



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH  
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES, MAROC

Département de l'Environnement

Diplôme Universitaire de Technologie

Génie Minéral et Environnement

DUT GME

## PROJET TUTEUR

# *APPLICATION DES METHODES ELECTRIQUES EN PROSPECTION*

Réalisé (e) par : ZABOUL Fatima Zahrae  
AFGANE Rachida  
ELFAIK Soukaina

Encadré par : Pr. EL AZZAB Driss

Jury et Date de Soutenance: Le 04 Avril 2013

Pr. EL AZZAB D.

Tuteur

Pr. CHARROUD M.

Examineur

Pr. HINAJE S.

Examineur

---

Année universitaire 2012 - 2013



## Dédicace

Nous dédions ce travail à :

Nos chers parents qui nous ont soutenus dès notre enfance  
moralement et matériellement.

Mes formateurs et formatrices, en témoignage d'un grand respect  
pour les efforts qu'ils nous ont cessé de déployer pour notre formation.

Tout le personnel de la faculté des sciences et techniques Sidi  
Mohamed ibn Abdallah Fès.

Mes chers collègues de Génie Minéral et Environnement, tous nos  
Amis (es) et camarades.

## **Remerciements**

Au non du Dieu clément, on ne serait ouvrir ce rapport sans remercier tous ceux et celles qui par leur conseils et leur dévouement nous ont aidé à la réalisation de ce travail.

Mes professeurs je tiens à vous remercier infiniment pour votre assistance et conseils que vous nous aviez donnés pendant notre formation professionnelle.

Nos remerciements et notre gratitude vont de façon particulière à Mr D. AZZAB notre encadrant dans la réalisation de ce modeste projet pour son assistance et conseils, on a pu apprécier la noblesse se ses idées et la valeur de ses conseils qui nous ont apporté l'utilité nécessaire.

Nos remerciements et nos respects vont également aux membres de jurys qui ont accepté de lire et juger notre travail, Messieurs les professeurs S. HINAJE et M. CHARROUD.

Nos tenons à adresser nos vifs remerciements à Mme Halima et Mr Omar EL AROUSSI de leur compréhension et de leurs efforts qu'ils ont fourni pour nous aider.

Nos remerciements sont également adressés à nos amis et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

# Sommaire

<b>Avant propos</b> .....	<b>5</b>
<b>CHAPITRE I : METHODES ELECTRIQUES : NOTION DE BASE</b>	
I.1. GENERALITES.....	7
I.2. LES PROPRIETES ELECTRIQUES DES ROCHES.....	8
I.3. RESISTIVITE DE QUELQUES ROCHES ET MINERAUX.....	8
I.4. THEORIE .....	9
I.4.1. Potentiel dans un milieu homogène.....	10
a/ Une seule électrode de courant en profondeur.....	10
b/ Une seule électrode de courant en surface.....	10
c/ Deux électrodes de courants à la surface.....	10
I.4.2. Notion de la résistivité apparente.....	11
I.5. Les dispositifs de mesures.....	12
I.5.1 Wenner.....	12
I.5.2 Schlumberger symétrique.....	13
I.5.3 Pole-dipôle.....	13
I.5.4 Dipôle-dipôle.....	14
I.6. Les techniques utilisées	
I.6.1 Mise a la masse.....	15
I.6.2 Sondage électrique vertical.....	15
I.6.3 Trainée électrique.....	19
I.6.4 Tomographie électrique.....	20
<b>CHAPITRE II : APPAREILLAGES</b>	
II-1. résistivimètre Siscal Kid Switch et Junior Switch.....	
II-2. Syscal R1 plus switch 48.....	
II-3 Les étapes de mesure par le résistivimètre .....	
<b>CHAPITRE III : APPLICATIONS</b>	
III-1. Utilisation de la tomographie électrique a l'étude de l'instabilité du terrain dans la région de Fès	
III-2. Essais d'optimisation de la capacité de retenue d'eau d'un lac par caractérisation géophysique du recouvrement argileux	
III-3. Apport des méthodes électriques à la caractérisation de la fertilisation des sols	
<b>Conclusion et recommandations</b> .....	
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	

## ***AVANT PROPOS***

Dans le cadre de notre formation du DUT GME, le projet tutoré est programmé afin de préparer les étudiants à rechercher des sujets qui s'intègrent dans leur formation et de s'initier au travail de groupe puis de produire un rapport.

L'objectif de ce travail est d'exposer deux techniques de prospection géophysiques qui sont les méthodes de résistivité électrique. Ensuite d'étudier des cas d'application de ces méthodes provoquées.

Notre travail est réparti en trois volets. Un premier volet est consacré aux notions de bases. Ensuite nous exposons les appareils de mesures et les techniques de levé relatives. Le dernier volet est dédié à quelques applications pour montrer l'importance de ces méthodes non destructives utilisées en détection à distance.

Nous nous sommes aidées par des ouvrages, des documents et des publications sur internet. Guidées par notre encadrant, nous essayons de donner à chaque partie l'information nécessaire sans trop se disperser dans les détails et montrer via des exemples d'applications l'intérêt des deux méthodes.

# **Chapitre I.**

## **Méthodes électriques : notions de bases**

## I.1. Généralités :

La prospection électrique est l'une des plus anciennes méthodes de prospection géophysique de mise en œuvre est relativement simple. En effet, on injecte du courant continu « I » au moyen de deux électrodes dites d'injection (C1 & C2 voir figure ci-dessous) et on mesure la différence de potentiel «  $\Delta V$  » en résultant avec deux électrodes dites de potentielles (P1 & P2 voir figure ci-dessous).

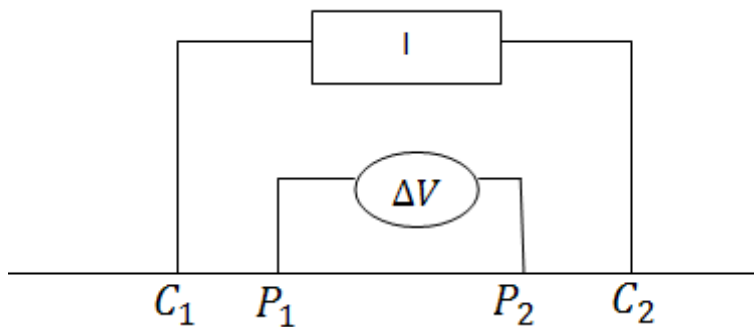


Figure 1.1a : schéma de configuration d'un dispositif électrique. C1 et C2 sont les électrodes de courant et P1 et P2 les électrodes de potentiel.

