). Ces valeurs de résistivité sont faibles comparées à celles trouvées au niveau des SEV2

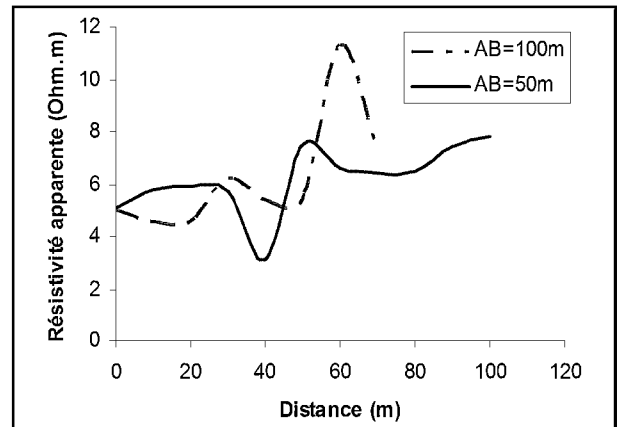


Fig. 6 - Profil nord-sud donnant la variation de la résistivité apparente mesurée au nord du site d'étude à travers deux dispositifs Wenner avec des longueurs de ligne de 50 m et 100 m.

*North-South profile giving the variation of apparent resistivity measured in the North of the study site by the Wenner electrode configuration with two electrode spacing of 50 m et 100 m.*

et SEV3, et cela est probablement lié à l'augmentation de la quantité de déchets dans le casier qui est passé de 50 % pendant la réalisation des sondages à 90 % pour les traînés.

Les pics observés sur les deux graphes (spécialement pour AB=100m) sont sans importance particulière, vu la variation de résistivité trop faible par rapport à l'ensemble des enregistrements.

#### Profil 2 : nord du casier.

Ce profil, de direction est-ouest (fig. 7), montre une résistivité apparente décroissante d'est en ouest pour les deux longueurs de ligne (AB=50 m et AB=100 m).



DÉTERMINATION PAR MÉTHODES ÉLECTRIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE LA CONTAMINATION DES TERRES AVOISINANT LE CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE D'OULED FAYET (ALGER, ALGÉRIE)

Les valeurs de la résistivité apparente varient entre 10  $\Omega\text{m}$  et 30  $\Omega\text{m}$  tout au long du profil, à l'exception d'une seule valeur de 130  $\Omega\text{m}$  située à l'ouest du profil, qui est probablement une erreur liée à l'instrumentation.

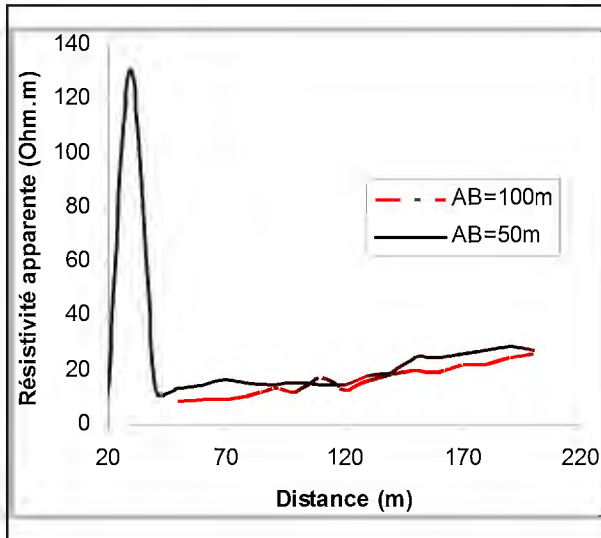


Fig. 7 - Variation de la résistivité apparente suivant un profil de direction est-ouest placé au nord du casier n°3.

*Variation of apparent resistivity along an East-West profile placed in the North of cell n°3.*

Ces valeurs de résistivité peuvent être expliquées par l'infiltration des lixiviats dans les formations argilo-sableuses et marneuses mises en évidence par les sondages carottés et les sondages électriques (SEV4, SEV5 et SEV6). Il n'est pas à exclure aussi l'apport des précipitations qu'a connu la région en cette période de mesure (Mars), qui augmente aussi la conductivité électrique. En effet, au niveau de la clôture nord de la décharge, on a observé une stagnation de liquide constitué essentiellement d'eaux de pluie.

**Profil 3 : est du casier**

Sur la partie est du casier, les enregistrements ont été réalisés sur un profil constitué de deux segments orientés respectivement nord - sud et nord est - sud ouest (fig. 3).

