

APPORT DES MÉTHODES GÉOPHYSIQUES DANS L'ÉVALUATION D'UN RISQUE ENVIRONNEMENTAL DE POLLUTION INDUITE PAR UNE DÉCHARGE URBAINE : LA DÉCHARGE D'OULED FAYET, ALGER.

Leila DJADIA*, Abdesslam ABTOUT*, Haydar Aziz BAKER, Assia FAHEM**,
Hana IKEN**, Hamza BOUABDELLAH*, Lamine HAMAI* et Djamel MACHANE*****

RÉSUMÉ

Nous évaluons la contribution de la géophysique appliquée, qui a prouvé sa fiabilité dans divers domaines (génie civil, hydrogéologie, archéologie, etc.), dans l'étude d'une décharge contrôlée, et ce pour la première fois en Algérie.

Conséquemment, une campagne d'acquisition géophysique par les méthodes électrique, électromagnétique et sismique a été réalisée sur une partie du centre d'enfouissement technique (CET) d'Ouled Fayet (Alger, Algérie), destiné à recevoir les déchets ménagers. Le but est de vérifier que le terrain constituant l'assiette des déchets, présente une étanchéité convenable évitant le risque d'une éventuelle pollution du sous-sol et des eaux souterraines qui pourrait être causée par les infiltrations du lixiviat.

Les résultats obtenus ont été concluants, et on a pu montrer que le terrain est formé, essentiellement, d'argiles et de marnes non fissurées assurant une bonne étanchéité.

Mots-clefs - Environnement - Décharge - Géophysique appliquée - Déchets - Etanchéité - Pollution.

*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 Boumediene (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 03 Juillet 2007, accepté après révision le 06 Aout 2007.*

CONTRIBUTION OF GEOPHYSICAL METHODS IN THE EVALUATION OF ENVIRONMENTAL RISK OF INDUCED POLLUTION IN URBAN LANDFILL: THE OULED FAYET LANDFILL, ALGIERS.

ABSTRACT

The broad range of environmental problems includes the need of determining the location and nature of fixed or mobile environmental hazard. In Algeria, one of the most important problems is the management of landfills. Applied geophysics can provides a non-invasive means of obtaining the information required to characterize these sites.

This study has been carried out over a portion of ground intended to receive domestic waste in the urban landfill of Ouled Fayet (Algiers, Algeria). Vertical electrical sounding, Slingram electromagnetic, and seismic refraction are used to investigate this ground in order to determine the properties of its geological formations as to check if they are not fractured and impermeable enough to avoid the risk of pollution of the land and groundwater by infiltration of moisture.

The results are very conclusive. They show that the ground is not fissured and mostly formed of clays and marl is that are impermeable and able to ensure its sealing. Therefore, the geophysical methods could be suitable to identify the property of soil and groundwater.

Key-words: Environment - Landfill - Applied geophysics - Waste - Sealing - Pollution.

I. INTRODUCTION

La production de déchets dans le monde et en particulier en Algérie ne cesse de croître, et les problèmes de stockage liés à ces déchets sont de plus en plus importants. Pour le stockage, l'Algérie a opté pour la création de centres d'enfouissement technique (CET) qui doivent répondre aux normes mondiales afin de ne pas polluer l'environnement. Il est donc indispensable de s'assurer, par des approches scientifiques, que les règles sont respectées et ce, afin que le CET soit placé dans un contexte favorable.

La géophysique appliquée est l'une des approches utilisées pour la reconnaissance géotechnique des lieux de décharges. Elle permet, grâce à diverses techniques (électromagnétisme, résistivité électrique, sismique réfraction), de déterminer la nature et la répartition des maté-

riaux composant le sous-sol ainsi que leurs propriétés.

Dans ce contexte, une campagne d'enregistrements géophysiques (électrique, électromagnétisme et sismique réfraction) a été effectuée sur une portion de terrain formant l'assiette des déchets de la décharge urbaine d'Ouled Fayet (Alger, Algérie), pour compléter en profondeur le manque d'informations sur la nature géologique de ce terrain, au delà des 10 m atteints par les sondages carottés avant le creusement de cette assiette. De plus, la géophysique permettra de mettre en évidence la distribution latérale des formations constituant ce sous-sol.

Cette décharge est considérée comme le premier centre d'enfouissement technique en Algérie (centre pilote). L'objectif de cette étude est de déterminer si le terrain à exploiter constitue

APPORT DES MÉTHODES GÉOPHYSIQUES DANS L'ÉVALUATION D'UN RISQUE ENVIRONNEMENTAL DE POLLUTION
INDUITE PAR UNE DÉCHARGE URBAINE : LA DÉCHARGE D'OULED FAYET, ALGER

une barrière de sécurité passive, dont le rôle est d'assurer, à long terme, la prévention de la pollution des sols et des eaux souterraines par les déchets et le lixiviat. Ce dernier est le liquide résiduel provenant de la percolation d'eau à travers les déchets; il est chargé en polluants (organiques, minéraux et métalliques) par extraction des composés solubles des déchets (Cabane, 2006).

Le CET d'Ouled Fayet (fig. 1) est situé sur une terre agricole, il s'étend sur une superficie de 10 hectares (Inspection de l'Environnement, 1999). Il est subdivisé en cinq casiers (assiettes), dont les deux premiers sont déjà exploités, le troisième en cours d'exploitation et les deux autres sont vides.

L'étude a été menée dans le casier n°3, avant son exploitation. Il a une base plate ayant des dimensions de 150 m x 200 m, une profondeur de 22 m et une pente de 30° pour ses parois (fig. 2).

II. CADRE GÉOLOGIQUE

Un ancien lit d'oued complètement recouvert (oued Ben Brahim) traverse le site dans la direc-

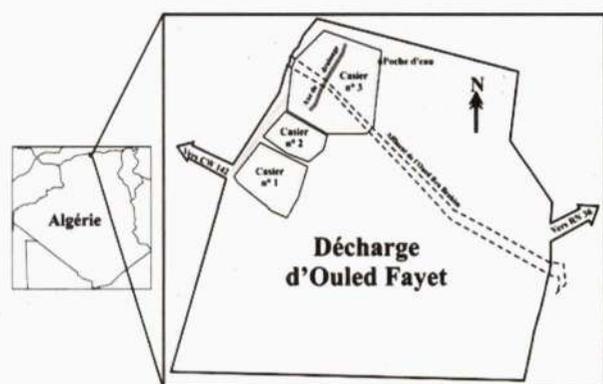


Fig. 1 - Schéma de localisation de la décharge d'Ouled Fayet et du site d'étude (casier n°3)

Location diagram of Ouled Fayet landfill and the site of study (rack n°3)

tion nord ouest-sud est. Au nord-est de ce casier se trouve une poche d'eau superficielle située sur l'une des parois. L'écoulement de cette poche suit un canal creusé vers l'axe drainant.