La résistance mesure l'opposition au passage d'un courant électrique, et peut permettre de caractériser un matériau. La loi d'Ohm dit que la résistance électrique est donnée par le quotient du potentiel  $V$  appliqué aux bornes d'un matériau par le courant qui circule, soit :

$$R = \frac{V}{I}$$

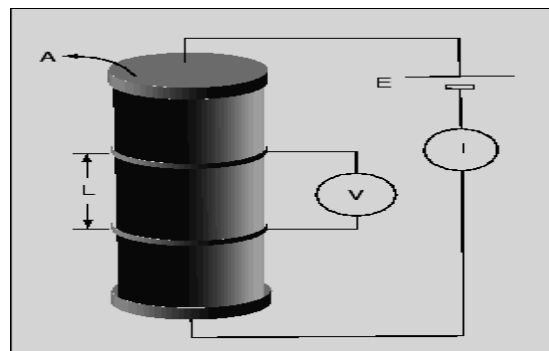


Figure 1.1b : schéma d'un cylindre parcouru par courant électrique I sur avec la mesure  $\Delta V$

Cependant, en prospection électrique la notion de résistance n'a pas vraiment de signification puisque si on prend deux échantillons de longueur différente du même matériau, ils n'auront pas la même résistance.

Puisque la résistance dépend de la géométrie du corps, on doit se baser sur une propriété qui, tout en caractérisant la facilité de laisser passer le courant, est indépendante de la géométrie de l'échantillon choisi. Cette propriété s'appelle la résistivité électrique  $\rho$  et est reliée à la résistance R par :

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

Où A et L sont respectivement la section et la longueur du prisme rectangulaire considéré.

L'inverse de la résistivité  $\sigma = \frac{1}{\rho}$  est appelée la conductivité électrique et ses unités sont les mho/m ou siemens/m.

Notons que la loi d'Ohm sous la forme exprimée à l'équation est une forme simplifiée de la forme générale qui s'écrit :

$$J = \sigma \times E$$

Où J est la densité de courant (courant par unité de surface traversée  $J = I/A$  (ampères/m<sup>2</sup>)), et E est le champ électrique. Par définition E est le gradient du potentiel V :

$$E = -\Delta V = -\frac{dV}{dr} = \rho \times j$$

Le signe moins vient du fait que le potentiel V est plus élevé au début du circuit qu'à la fin, alors que  $\Delta V$  est la différence entre le potentiel de la fin moins celui du début du circuit.

## **I.2. Les propriétés électriques des roches:**

### **La conductibilité électrique des roches :**

Dans un conducteur, le courant électrique peut s'écouler selon deux modes distincts:

1-La conductibilité solide : Le passage du courant se fait par **déplacement d'électrons**. On parle de conductibilité électronique ou métallique car c'est une conductibilité analogue à celle des métaux.

2-La conductibilité liquide électrolytique : En fait, pour la plupart des roches, la conductibilité est presque uniquement de type électrolytique. Cela signifie que ce sont **les**



**ions** qui transportent des charges sous l'effet du champ électrique et que les roches conduisent le courant électrique **grâce à l'eau qu'elles contiennent**.

### **La résistivité d'une roche va dépendre de:**

- **1-La salinité:** La conductibilité d'un électrolyte dépend en fait de la teneur en ions et de la mobilité des différents ions en solution et du degré de dissociation.
- **2-La température :** La résistivité d'un électrolyte dépend aussi de la température. Une augmentation de température diminue la viscosité, la mobilité des ions devient plus grande, par ailleurs, la dissociation augmente, ce qui a pour effet de diminuer la résistivité ou inversement d'augmenter la conductibilité.
- **3-la texture :** En général, dans les roches ignées, la résistivité apparente est élevée. Si la roche est saine, peu fracturée, pas poreuses, peu de fluide y circule et elle sera très résistante. Les fractures diminuent la résistivité.

### **La loi d'Archie:**

Dans les sédiments et roches sédimentaires, la résistivité est généralement plus faible. Plus ces roches sont vieilles, tassées et profondes, plus la porosité diminue et la résistivité est élevée. En fait, le facteur déterminant de la résistivité d'un sol est la teneur en eau. La formule d'Archie relie la  $\rho$  et la teneur en eau. C'est une relation empirique de la forme :

$$\rho = F \rho_w = a \varphi^{-m} S^{-n} \rho_w$$

ou  $\rho$  est la résistivité de l'eau contenue dans les pores, F est le facteur de formation et est égal à  $a \varphi^{-m}$  et I est l'index de résistivité et vaut  $S^{-n}$ . Le terme m est appelé facteur de cimentation,  $\varphi$  est la porosité efficace et S est la saturation. Le terme n vaut approximativement 2.

## **1.4. THEORIE**

### **1.4.1**

Dans un milieu homogène, le potentiel électrique s'exprime différemment selon le dispositif utilisé.

a/ Cas d'une seule électrode de courant en profondeur :

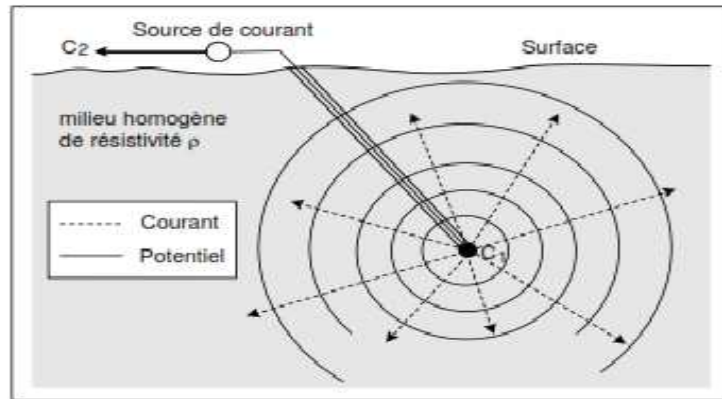


Figure 1.4a : Potentiel généré par l'injection de courant dans une surface sphérique

On a 
$$-\Delta V = -\frac{dV}{dr} = \rho j$$

Avec 
$$j = \frac{I}{A} = \frac{I}{4\pi r^2}$$

$$-\frac{dV}{dr} = \frac{\rho I}{4\pi r^2} \quad \Rightarrow \quad dV = -\frac{\rho I}{4\pi r^2} dr$$

Par une simple intégration on obtient 
$$V = \frac{\rho I}{4\pi r} + \text{Cte}$$

On suppose que le potentiel est nul très loin du point d'injection, ce qui supprime cette

constante. 
$$V = \frac{\rho I}{4\pi r}$$

b/ Cas d'une seule électrode à la surface :

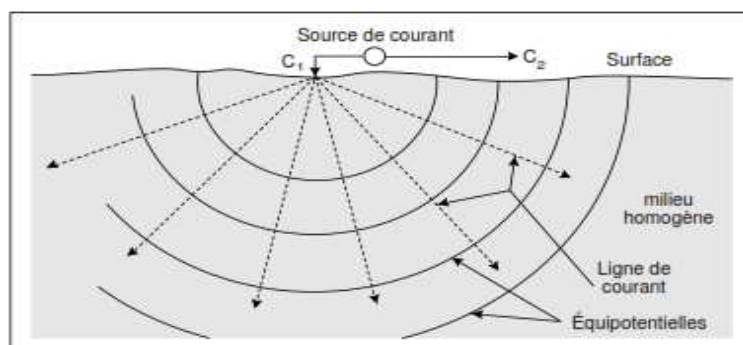


Figure 1.4b : Potentiel généré par l'injection de courant dans un demi-homogène et isotrope.