L'analyse des deux graphes (fig. 8) montre que la résistivité varie considérablement, allant de 30 à 4800  $\Omega\text{m}$  pour les deux espacements AB=50 m et AB=100 m. Cette variation ne correspond pas aux valeurs de résistivité des formations existantes dans le site, constituées principalement de marne et d'argile. Elle est expliquée

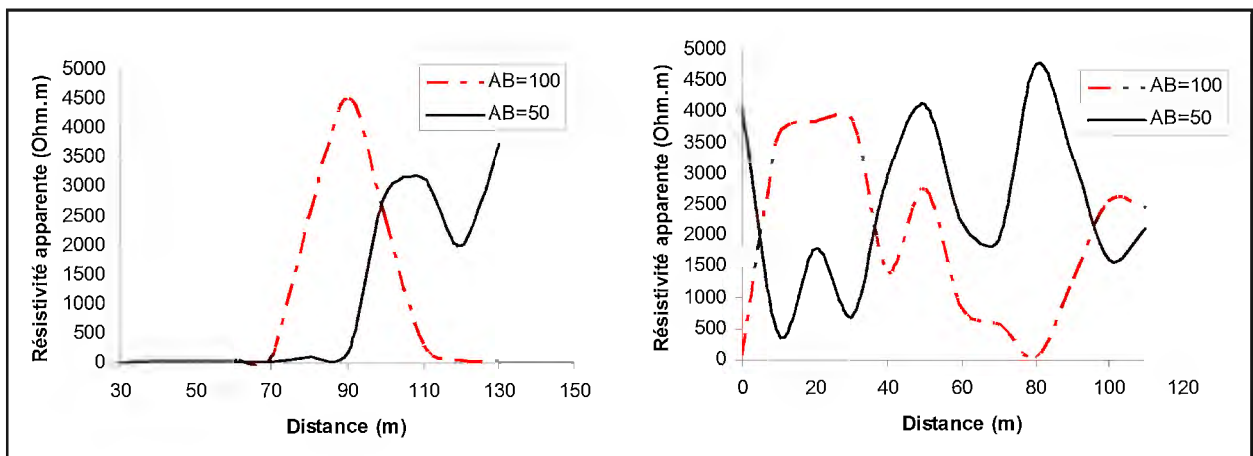


Fig. 8 - Variation de la résistivité apparente mesurée à l'est du site d'étude suivant un profil constitué de deux portions (a) : direction nord-sud; (b) : direction nord est-sud ouest

*Variation of apparent resistivity measures in the East of site, along a profile constituted by two portions (a) : North-South direction; (b) : North East- South West*

par la présence d'une couche isolante qui est la géomembrane et sa petite dalle de fixation placée au-dessus.

### IV-3. Slingram

Les mesures effectuées par la méthode Slingram durant la deuxième campagne, avec trois espacements (10 m, 20 m et 40 m) vont permettre d'avoir des informations supplémentaires sur la nature des terrains entourant le casier à différentes profondeurs (15 m, 30 m et 60 m). Leur représentation graphique permettra l'identification de la variation spatiale de la conductivité apparente.

#### Profil 1 : ouest du casier

La variation de la conductivité apparente, tout au long de ce profil orienté nord-sud (fig. 9), montre que la première dizaine de mètres (longueur de câble de 10 m, donc profondeur de 15 m) est plus conductrice (120 mS/m à 205 mS/m) que les formations sous jacentes (1 mS/m à 35 mS/m). Ceci laisse penser que les formations superficielles constituées essentiellement d'argiles et de marnes sont influencées par les lixiviats si l'on se réfère aux résultats de Zume *et al.* (2006). A 30 m de profondeur, le terrain devient relativement homogène et plus résistant à cause de la diminution de l'effet des déchets.

#### Profil 2 : nord du casier

L'analyse de ce profil (fig. 10) montre clairement pour les deux espacements 10 m et 20 m, une zone de fortes conductivités située à l'est. Ces conductivités varient entre 115 et 170 mS/m pour l'espacement de 10 m et s'atténuent pour l'espacement de 20 m (45 à 160 mS/m). Il est permis donc d'affirmer que le côté est, est plus affecté par les lixiviats que le côté ouest, car leur influence persiste jusqu'à 30 m. L'effet des pré-

cipitations saisonnières a également contribué à rendre le terrain plus conducteur.

À 60 m de profondeur (espacement de 40 m), on remarque un changement brusque de conductivité (4 mS/m à 70 mS/m) entre les stations 8 et 9 qui peut correspondre à une intrusion de formation plus résistante (sableuse par exemple) dans un substratum marneux.