Une étude de sol réalisée par le Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction, à l'aide de 76 sondages carottés de dix mètres, a été effectuée de manière à couvrir la totalité de la décharge. Six seulement ont été exécutés sur le site étudié avant qu'il ne soit creusé, afin de connaître sa nature géologique.

Les coupes lithologiques de ces sondages (direction d'Hydraulique d'Alger, 1999), ont permis de mettre en évidence (fig. 3) les formations principales suivantes :

- * terre végétale ;
- * formations argileuses avec différents faciès :
 - argilo-sableux,
 - argilo-limoneux,
 - argilo-marneux,
 - argileux fin à graviers;
- * substratum marneux compact.



Fig. 2 - Photo montrant la morphologie du site (casier n°3 d'une superficie de 30 000m²) et localisation des sondages carottés

Photo showing the morphology of the site (rack n°3 with an area of 30 000m²) and borehole locations

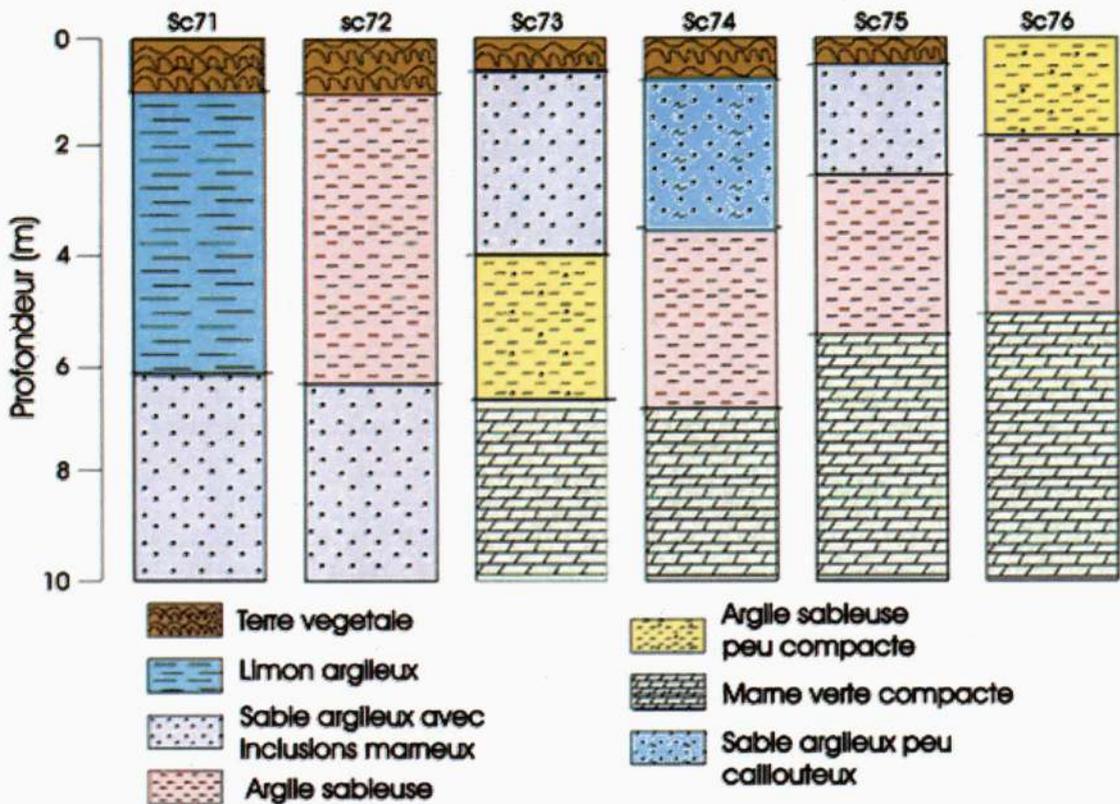


Fig. 3 - Sondages carottés réalisés dans le site (voir localisation en fig. 2) montrant la dominance de la formation argileuse (Direction d'Hydraulique d'Alger, 1999)

Boreholes realised in the site (see location in fig. 2) showing the predominance of the clay formation (Direction of Hydraulics of Algiers, 1999)

Après le creusement de ce site, l'investigation géologique de terrain nous a permis de voir que le fond de ce casier est constitué globalement d'un matériau argilo-marneux.

Du point de vue hydrogéologique, comme il n'y a pas d'aquifère important dans la région d'Ouled Fayet, les eaux de pluie infiltrées à travers les formations de couverture circulent sur le toit de l'horizon imperméable (direction d'Hydraulique d'Alger, 1999) qui est marneux.

L'étude géotechnique réalisée par Derriche et Cheikh-Lounis (2004) montre que les marnes plaisanciennes d'Alger sont un matériau plutôt homogène, avec des caractéristiques mécaniques

médiocres. Elles sont plastiques et gonflantes, donc extrêmement sensibles à l'eau et peuvent même s'altérer au seul contact de l'humidité de l'air.

Du point de vue sismique, la région d'Ouled Fayet est classée dans une zone de sismicité élevée (III), d'après la nouvelle classification sismique des régions d'Algérie (CGS, 2003).

III. MÉTHODOLOGIE

La nature du problème posé dans cette étude nous a conduit à envisager l'emploi des méthodes électrique et électromagnétique, qui mesurent la résistivité électrique apparente ou son inverse : la conductivité électrique apparente.

Ces méthodes sont les plus utilisées dans les problèmes d'environnement et de contamination (Greenhouse et al., 1983; Mathias et al., 1994; Nobes, 1996; Pellerin, 2002).