Il s'agit du cas du demi-espace homogène, dont  $j = I/2\pi r^2$

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r}$$

c/Cas de deux paires d'électrodes : le quadripôle

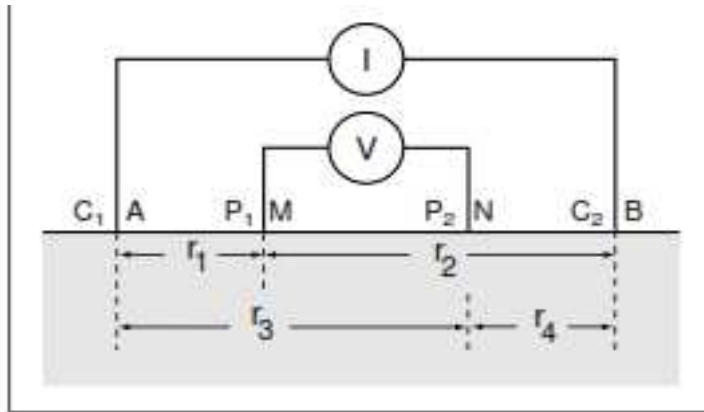


Figure 1.4c. Présentation d'un quadripôle

Lorsque la distance entre deux électrodes du courant est finie, le potentiel en un point P est affecté par ces deux électrodes.

Le potentiel au point P1 dû à l'électrode C1 est :

$$V1 = \frac{I\rho}{2\pi r1^2}$$

Et le potentiel au point P1 dû à l'électrode C2 est :

$$V2 = \frac{I\rho}{2\pi r2^2}$$

Puisque le courant qui sort par une électrode (C1 ou A) est égal au courant qui entre par l'autre électrode (C2 ou B), on peut écrire que

$I_1 = -I_2$ . Le voltage total à P1 (ou M) est :

$$V1 + V2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r1} - \frac{1}{r2} \right)$$

Ainsi, la différence de potentiel  $\Delta V$  entre deux électrodes de potentiel sera :

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \Rightarrow \rho = \frac{\Delta V}{I} \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)}$$

Ou bien

$$\rho = R \times k$$

Où  $k$  est le facteur géométrique qui dépend de la disposition des électrodes.

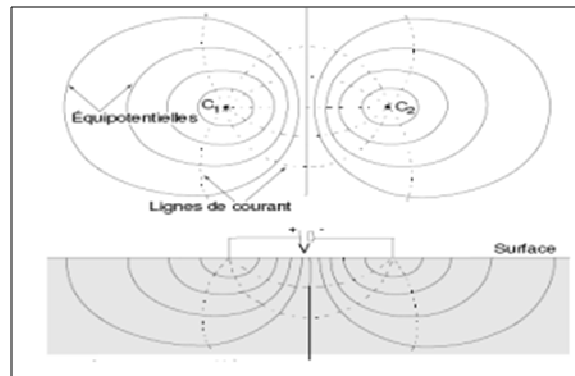


Figure 1.4d. Lignes de courants et des équipotentiels pour un quadripôle

Le courant injecté pénètre dans le sol par l'électrode A et en sort par l'électrode B. La répartition des lignes de courant se fait alors en volume. On peut donc repérer à la fois les variations latérales de résistivité et les variations en profondeur. On mesure la différence de potentiel entre deux électrodes M et N. La résistivité déduite de cette mesure dépend de la géométrie du dispositif de mesure  $k$ .

#### **I.4.2. Notion de résistivité apparente**

La résistivité apparente mesurée n'est pas la résistivité vraie du sol, c'est une résistivité prenant en compte l'ensemble des terrains traversés par les équipotentiels utilisées pour la mesure.

### **I.5. LES DISPOSITIFS UTILISEES :**

#### **I.5.1 Wenner :**

Les quatre électrodes sont disposées sur un même alignement et  $AM=MN=NB=a$ . Les électrodes de mesure M et N sont disposées à l'intérieur des électrodes d'émission A et B.

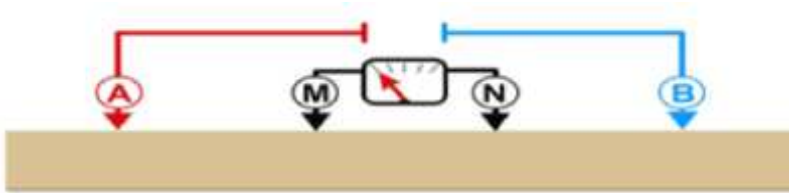


Figure 1.5a : Dispositif Wenner

Notons :  $MA=r1$ ,  $BM=r2$ ,  $MB=r3$ ,  $NB=r4$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r1} + \frac{1}{r2} + \frac{1}{r3} + \frac{1}{r4}\right)} \Rightarrow K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{2a} + \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}\right)}$$

$$K = 2\pi a$$

### 1.5.2 Schlumberger symétrique

Les quatre électrodes sont disposées sur un même alignement. la distance MN est petite par rapport à la distance AB. En général la distance  $MN \ll AB/5$ .

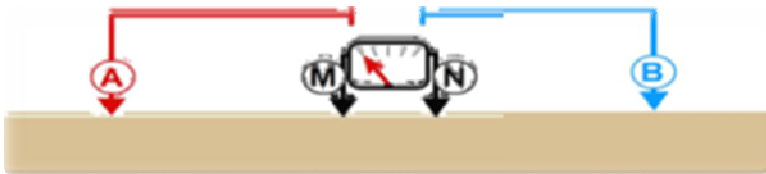


Figure 1.5.2 : Dispositif de Schlumberger symétrique

Notons:  $AM=BN=L-1$  et  $AN=BM=L+1$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r1} + \frac{1}{r2} + \frac{1}{r3} + \frac{1}{r4}\right)} \Rightarrow K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{L-1} + \frac{1}{L+1} + \frac{1}{L+1} + \frac{1}{L-1}\right)}$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{2}{L-1} + \frac{2}{L+1}\right)} \quad K = \frac{2\pi}{L^2-1} \quad (L \gg \gg l)$$

$$K = \frac{\pi \times L^2}{2l}$$

### I.5.3 Pole-dipôle

On rejette à l'infini une des quatre électrodes et on obtient un tripôle AMN ou ABM. Le tripôle le plus courant est celui où les trois électrodes sont disposées sur une même ligne droite. A étant à l'extérieur de MN. En général ces 3 électrodes sont équidistantes ou la distance MN est petite par rapport à AN.

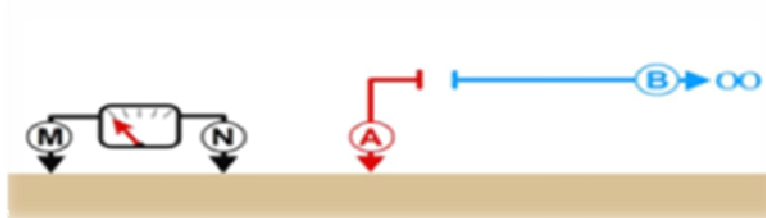


Figure 1.5c : Dispositif Pôle-dipôle

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)}$$

$$\text{soit } K = \frac{2\pi}{\left(\frac{b-a}{ab}\right)}$$

$$\text{ce qui donne: } K = \frac{2\pi \times a \times a}{b-a}$$

### I.5.4 Dipôle- dipôle

Les quatre électrodes sont généralement disposées sur un même alignement et  $AB=MN=2l$ . la distance entre les 2 dipôles est variable.