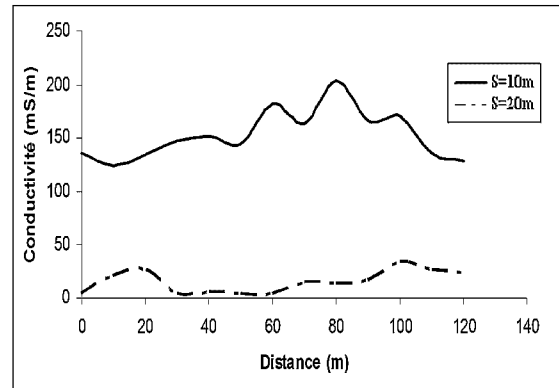


Fig. 9 - Variation de la conductivité apparente mesurée à l'ouest du casier n°3, en utilisant deux espacements émetteur-récepteur de 10 m et 20 m. Le profil est de direction nord-sud.

*Variation of apparent conductivity measured in the West of cell n°3, with the use of two spacing transmitter-receiver of 10m and 20 m. the profile is oriented in North-South direction.*

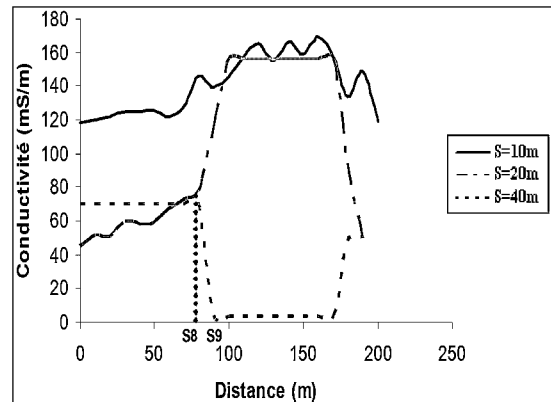


Fig. 10 - Variation de la conductivité apparente suivant un profil E-O placé au nord du site.

*Variation of apparent conductivity along an East-West profile, placed in the North of the site.*

### Profil 3 : est du casier

Les enregistrements ont été effectués selon deux portions de profil comme pour les traînés électriques.

L'analyse du premier graphe (fig. 11a) fait apparaître une légère variation latérale de la conductivité, qui est de l'ordre de 130 mS/m pour une profondeur d'environ 15 m et de 20 mS/m à 30 m de profondeur. Ceci montre que les lixiviats ont bien affecté les formations superficielles constituant le sous-sol.

La deuxième portion du profil (fig. 11b) présente un contraste net de conductivité pour l'espacement de 10 m. Elle passe d'une valeur moyenne de 80 mS/m à quelques mS/m.

L'observation du terrain a montré l'existence d'une canalisation servant d'axe de drainage secondaire situé au début du profil. Cette canalisation explique les fortes valeurs de conductivité en début du profil et conforte nos résultats. Au-delà de cet axe, le terrain est caractérisé par de faibles valeurs de conductivité liées à la nature du terrain constitué essentiellement de formations sèches en surface.

À 30 m de profondeur, le terrain devient plus stable et plus résistant, ce qui montre qu'on a atteint le substratum marneux.

### CONCLUSION

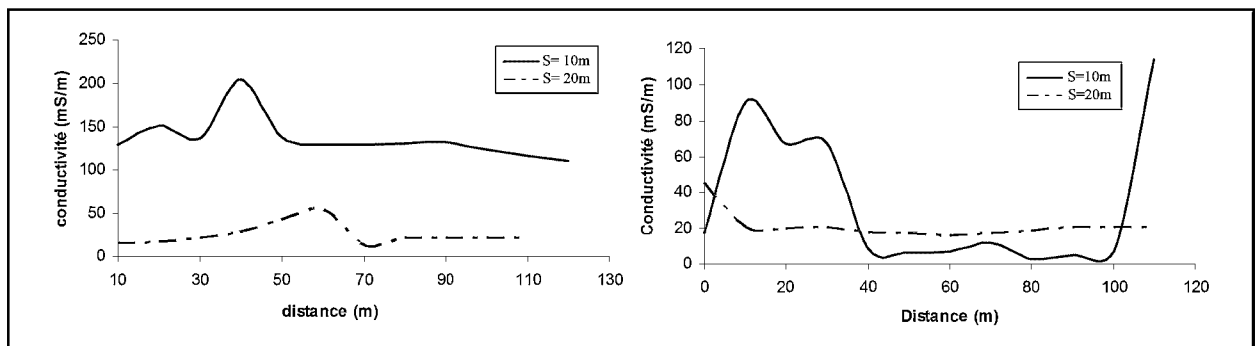
L'application de deux techniques électriques (sondage et traîné électrique) associée à la méthode électromagnétique Slingram, autour d'un casier rempli de déchets, a permis de détecter la présence des lixiviats. Cependant, les infiltrations de ces lixiviats, reflet des faibles valeurs de résistivité, sont plus importantes dans les formations superficielles.