Nous avons aussi utilisé la sismique réfraction, souvent employée avec les méthodes précédentes afin de délimiter les couches superficielles des terrains, comme ça a été le cas dans le travail de Gallardo et Meju (2003).

Nous avons réalisé six sondages électriques verticaux, une cartographie Slingram, et deux profils de sismique réfraction (fig. 4).

1. Sondages électriques verticaux

Le principe est de mesurer la résistivité apparente (ρ_a), donnée par la formule (1), à l'aide d'un dispositif quadripôle symétrique ABMN

(Reynolds, 1997) pour une succession d'écartements des électrodes A et B.

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

ρ_a : résistivité apparente du terrain [Ohm.mètre : Ωm].

K : facteur géométrique ou longueur caractéristique du dispositif.

ΔV : différence de potentiel [mV].

I : intensité de courant [mA].

La profondeur d'investigation est réglée en faisant varier la distance entre les électrodes A et B. Elle est simplement estimée entre $AB/4$ et $AB/10$, en fonction des résistivités.

Les mesures ont été effectuées avec le dispositif Schlumberger en utilisant le résistivimètre Syscal R2 de Iris Instruments (Iris Instruments, 2001).

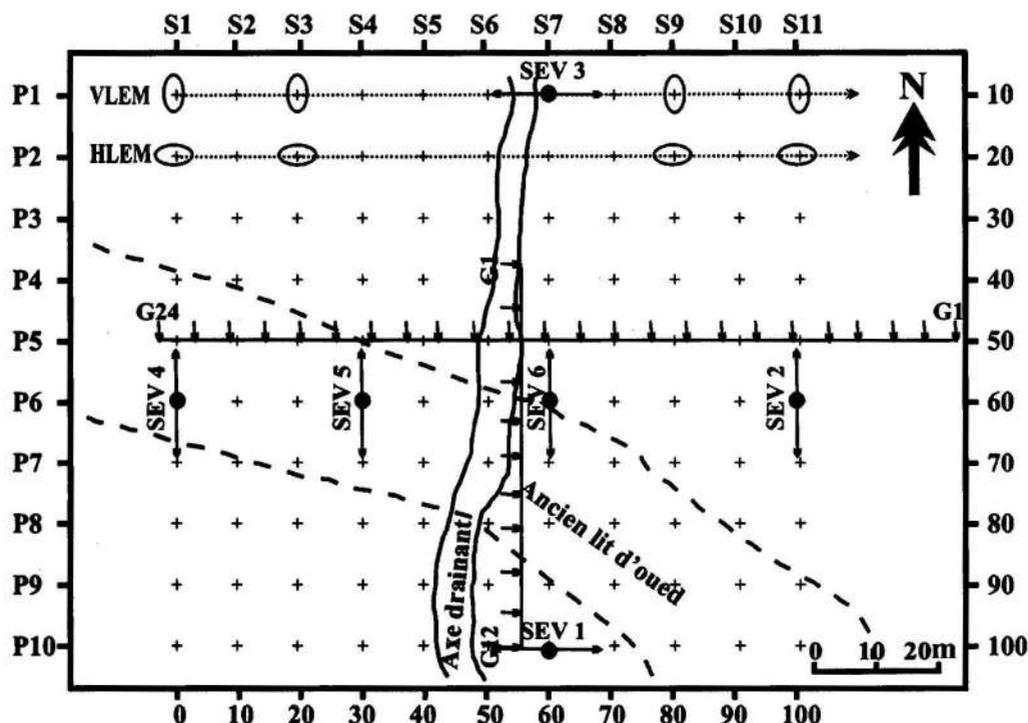


Fig. 4 - Situation des points de mesures géophysiques

G : position des géophones; SEV : sondage électrique vertical; + : point de mesure Slingram

Situation of the geophysical points of measure

G : geophone locations;

SEV : vertical electrical logging;

+ : Slingram point of measure

2. Cartographie électromagnétique Slingram

Cette méthode utilise deux bobines, l'une émettrice et l'autre réceptrice, pour mesurer les contrastes de conductivité électrique du sol, donnée par la formule (2) (Mc Neill, 1980).

$$\sigma_a = \frac{4}{\omega \mu_0 L^2} \left(\frac{H_s}{H_p} \right) \quad (2)$$

H_s : champ magnétique secondaire au récepteur.
 H_p : champ magnétique primaire au récepteur.
 ω : pulsation, $\omega = 2\pi f$ (f : fréquence en Hz).
 μ_0 : perméabilité magnétique du vide.
 L : espacement entre bobines (m).

Les mesures de conductivité apparente ont été effectuées sur des profils est-ouest avec un maillage carré de 10 m x 10 m, selon les deux modes : boucles horizontales (HLEM) et boucles verticales (VLEM). L'appareil de mesure utilisé est l'EM34-3 de Geonics (Geonics, 1992) avec trois espacements de 10, 20 et 40 m entre l'émetteur et le récepteur, pour obtenir la variation de la conductivité avec la profondeur.

3. Profils de sismique réfraction

La sismique réfraction utilise le phénomène de propagation des ondes sismiques le long des réflecteurs. Le temps de parcours de cette onde est donné par la formule (3) (Mari et al., 1998).

$$t_{ns} = \frac{SE}{Vn} \cos \theta_1 \prod_{j=2}^{n-1} \cos(\theta_j - \theta_{j-1}) + \sum_{j=1}^{n-1} \frac{H_{js} \cos \alpha_{jn} + H_{jE} \cos \beta_{jn}}{V_j} \quad (3)$$

θ_j : pendage des couches j .
 α_{jn}, β_{jn} : angles d'incidence et d'émergence de l'onde sismique au mur des couches j .

H_{js}, H_j : épaisseurs correspondant aux hauteurs des couches j à l'aplomb du point source ou du capteur.

L'appareil utilisé est le Strataview de Geometrics (Geometrics, 1995), qui permet d'obtenir les résultats sous forme de traces sismiques. Deux profils ont été réalisés, le premier de 24 traces est de direction est-ouest, et le second de 12 traces dans la direction perpendiculaire. L'espacement entre les géophones est de 6 m.