Figure 1.5d : Dispositif dipôle-dipôle

Notons :  $AM=2nl$  et  $AN=2l(n+1)$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{2nl} - \frac{1}{2l(n-1)} - \frac{1}{2l(n+1)} + \frac{1}{2nl}\right)}$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{nl} - \frac{1}{(n-1)(n+1)}\right)}$$

$$K = 2\pi l(n-1)n(n+1)$$

### ***Conseil pratiques sur l'utilisation des différents dispositifs***

Le dispositif Wenner :

- ✓ Recommandé pour les structures horizontales.
- ✓ Profondeur d'investigation plus faible que celle du Dipôle-Dipôle et du Wenner-Schlumberger .
- ✓ Le nombre de points à l'acquisition est inférieur à celui du Dipôle-Dipôle et du Wenner-Schlumberger; cet effet se fait surtout sentir sur les bords

Le dispositif Schlumberger :

- ✓ Recommandé à la fois pour les structures horizontales et verticales.
- ✓ Profondeur d'investigation est d'environ 10 % plus élevée qu'avec le Wenner
- ✓ Le nombre de points à l'acquisition est plus grand que pour le Wenner mais inférieur à celui du Dipôle-Dipôle

Le dispositif Dipôle-Dipôle :

- ✓ Recommandé surtout pour les structures verticales.
- ✓ Profondeur d'investigation plus grande que pour le Wenner et Schlumberger.
- ✓ Le nombre de points à l'acquisition est plus grand que pour le Wenner et le dispositif Schlumberger.
- ✓ Nécessite des appareils sensibles et un bon couplage des électrodes avec le sol.
- ✓ Peut être utilisé pour de la 3D seulement pour des grilles de 12 x 12 électrodes.

Le dispositif Pôle-Dipôle :

- ✓ Dispositif asymétriques pouvant créer des artéfacts
- ✓ Profondeur d'investigation intermédiaire entre le Dipôle-Dipôle et le Pôle-Pôle.

- ✓ Sensible au bruit.
- ✓ Nécessité de mettre une électrode à l'infini.

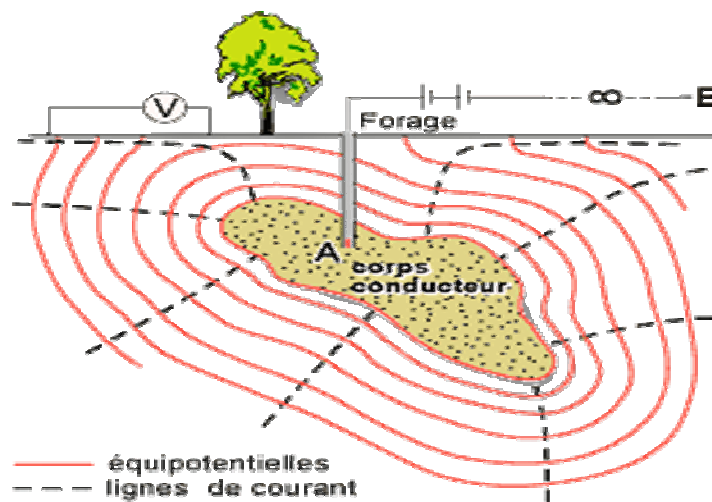
Le dispositif Pôle-Pôle :

- ✓ Profondeur d'investigation la plus profonde.
- ✓ Faible résolution.
- ✓ Nécessité de mettre deux électrodes à l'infini.
- ✓ Très sensible au bruit.
- ✓ Surtout utile en 3D, car grand nombre de points à l'acquisition.

## ***1.6. LES TECHNIQUES UTILISEES***

### ***1.6.1 la mise a la masse :***

L'électrode d'émission est remplacée par un gisement conducteur dans lequel on injecte le courant. (C'est un quadripôle dont B et M sont à l'infinie (plantés très loin)). L'ensemble du gisement joue alors plus ou moins le rôle d'électrode de courant, toute sa surface se mettant sensiblement au même potentiel. Cette méthode est utilisée surtout en recherche



minière.

Figure 1.6.1 : Principe de mise à la masse

Les conditions favorables pour la mise à la masse :

- la résistivité du conducteur soit très faible et très inférieure à celle de l'encaissant.
- le conducteur soit continu



- le conducteur soit atteignable par forage ou affleurement.

### I.6.2 Les sondages électriques :

#### Mise en œuvre :

Lors de l'exécution d'un sondage électrique on recherche comment varie, en un point donné de la surface, la résistivité du sous-sol à la verticale. Pour cela on exécute en un même endroit une succession de mesures, en augmentant chaque fois toutes les dimensions du dispositif et de ce fait la profondeur d'investigation qui leur est proportionnelle.

On explore à cet endroit une tranche de terrain de plus en plus épaisse et l'on met ainsi en évidence les changements de constitution géologique suivant la verticale. Les mesures peuvent être réalisées avec les dispositifs classiques: Schlumberger, Wenner, dipôle-dipôle, etc.

La profondeur d'investigation  $p$  est :  $AB/12 < p < AB/4$



Figure 1.6.2 : La mise en œuvre des sondages électriques

#### Présentation des sondages électriques (SE):

Les résultats d'un sondage électrique sont représentés sous forme d'un diagramme où l'on porte en abscisse la demi longueur de AB, soit OA, et en ordonnée la valeur de la résistivité

apparente correspondante. L'échelle employée est bilogarithmique, c'est à dire logarithmique sur les deux axes.

**a/ SE deux couches :**

L'effet de l'épaisseur de  $h_1$  est assez évident. Plus l'épaisseur du premier terrain est importante plus il faudra un grand espacement pour obtenir la résistivité du second terrain. Cela est vrai pour n'importe quel dispositif et pour n'importe quel rapport de  $\rho_2/\rho_1$ . Cependant quelque soit le dispositif utilisé il faut des OA plus grands pour atteindre  $\rho_2$  quand  $\rho_2$  est résistant ( $\rho_2/\rho_1 > 1$ ) que quand  $\rho_2$  est conducteur ( $\rho_2/\rho_1 < 1$ ).