En outre, la contamination est très apparente du côté nord qui donne accès directement au terrain agricole, ce qui constitue un risque d'autant plus grand pour les habitants de la région ainsi que pour la faune et la flore.

Toutefois, la présence de la contamination au côté ouest caractérisée par la présence du lit d'oued peut être la source principale de la pollution des eaux souterraines.

Afin d'évaluer quantitativement le taux de pollution et limiter les dommages, il serait judicieux de compléter l'étude avec des techniques supplémentaires (analyses chimiques) dans un premier temps. En second temps, une corrélation avec ces différentes méthodes permettra de cerner cette pollution.

En parallèle, il serait souhaitable de renforcer l'étanchéité des terrains en utilisant des géo-



**Fig. 11** - Variation de la conductivité apparente à l'est du casier n°3, suivant deux portions de profil (a) : direction nord-sud, (b) : direction nord est-sud ouest.

**Variation of apparent conductivity in the East of the site, along a profile constituted of two portions (a): North-South direction, (b): North East- South West.**

membranes plus adéquates qui résistent aux engins utilisés pour le compactage des déchets. La surveillance et le suivi des contaminations des terres agricoles (e.g. Akram Qazi et *al.*, 2009) est également recommandée.

À travers ce travail, les méthodes géophysiques (électrique et électromagnétique) ont montré leur efficacité dans les études de détection des contaminations provenant de l'infiltration des lixiviats, malgré les conditions peu favorables du terrain.

### BIBLIOGRAPHIE

- ABDULLA, F., ABU QDAIS, H. AND RABI, A. 2008.** Site investigation on medical waste management practices in Northern Jordan. *Waste Management*, 28, pp. 450–458.
- AKRAM QAZI, M., AKRAM, M., AHMAD, N., ARTIOLA, J.-F. AND TULLER, M. 2009.** Economical and environmental implications of solid waste compost applications to agricultural fields in Punjab, Pakistan. *Waste Management*, 29 (9), pp. 2437–2445. Doi : 10.1016/j.wasman. 2009. 05.006
- APEX PARAMETRICS LIMITED. 1998.** MaxMin I+ EM systems operations manual, Uxbridge, Ontario, Canada.
- ARISTODEMOU, E. AND THOMAS-BETTS, A. 2000.** DC resistivity and induced polarisation investigations at a waste disposal site and its environments. *Journal of Applied, Geophysics*, 44, pp. 275–302.
- BANAR, M., KOSE, B.M., OZKAN, A. AND POYRAZ, AKAR, I. 2007.** Choosing a municipal landfill site by analytic network process. *Environmental Geology*, vol. 52, n° 4, pp. 747–751.
- BENABIDI, N. ET SI BACHIR, F. 2000.** Etude d'impact du projet d'enfouissement des déchets dans la décharge d'Ouled Fayet. *Mémoire d'Ingénieur en Géologie, FSTGAT/ USTHB* 106p.
- BUTT, T.E. AND ODUYEMI, K.O.K. 2003.** A holistic approach to concentration assessment of hazards in the risk assessment of landfill leachate. *Environment International*, 28, (7), pp. 597–608.
- DJADIA, L., ABTOUT, A., BAKER, H.A., FAHEM, A., IKEN, H., BOUABDELLAH, H., HAMAI, L. ET MACHANE, D. 2008.** Apport des méthodes géophysiques dans l'évaluation d'un risque environnemental de pollution induite par une décharge urbaine : la décharge d'Ouled Fayet, Alger. *Bulletin du Serv. Géol. Nati.*, vol. 19, n° 2, pp. 184–195.
- DJADIA, L., MACHANE, D., CHATELAIN, J.-L., ABTOUT, A., BENSALÉM, R., GUEMACHE, M.A., GUILLIER, B., BOUDELLA, A. AND OUBAICHE E.H. 2009.** Evidence for underground runoff and soil permeability at the Ouled Fayet (Algiers, Algeria) subsurface landfill pilot project from geophysical investigations. *Environmental Earth Science*, 59 (5), pp. 1149–1158; Doi : 10.1007/s 12665-009-0105-6.
- FRID, V., LISKEVICH, G., DOUDKINSKI, D. AND KOROSTISHEVSKY, N. 2008.** Evaluation on landfill disposal boundary by means of electrical resistivity imaging. *Environmental Geology*, vol. 53, n° 7, pp. 1503–1508.
- GUERIN, R., MUNOZ, M.L., CHRISTOPHE, A., LAPERRELLE, C., HIDRA, M., DROUART, E. AND GRELLIER, S. 2004.** Leachate recirculation: moisture content assessment by means of geophysical technique. *Waste Management*, 24, pp. 785–794.
- IRIS INSTRUMENT. 2001.** Syscal R2 (V 11.2++), Mode Multi-Electrodes. *Manuel d'utilisation, Orléans, France*, 71p.
- JARUP, L., BRIGGS, D., HOOGH, C., MORROS, S., HURT, C., LEWIN, A., MAITLAN, I., RICHARDSON, S., WAKEFIELD, J. AND ELIOTT, P. 2002.** Cancer risks in populations living near landfill sites in Great Britain. *British Journal of Cancer*, 86, pp. 1732–1736.
- KAMURA, K., HARA, Y., INANC, B., YAMADA, M., INOUE, Y. AND ONO, Y. 2005.** Effectiveness of resistivity monitoring for interpreting temporal changes in landfill properties. *J. Mater Cycles Manag.*, vol.7, n°2, pp. 66–70.