IV. Résultats et interprétations

1. Sondage électrique vertical

Les six courbes de sondages électriques se ressemblent dans l'ensemble. Le nombre de couches varie d'un sondage à un autre (quatre à six), avec des résistivités de couches qui ne dépassent pas les 20 Ωm pour toutes les couches (fig. 5). On note également l'absence de sauts de résistivité sur les courbes de sondage, ce qui traduit l'absence de fissures.

Afin d'obtenir une image (2D) de la distribution des formations mises en évidence par les sondages, on corrèle les résultats des sondages qui sont sur une même ligne, ce qui nous fournit une coupe géo-électrique. Afin d'attribuer à chaque couche, la formation géologique correspondante, on s'est appuyé sur la gamme de résistivité électrique correspondant à chaque formation géologique (tabl. I).

Tableau I - Valeurs de résistivité des roches sédimentaires mises en évidence dans cette étude (d'après Mari et al., 1998)

Resistivity values of the sedimentary rocks highlighted in the study (after Mari et al., 1998)

Nature des terrains	Résistivité (Ωm)
Argiles	1-100
Marnes	1-70

APPORT DES MÉTHODES GÉOPHYSIQUES DANS L'ÉVALUATION D'UN RISQUE ENVIRONNEMENTAL DE POLLUTION
INDUITE PAR UNE DÉCHARGE URBAINE : LA DÉCHARGE D'OULED FAYET, ALGER

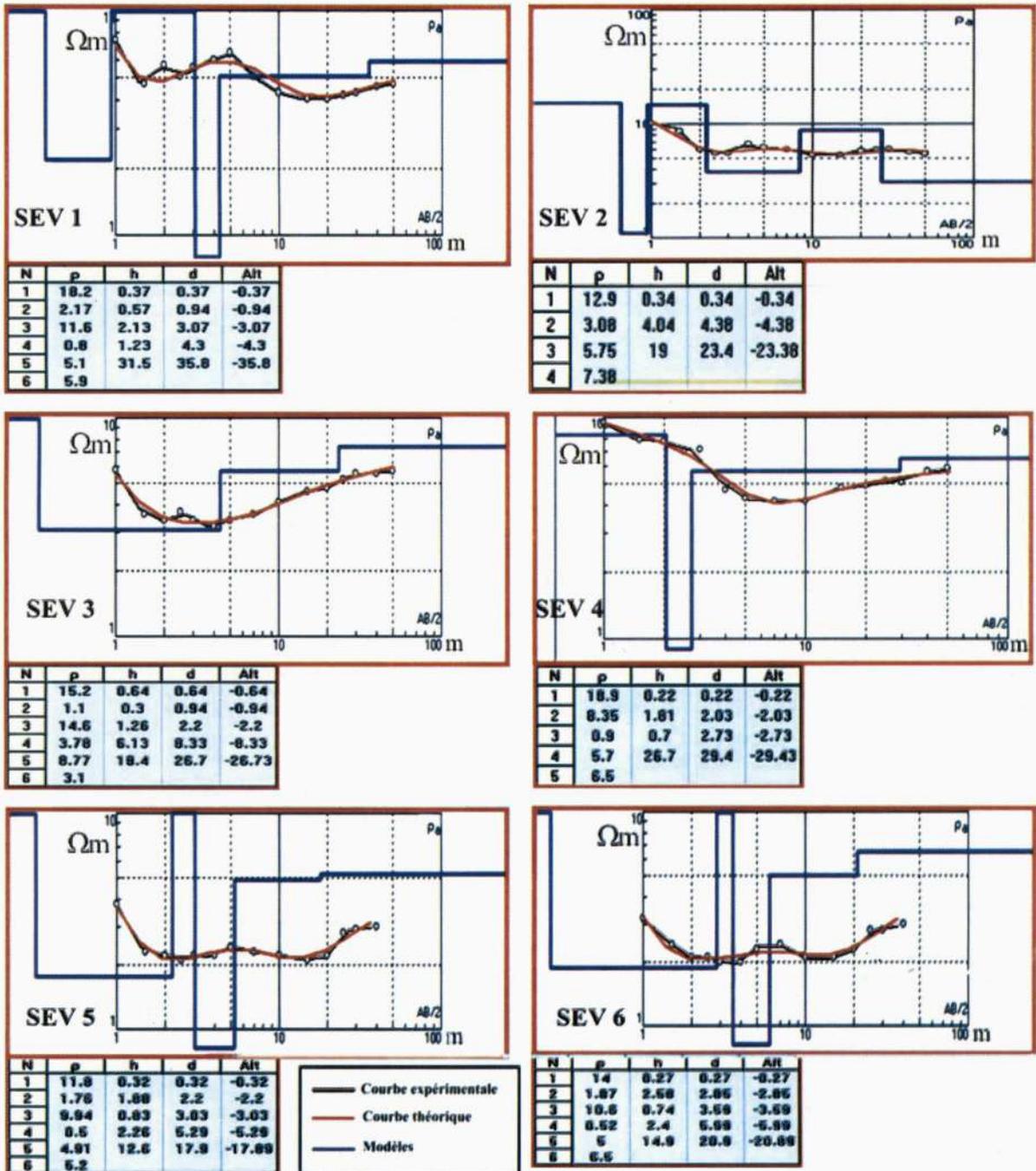


Fig. 5 - Exemples d'interprétation des sondages électriques. On remarque que le terrain est constitué de 6 couches pour le premier sondage et 4 pour le deuxième.

Examples of interpretation of electrical loggings. Note that the soil is constituted of 6 layers for the first logging and 4 for the second.

La corrélation entre ces valeurs de résistivité, la géologie de la région et la coupe géo-électrique de direction est-ouest a permis de faire ressortir quatre formations (de haut en bas, fig. 6) :

* la première formation (7-20 Ωm), apparaît à deux niveaux où vient s'intercaler la deuxième formation; le premier niveau qui affleure, est une formation argileuse sèche à cause des conditions climatiques et a une épaisseur de moins d'un demi mètre, alors que le second niveau qui vient se mettre sous la deuxième formation intercalaire n'est présent que dans la moitié ouest de la coupe, il s'amincit en allant vers l'est et est attribué à une formation argilo-marneuse;

* la deuxième formation (1-3 Ωm), est la couche intercalaire entre les deux niveaux de la première formation, elle augmente en épaisseur en allant vers l'est et disparaît à l'extrémité ouest, c'est une formation d'argile humidifiée par l'eau de la poche présente au niveau de l'axe de drainage;

* la troisième formation (<1 Ωm), la formation la plus conductrice se présente sous forme de lentille allongée, ne dépassant pas les 2.5 m d'épaisseur au milieu du profil et sa conductivité est due à l'effet de la poche d'eau qui alimente l'axe de drainage, en plus de l'effet du lit d'oued;

* la quatrième formation (3-7 Ωm), se caractérise par une dominance d'argiles et de marnes, et, est détectée à partir de 3 m de profondeur pour atteindre plus de 25 m.