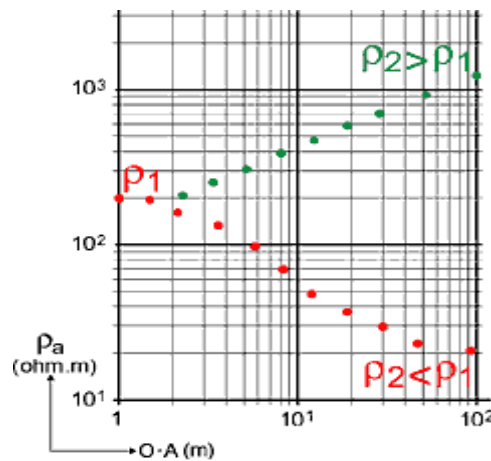
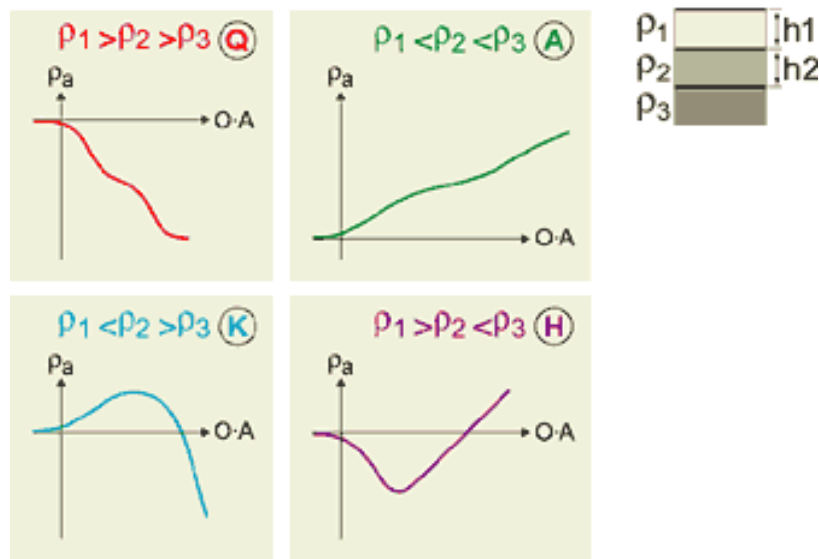


Figure 1.6.2.a. SE bicouche

**b/ SE trois couches :**

Si le sous-sol est composé de trois couches de résistivité  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  et d'épaisseur  $h_1, h_2$  il y a alors quatre combinaisons possibles :



## Figure 1.6.2.b. SE tricouches

Q : SE en forme de «escalier descendant »

A : SE en forme de « escalier montant »

K : SE « en cloche »

H : SE « en fond de bateau »

### Précautions durant l'interprétation des SE

- ❖ Conductance longitudinale et Résistance transversale :

La conductance longitudinale ( $C_1$ ) :

Après avoir déterminé à quel type de courbe correspond notre sondage nous allons interpréter ce sondage pour déterminer la résistivité et l'épaisseur des trois couches. Dans le cas de couches horizontales, infinies latéralement, on démontre qu'à une succession donnée de résistivités et d'épaisseurs correspond un seul diagramme de sondage électrique bien défini, malheureusement l'inverse n'est pas vrai. Une courbe de sondage électrique peut correspondre à des répartitions très différentes des résistivités et des épaisseurs, ce qui peut conduire à une indétermination. Il y a ambiguïté d'interprétation. Cette indétermination se manifeste sous deux formes particulières qui ont reçu le nom de principe d'équivalence et principe de suppression.

$$C_1 = \frac{e}{\rho}$$

Avec  $e$  est l'épaisseur en m

Et  $\rho$  est la résistivité en  $\Omega\text{m}$

La résistivité transversal :

$$R_t = e \times \rho$$

- ❖ Principe d'équivalence et de disparition

*Le principe d'équivalence*

Le principe d'équivalence concerne des couches dont la résistivité est soit inférieure soit supérieure à celle des deux terrains entre lesquels elles sont comprises. En SE une couche intervient principalement par sa  $R_t$  si elle est résistante par rapport aux couches encaissantes ou par sa  $C_l$  si elle est conductrice par rapport à ces couches. En d'autres termes des couches d'épaisseur et de résistivité différentes peuvent être équivalentes en ce qui concerne leur effet sur un SE si leur  $R_t$  ou leur  $C_l$  sont égales.

*Le principe de disparition*

Le principe de suppression est également très important lors de l'interprétation des sondages électriques. Lorsqu'une couche mince a une résistivité intermédiaire entre celle des couches encaissantes, elle n'est pas décelable sur les SE

**I.6.3 Trainé électrique :**

Il s'agit simplement de déplacer un quadripôle  $AMNB$  de dimension fixe sur le site à explorer (tous les dispositifs décrits précédemment sont utilisables). à chaque station, on fait une mesure de  $\rho_a$  et de  $\Delta V$  qui permet de calculer  $\rho_a$  qu'on affecte au centre du dispositif. On explore de la sorte la résistivité apparente sur une profondeur constante

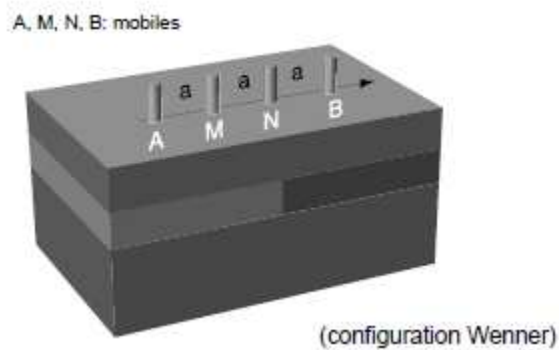


Figure 1.6.3<sub>1</sub>: Illustration du principe de mise en œuvre d'un profil.

Un trainé est aussi appelé profil. On distingue différents types de profils :

➤ **Trainée simple (Schlumberger symétrique) :**

On déplace l'ensemble de dispositif  $AMNB$ , d'une mesure à l'autre sur une longueur généralement égale à  $MN$ . On obtient une investigation continue.

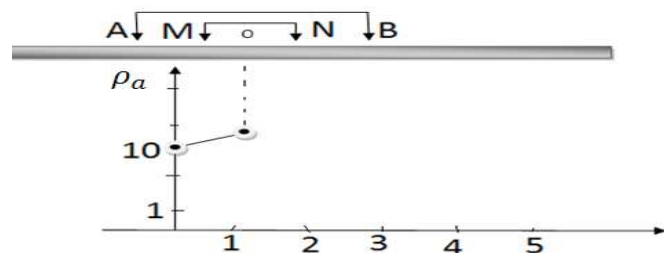
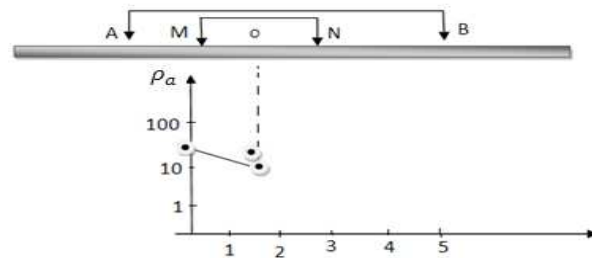


Figure 1.6.3<sub>2</sub>: Illustration du principe de mise en œuvre d'un profil.