DÉTERMINATION PAR MÉTHODES ÉLECTRIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE LA CONTAMINATION DES TERRES AVOISINANT LE CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE D'OULED FAYET (ALGER, ALGÉRIE)

- KOBR, M. AND LINHART, I. 1994.** Geophysical survey as a basis for regeneration of waste dump Halde 10, Zwickau, Saxony. *Journal of Applied Geophysics*, 31, pp. 107–116.
- MARCHETTI, M., CAFARELLA, L., DI MAURO, D. AND ZIRIZZOTTI, A. 2002.** Ground magnetometric surveys and integrated geophysical methods for solid buried waste detection: a case study. *Annals of Geophysics*, vol. 45, n° 3/4, pp. 563-573.
- MARTINHO, E. AND ALMEIDA, F. 2006.** 3D behaviour of contamination in landfill sites using 2D resistivity/IP imaging : case studies in Portugal. *Environmental geology*, vol. 49, n°7, pp. 1071-1078.
- MCNEILL, J.D. 1980.** Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. *Geonics Ltd., Technical Note TN*, 6, 15 p.
- ORLANDO, L. AND MARCHESI, E. 2001.** Georadar as a tool to identify and characterize solid waste dump deposits. *Journal of Applied Geophysics*, 48, pp. 163-174.
- PORSANI, J.L., FILHO, W.M., ELIS, V.R., SHIMELES, F., DOURADO, J.C. AND MOURA, H.P. 2004.** The use of GPR and VES in delineating a contamination plume in a landfill site: a case study in SE Brazil. *Journal of Applied Geophysics*, vol. 55, n°3-4, pp. 199-209.
- PUJARI, P.R., PARDHI, P., MUDULI, P., HARKARE, P. AND NANOTI, M.V. 2007.** Assessment of pollution near landfill site in Nagpur, India by resistivity imaging and GPR. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 131, n° 1-3, pp. 489-500.
- REDFEARN, A., ROBERTS, R.D. AND DOCKERTY, J.C. 2000.** Analysis and application of human health and ecological risk assessment methodologies for landfills. *In : Proceedings Waste 2000 : Waste Management at the dawn of the third Millennium, England, October 2–3*, pp. 455-464.
- SHEVNIN, V.A. AND MODIN, I.N. 2003.** IPI2win and IPI\_res3 (Windows) ver. 3.0.1a. *Moscow State University, Geological Faculty, Department of Geophysics*.
- SOUPIOS, P., PAPADOPOULOS, N., PAPADOPOULOS, I., KOULI, M., VALLIANATOS, F., SARRIS, A. AND MANIOS, T. 2007.** Application of integrated methods in mapping waste disposal areas. *Environmental Geology*, vol. 53, n° 3, pp. 661-675.
- VRIJHEID, M. 2000.** Health effects of residence near hazardous waste landfill sites: a review of epidemiologic literature. *Environ. Health Perspect*, 1, 08 (suppl. 1), pp. 101-112.
- ZUME, J.T., TARHULE, A. AND CHRISTENSON, S. 2006.** Subsurface imaging of an abandoned solid waste landfill site in Norman, Oklahoma. *Ground Water Monitoring Remediation*, 26 (2), pp. 62-69.