2. Slingram (EM34)

Pour les deux modes HLEM et VLEM, les cartes de conductivité électrique apparente (fig. 7) montrent que les anomalies ont une conductivité électrique qui ne dépasse pas les 250 ms/m.

Toutefois, la profondeur d'investigation varie d'un mode à l'autre. Elle est de l'ordre de 1.5 L pour HLEM et de 0.75 L pour VLEM, où L est

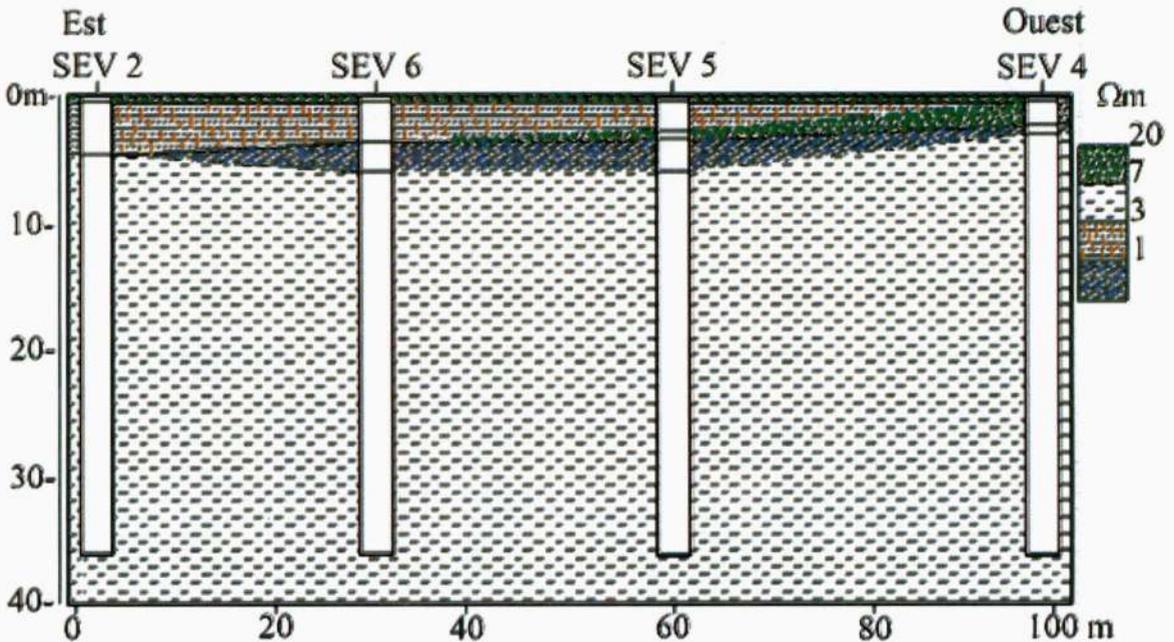


Fig. 6 - Coupe est-ouest montrant la répartition verticale de la résistivité électrique
East-West section showing the vertical repartition of apparent electric resistivity