➤ **Trainée à répétition (Schlumberger asymétrique) :**

Au départ l'électrode N est en O (milieu d'AB). on effectue une mesure. En suite on déplace MN. tel que M se positionne en O. on effectue une seconde mesure AB étant toujours fixé. On mesure, ce qui donne deux valeurs pour la même position des électrodes MN. Dans cette position l'électrode N se trouve sur O et on recommence l'opération.



**I.6.4 Tomographie électrique :**

Une des limitations des sondages électriques vient du fait qu'ils ne prennent pas en compte les variations latérales de la résistivité du sous-sol. La méthode de tomographie électrique furent mise au point dans le but d'obtenir un modèle du sous-sol où la répartition de la résistivité varie verticalement et horizontalement le long du profil. En déplaçant et en augmentant le dispositif, on peut mieux imaginer. On définit alors une pseudo-section.

Les données mesurées  $\rho_a$  sont représentées sous forme de sections de contour ou de couleur. L'axe vertical est une pseudo-profondeur proportionnelle à l'écartement des électrodes.

➤ **Tomographie dipôle-dipôle :** Dans le cas d'un dipôle - dipôle, la mesure est reportée au point: d'abscisse qui est le milieu du dispositif utilisé et d'ordonnée qui est pseudo-profondeur.

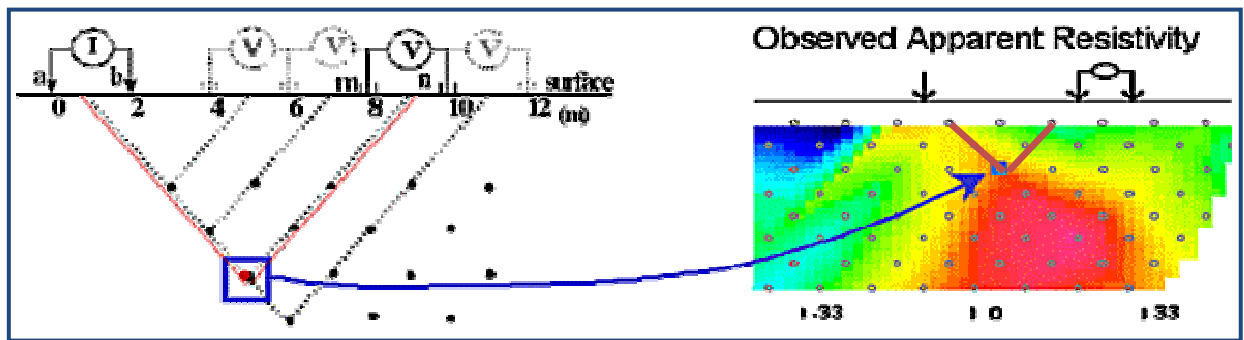
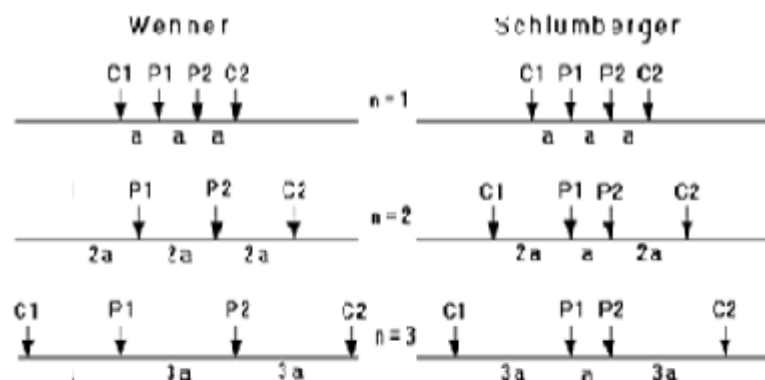


Figure 1.6. Tomographie électrique dipôle-dipôle

➤ Tomographie électrique utilisant d'autres dispositifs (exemples **Wenner** et **Schlumberger**):

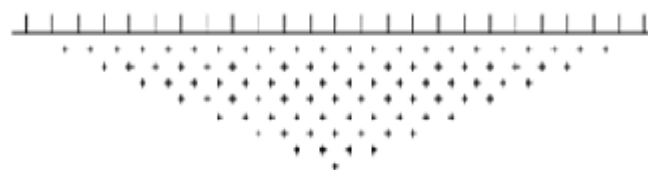
Le mode opératoire est le même et est contrôlé par le multi-électrode mais le dispositif est différent.

i)



Wenner

ii)



Schlumberger

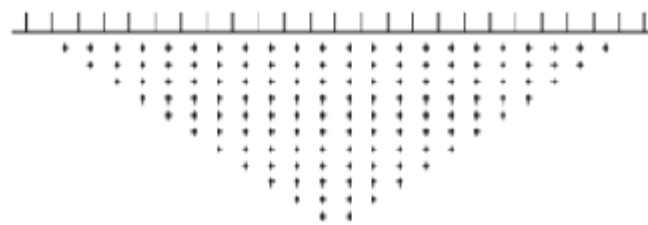


Figure 1.6 4<sub>2</sub>: comparaison entre (i) l'électrode d'arrangement et (ii) la pseudo-section

## **Chapitre II.**

### **Méthodes électriques : Appareillage**

### **II.1 Le résistivimètre :**

C'est un appareil qui permet de mesurer la résistivité à la suite de l'envoi d'un courant électrique via un générateur de courant et la mesure de la différence de potentielle qui se produit par l'intermédiaire d'électrodes de potentielle. La figure II-1.1 montre le type syscal sous différents modèles (Kid, Junior, R1 plus).

#### **SYSCAL Kid Switch**



24 électrodes

Espace entre cable : 3m ,5m

Energie 25w Voltage 200V

#### **SYSCAL Junior Switch**

24-48 ou 72 électrodes

Espace entre cable :5m,10m

Energie 100w Voltage 400V

#### **SYSCAL R1 Plus Switch**

24-48 ou 72 électrodes

Espace entre cable :5m,10m

Energie 200w Voltage 600V

On y introduit les distances AB et MN, le nombre de cycle et il affiche sur son écran LCD en plus de I et  $\Delta V$  le  $\rho$ .



## II.2 Syscal R1 plus switch 48

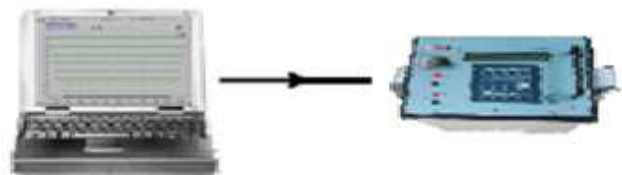
C'est un résistivimètre particulier utilisé pour le levé de panneaux électriques, il distribue automatiquement les rôles aux électrodes tantôt de courant tantôt de potentielle. Ces dernières sont au nombre de 12 ou 24 ou 48 ou 96.