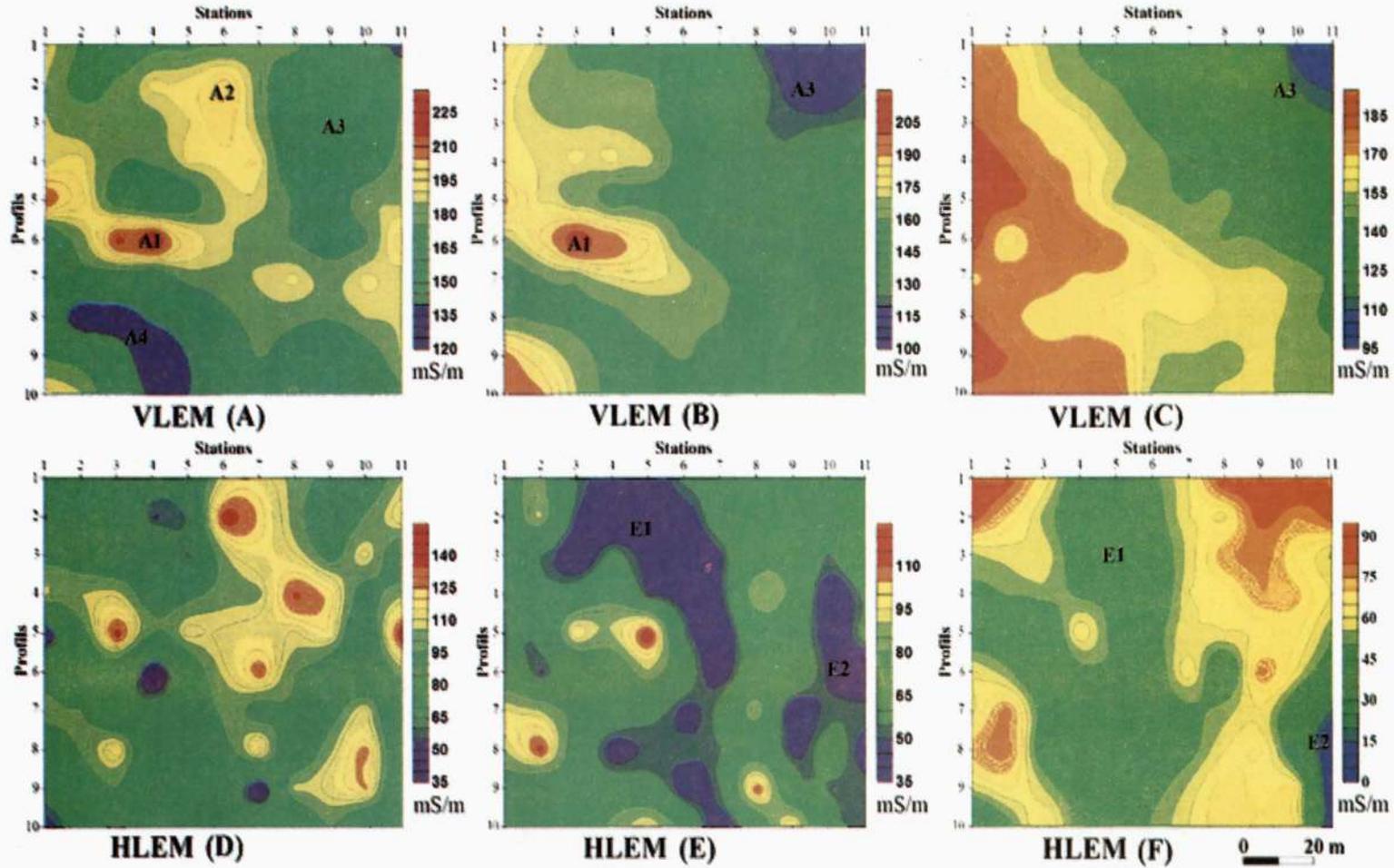


Fig. 7 - Carte montrant la répartition de la conductivité apparente à différentes profondeurs avec les câbles 10,20 et 40 m.
 (A) : VLEM -7.5m, (B) : VLEM -15m, (C) : HLEM -15m, (E) : HLEM -30m, (F) : HLEM -60m

Contours showing the lateral distribution of apparent conductivity at different depth with cables of 10, 20 and 40 m.
 (A) : VLEM -7.5m, (B) : VLEM -15m, (C) : HLEM -15m, (E) : HLEM -30m, (F) : HLEM -60m

la distance émetteur-récepteur (Mc Neill, 1980). Ceci a permis de voir la distribution latérale de la conductivité électrique pour différentes profondeurs.

La cartographie VLEM a permis de faire apparaître quatre anomalies, nommées (fig. 7 A) A1, A2, A3 et A4, qui apparaissent à environ 7.5m de profondeur. Néanmoins, on remarque l'atténuation de l'anomalie A1, et la diminution de l'anomalie A3 en termes de conductivité électrique, à 15 m de profondeur (fig. 7 B).

Corrélativement, la cartographie HLEM fait apparaître à 15 m de profondeur (fig. 7 D) plusieurs petites anomalies relativement résistantes, dont la conductivité électrique est de 40 à 80 ms/m. De plus, la carte réalisée à environ 30 m de profondeur, montre la présence de deux anomalies E1 et E2 d'orientation nord-sud (fig. 7 E).

La corrélation entre ces résultats et les valeurs de conductivité des formations géologiques (fig. 8), confirme la dominance des

argiles dans le terrain d'étude, avec quelques intrusions d'argile-marneuse traduites souvent par des anomalies plus résistantes (A3 et A4 et à une moindre mesure E1 et E2). Les effets de l'affluent (traversant le site) et de l'axe drainant, apparaissent également sous forme d'anomalies, mais conductrices (A1 et A2).

Cette méthode (surtout la technique HLEM) a permis d'atteindre plus de 30 m de profondeur et de mettre en évidence une formation plus résistante qui peut être attribuée à des marnes.

3. Sismique réfraction

Les résultats de l'étude par sismique réfraction (fig. 9) font apparaître deux droites (onde directe et onde réfractée), ce qui indique un terrain à deux couches.

La première couche est caractérisée par une vitesse des premières ondes de 350 à 500 m/s et une épaisseur variant de 1 à 4 m. Elle est suivie d'une deuxième ayant une vitesse plus importante comprise entre 1480 et 1670 m/s.

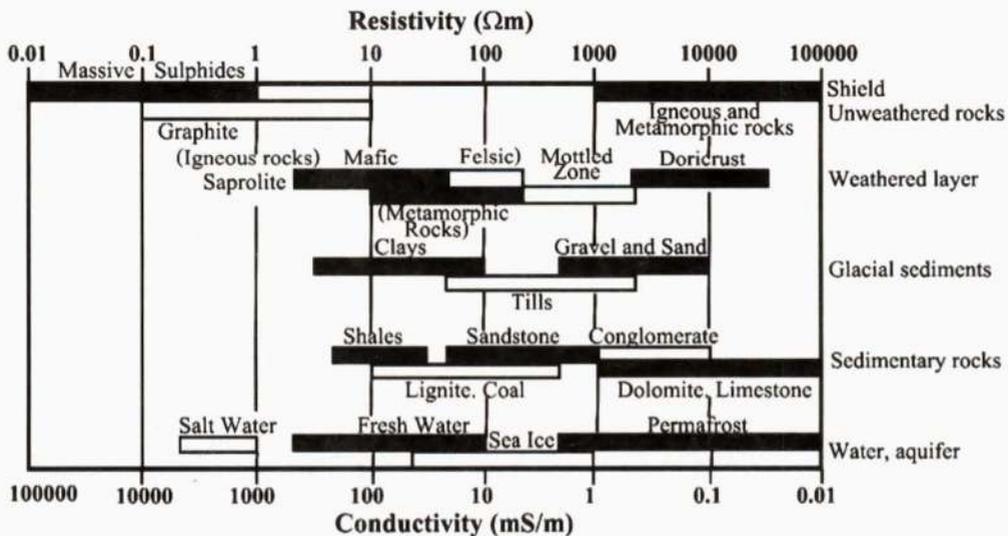


Fig. 8 - Conductivité électrique des formations géologiques (géophysical report on electromagnetic and induced polarization / resistivity surveys, 2005)

Apparent conductivity of geological formations (geophysical report on electromagnetic and induced polarization / resistivity surveys, 2005)

APPORT DES MÉTHODES GÉOPHYSIQUES DANS L'ÉVALUATION D'UN RISQUE ENVIRONNEMENTAL DE POLLUTION
INDUITE PAR UNE DÉCHARGE URBAINE : LA DÉCHARGE D'OULED FAYET, ALGER

Sur ce profil, on remarque un rejet entre les géophones G19 et G20 (fig. 9), où la vitesse du second segment (à l'ouest) augmente légèrement par rapport à celle du premier (à l'est).