Connexion électrode au câble

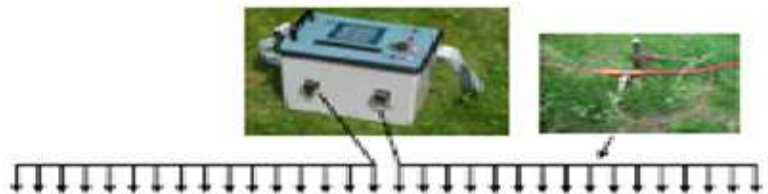
## II.3 Les étapes de mesure par le résistivimètre :

**Etape1 :** Création de fichier

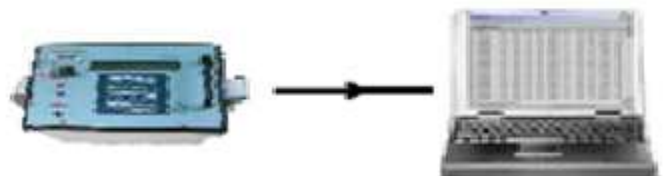


et transfert en SYSCAL

**Etape2 :** Mesure par SYSCAL



**Etape3 :** transfert les mesures et traitement par PROSYS SOFTWARE



**Etape4 :** Interpretation



## **CHAPITRE III**

## **APPLICATIONS**

### **III-1-UTILISATION LA TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE A L'ETUDE DES INSTABILITE DE TERRAIN DANS LA REGION DE FES(THRAT).**

*(Extrait des travaux de l'équipe Cartographie et Modélisation Géologique et Géophysique – FST Fès en partenariat avec l'Université de Barcelone)*

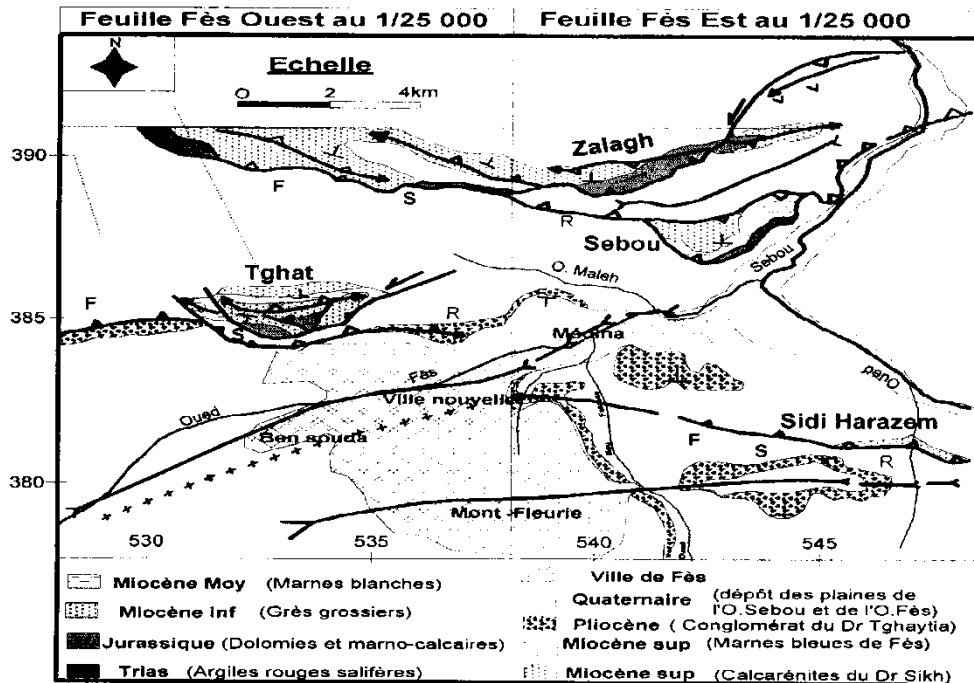
#### **III-1.1. Géologie et indices d'instabilité de terrain**

##### **🚧 Contexte géologique**

La ville de Fès est située à la limite méridionale rifain et à l'extrémité nord oriental de la plaine de sais. Elle se trouve dans une zone en cuvette, au pied du Jbel Tghat et du Jbel Zalagh, le secteur comprend une variété de paysages exprimée par des reliefs (J. Tghat et J. Zalagh), des collines (Kodiat Ben Jalik), des plateaux (Mérinides, Sahrij Gnaoua) et des vallées encaissés (oued Fès, oued Sebou).

Les formations géologiques du domaine urbain de la ville de Fès débutent par une série de marnes bleues gypsifères d'âge tortonien. Ces marnes bleues sont coiffées par des marnes sableuses jaunâtre d'âge pliocène. Ces formations marneuses sont recouvertes par des conglomérats passant latéralement vers le sud des marnes à gypse et à des calcaires lacustres plio-quadernaire .Sur le plateau des Mérinides ces ensembles lithologiques sont coiffés par des édifices travertineux et calcaire à texture sableuse d'âge quadernaire.

Dans la zone nord de la ville de Fès, le soubassement est formé par des marnes compactes en profondeur et altérées en surface. Cette zone est le siège d'une érosion régressive importante du fait de la nature lithologique du terrain. Ce processus est considéré comme un risque permanent ayant des impacts néfastes sur les infrastructures urbaines.



**Figure: carte géologique simplifiée de la ville de Fès**

(Charroud et al. 2005, 2007)

#### **Les facteurs génétiques des mouvements de terrain**

Trois principaux facteurs génétiques peuvent être soulevés pour expliquer l'intensité et la multiplication de ces risques naturels :

Le premier facteur est d'ordre géologique, il réside dans la proximité de ce secteur des zones de reliefs accidentés (rides de Tghat et de Zalagh) ce qui implique des problèmes de glissements de terrain en relation avec la morphologie, la nature lithologique du substratum et la structure du sous-sol.

Ces zones de glissements en été sont classées en trois types :

- Celles qui sont liées à la morphologie des reliefs (versant sud de Zalagh, l'ancienne Médina, Sahrij Gnaoua) ;
- Celles liées à la présence de structures tectoniques préexistantes qui favorisent les états de rupture (Ain Haroun, les Mérinides, Menzah Kettani).
- Celles provoquées par la nature lithologique du terrain principalement marneuse avec une proportion importante de gypse.

Le deuxième facteur est lié à l'eau. Celle-ci demeure un facteur prédominant dans la genèse des glissements de terrain et au départ des matériaux. Dans les zones

affectées par ces risques naturels, les eaux sont soit superficielles ou profondes et dont leur circulation favorise des glissements de terrain et des perturbations dans la dynamique des versants en accélérant les érosions régressives, c'est le cas des versants sud de Tghat et de Zalagh principalement.

Le troisième facteur est lié aux actions anthropiques. Celles-ci sont liées à la surcharge engendrée par l'habitat sur les zones susceptibles aux glissements ce qui permet l'accélération du phénomène d'instabilité. Ceci apparaît surtout en un premier temps par des fissurations dans les constructions.

La zone nord de la ville de Fès est soumise aux problèmes liés aux affaissements, instabilités et glissements de terrains. La nature géologique des terrains et l'action anthropique nécessitent une intervention par des aménagements adéquats basés sur des documents cartographiques d'échelle plus détaillée.

### **2-3-2. Dispositif et technique de mesure**

Les mesures de tomographie électrique ont été effectuées à l'aide d'un résistivimètre (Syscal Professionnel) fabriqué par la société française « Iris Instrument ».