Pour pouvoir suivre le toit du substratum, nous avons élaboré une coupe géo-sismique, tracée en utilisant la méthode «plus», qui consiste à estimer l'épaisseur de la couche superficielle au dessous de chaque géophone.

Pour l'interprétation de cette coupe, nous avons utilisé la géologie de terrain et les valeurs des vitesses de propagation des ondes P des différentes roches (tab. II).

A travers la coupe géo-sismique est-ouest (fig. 10), on remarque la présence d'une première couche de faible vitesse dont l'épaisseur varie entre 2 et 5 m. Cette faible vitesse est probablement liée aux figures de dessiccation

Tableau II - Vitesse de propagation des ondes P des roches sédimentaires mise en évidence dans cette étude (d'après Mari et al., 1998)

P waves propagation velocity of sedimentary rocks highlighted in the study (after Mari and al., 1998)

Nature des terrains	Vitesse des ondes P (m/s)
Argiles	1100-2500
Marnes	2000-3000

(craquelures) affectant les argiles affleurantes en période sèche. Cependant, la deuxième couche est caractérisée par une vitesse plus importante, attribuée à celle des argiles saines.

Par ailleurs, on note l'absence de fissures dans le terrain étudié, et le rejet observé entre les géophones 19 et 20 est causé par l'effet de l'eau de l'oued qui fait augmenter la vitesse de propagation des ondes sismiques premières (Astier, 1971).

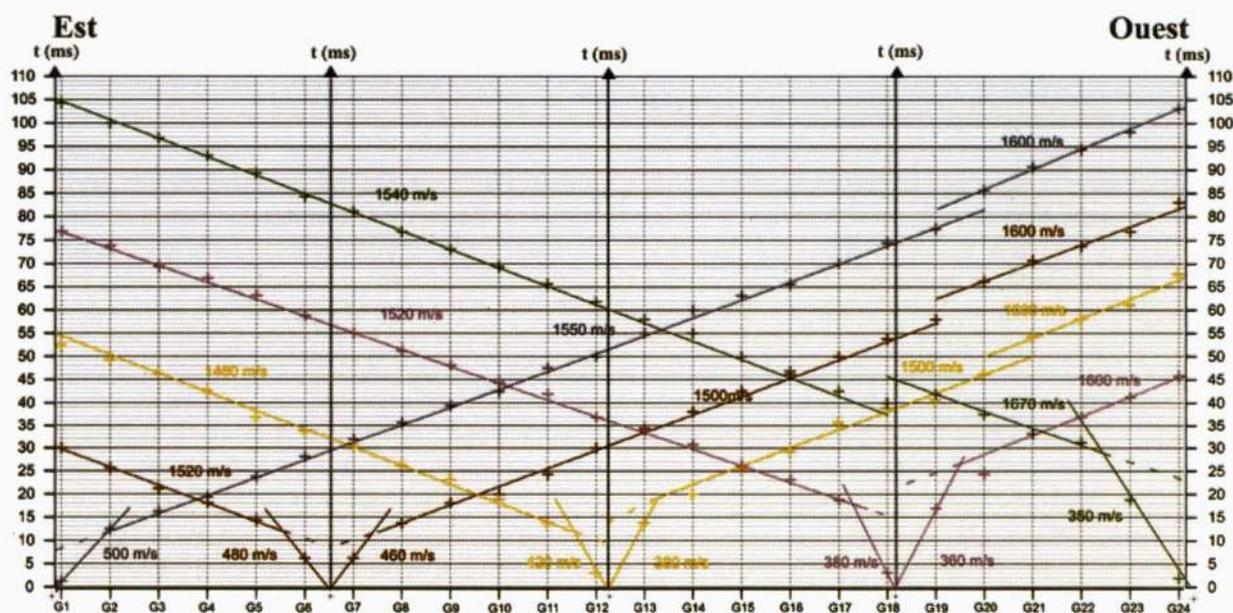


Fig. 9 - Hodochrones tracées à partir des temps d'arrivée de l'onde sismique réfractée aux géophones pour le profil est-ouest de 24 traces. Ceci a été réalisé par deux tirs au bout, un tir au centre et deux tirs au centre du demi profil

Hodochrones traced from the arrival times of the refracted seismic wave at geophones, for the East-West profile of 24 traced. This was carried out by two shootings in end, one in the centre and two in the centre of a half profile

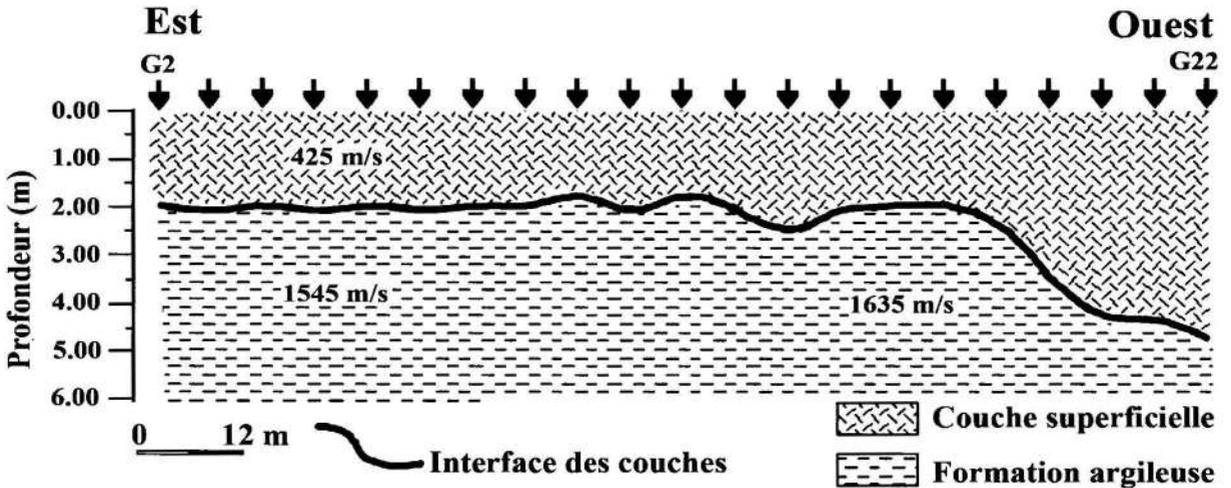


Fig. 10 - Coupe sismique de vitesse est-ouest montrant deux couches de vitesses différentes avec une interface aux environs de 2m de profondeur avec un épaissement de la couche superficielle à l'extrémité ouest

Seismic section velocity in the east-west showing two different speed layers with an interface around two meters in the depth with a thickening of the surficial layer at the western end

V. CONCLUSION

La prospection réalisée sur un casier vide du centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet, a démontré la rapidité, la faisabilité, et la fiabilité des mesures géophysiques effectuées pour évaluer l'état d'étanchéité de ce terrain.

Les sondages électriques, la cartographie Slingram et la sismique réfraction ont permis de mettre en évidence la présence d'un terrain parfaitement étanche, caractérisé par la dominance des formations argileuses et argilomarneuses, et l'absence de fissures susceptibles de devenir des sources d'infiltration après avoir compacté les déchets.

Par conséquent, le terrain présente une étanchéité naturelle qui le rend apte à recevoir des déchets. En revanche, les eaux superficielles du lit de l'oued et de la poche d'eau peuvent être le vecteur principal d'une pollution potentielle. Il est donc nécessaire de prendre

des mesures de sécurité supplémentaires pour renforcer cette étanchéité à l'aide d'une géomembrane par exemple.

C'est pourquoi nous avons commencé la surveillance (monitoring) temporelle du casier étudié et de toute la décharge, afin de contrôler l'apparition d'une éventuelle pollution. Pour cela, nous utiliserons les méthodes les plus couramment utilisées de résistivité électrique et de polarisation provoquée, (Aristodemou et al., 2000; Chambers et al., 2003). Ces méthodes sont souvent combinées entre elles afin de mieux comprendre la géologie du site étudié et localiser l'extension de la zone contaminée (Buselli et al., 2001). En cas de pollution, nous utiliserons les méthodes géophysiques passives, telles que la méthode électromagnétique VLF (Very Low Frequency) et la PS (Polarisation ou Potentiel Spontané), les plus généralement employées en complément avec d'autres méthodes géophysiques sur des sites contaminés (Nimmer et al., 2002).

BIBLIOGRAPHIE

- 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, 275–302.
- ASTIER, J.L. 1971.** Géophysique appliqué à l'hydrogéologie (geophysics applied to hydrogeology). In: *Masson et C^{ie}* (ed). 277 p
- BUSELLI, G. AND LU, K. 2001.** Groundwater contamination monitoring with multichannel electrical and electromagnetic methods. *Journal of Applied Geophysics*, 48, 11–23.
- CABANE, F. 2006.** Lexique d'écologie, d'environnement et d'aménagement du littoral. Documentation sur l'environnement et l'aménagement du Littoral, <http://www.ifremer.fr/envlit/documentation/documents.htm>, 265 p.
- CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE APPLIQUÉE EN GÉNIE PARASISMIQUE (CGS) 2003.** Règles parasismiques algériennes RPA 99/version 2003. *D.T.R.-B.C.* 2.48, 89 p.
- CHAMBERS, J. E., LOKE, M. H., OGILVY, R. D., MELDRUM, P. I. 2003.** Non invasive monitoring of DNAPL migration through a saturated porous medium using electrical impedance tomography. *Journal of Contaminant Hydrology*, 68(1–2), 1–26.
- DERRICHE, Z. ET CHEIKH-LOUNIS, G. 2004.** Caractéristiques géotechniques des marnes plaisanciennes d'Alger. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 63, 367–378.
- DIRECTION D'HYDRAULIQUE D'ALGER, 1999.** Etude géotechnique de la décharge d'Ouled Fayet (*Rapport interne inédit*).
- GALLARDO, L. A. AND MEJU, M. A. 2003.** Characterization of heterogeneous near-surface materials by joint 2-D inversion of DC resistivity and seismic data. *Geophysical Research Letters*, 30, 1658–1661.
- GEOMETRICS, 1995.** Strata View exploration seismograph. Operation manual, *Geometrics, Inc*, 158 p.
- GEONICS EM 38, 1992.** Ground conductivity meter. Operating manual, *Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Canada*.
- GEOLOGICAL REPORT ON ELECTROMAGNETIC AND INDUCED POLARIZATION / RESISTIVITY SURVEYS, 2005.** *Associated mining consultants LTD*, 77 p.
- GREENHOUSE, J. AND HARRIS, R. 1983.** Migration of contaminants in groundwater at a landfill: A case study: 7. DC, VLF, and inductive resistivity surveys. *Journal of Hydrology*, 63, 177–197.
- INSPECTION DE L'ENVIRONNEMENT, 1999.** Etude d'impact sur l'environnement préalable à la réalisation de la décharge intercommunale d'Ouled Fayet, (*Rapport interne inédit*).
- IRIS INSTRUMENTS, 2001.** Syscal R2 (V 11.2++), Mode Multi-Electrodes. *Manuel d'utilisation, Orléans, France*, 71p.
- MARI, J.L., ARENS, G., CHAPPELLIER, D. ET GAUDIANI, P. 1998.** Géophysique de gisement et de génie civil. *Edition Technip*, 451 p.
- MATHIAS, M. S., DA SILVA, M.M., FERREIRA, P. AND RAMALHO, E. 1994.** A geophysical and hydrogeological study of aquifers contamination by a landfill. *Journal of Applied Geophysics*, 31, 155–162.
- MC NEILL, J.D. 1980.** Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers: Mississauga, Ontario, Canada, *Geonics Ltd. Technical Note*, TN-6, 15 p.
- NIMMER, R. E. AND OSIENSKY, J. L. 2002.** Direct current and self-potential monitoring of an evolving plume in partially saturated fractured rock. *Journal of Hydrology*, 267, 258–272.
- NOBES, D. C. 1996.** Troubled waters: Environmental applications of electrical and electromagnetic methods. *Surveys in Geophysics*, 17, 393–454.
- PELLERIN, L. 2002.** Applications of electrical and electromagnetic methods for environmental and geotechnical investigations. *Surveys in Geophysics*, 23, 101–132.
- REYNOLDS, J.M. 1997.** An Introduction to applied and environmental geophysics. *John Wiley and Sons Ltd*, Baffins Lane, Chichester, England, 796 p.