Cet appareil (Photo 2-3-2) est conçu pour faire des levés de tomographie électrique. Il est doté d'un système de connexion pouvant recevoir jusqu'à 48 électrodes espacées de 2m. Une fois ces 48 électrodes sont branchées et leur résistance de contact vérifiée, on lance la mesure et c'est le résistivimètre lui-même qui se charge de permuter automatiquement les électrodes de mesure en modifiant à chaque fois la combinaison des quatre électrodes actives.

Les données acquises sont présentées sous forme de panneaux de résistivité apparente dont les axes horizontal et vertical correspondent respectivement à la distance le long du profil et à la séparation entre les deux électrodes mobiles. Sur les panneaux, les mesures sont reportées au milieu du dispositif d'acquisition à ne cote correspondant à la valeur de la séparation courante des électrodes mobiles. Des modèles de sous-sol montrant la distribution en coupe de la résistivité, sont calculés à partir des panneaux en utilisant la méthode d'inversion des données de Loke et Barker (1996).



**Photo 2-3-2 : Le dispositif multi électrodes (a), cables (b) et connexion (c)**

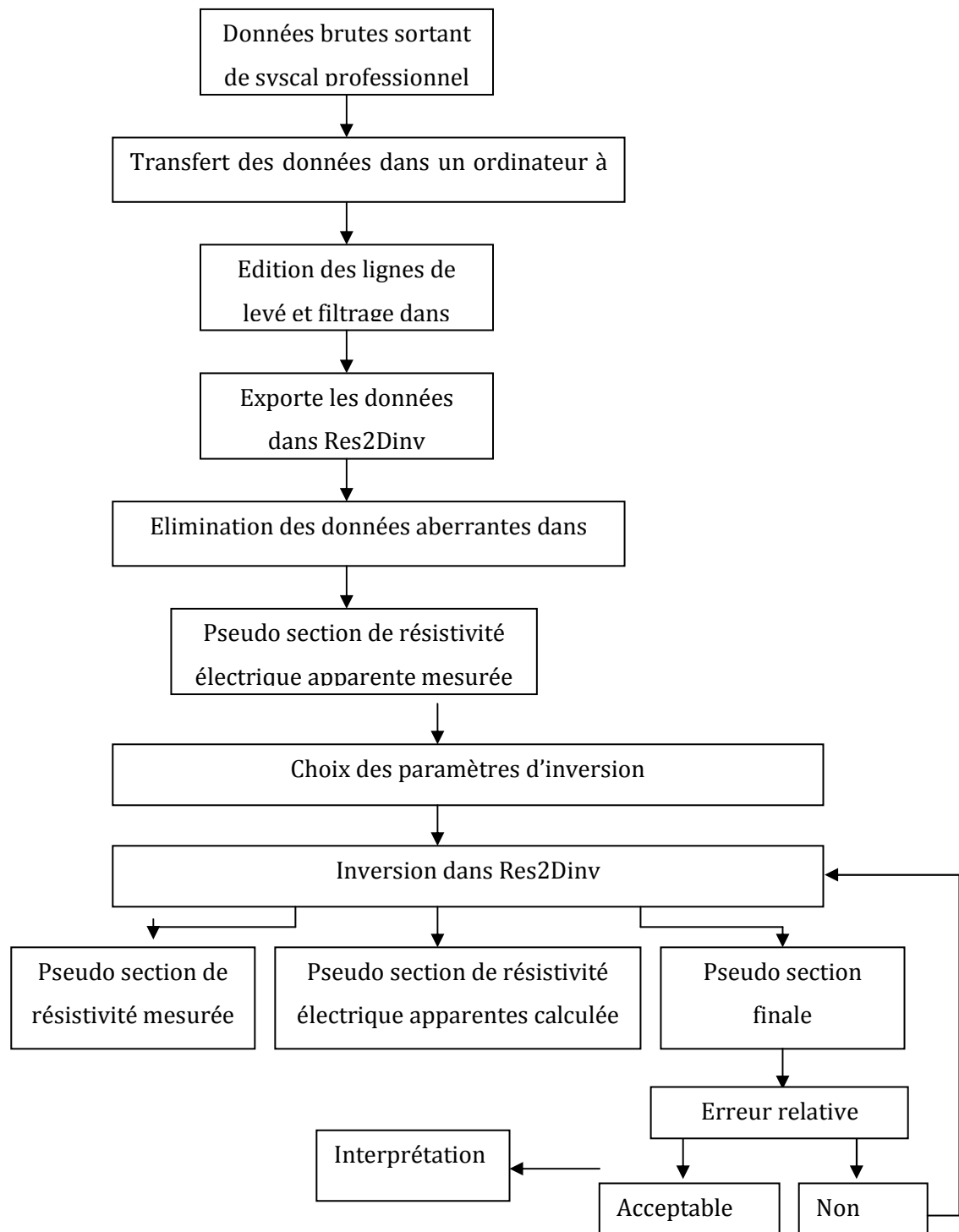
### **2-3. Interprétation des résultats**

#### **2-4-2. Traitement des données**

Les fichiers bruts issus du résistivimètre renferment l'ensemble des informations enregistrées telles que la résistivité apparente, l'emplacement des électrodes de mesure, le voltage mesuré et le courant injecté ainsi que d'autres paramètres moins importants comme la date et l'heure et la mesure. La première opération sur ces données est effectuée à l'aide du logiciel Prosys II. Elle consiste à extraire du fichier initial, les valeurs de la résistivité apparente aberrantes telle que ( $0 < \rho < 10000$ ) et les positions X et Y correspondantes. Ce programme permet aussi de soustraire des valeurs négatives (dues par exemple à des courants vagabonds ou à un mauvais contact entre le sol et les électrodes). Le fichier est ensuite exporté en format Res2Dinv (figure 2-4-2a).

Par la suite, la visualisation et l'inversion des données sont effectuées à l'aide du logiciel Res2Dinv. Avant leur représentation en pseudosection ou panneaux électriques, les données sont visualisées sous forme de profils rabattus, ce qui permet de mettre en exergue et de corriger ou supprimer les mauvaises valeurs de résistivité apparente dont l'origine est souvent non géologique. Ces valeurs aberrantes peuvent être soit de type aléatoire, soit de type systématique (figure 2-4-2b). Sur le logiciel Res2Dinv il suffit de cliquer les points indésirables pour les marquer pour que le logiciel nous demande leur suppression de la section.

La séquence de traitements des données de tomographie électriques qui précèdent leur représentation sous forme de panneau électrique est résumée dans l'organigramme suivant :



**Figure 2-4-2c : Etapes de traitements des données de tomographie électrique**

### 2-4-3. Interprétation

Dans la présente étude on s'intéresse à étudier l'effet électrique des instabilités de terrain moyennant la méthode de tomographie électrique qui s'est avérée efficace dans ce

type d'investigation. Ainsi neuf profils tomographiques ont été réalisés dans Jbel Thrat à proximité de Dar El Kettani (voir figure 2-4-3a) :

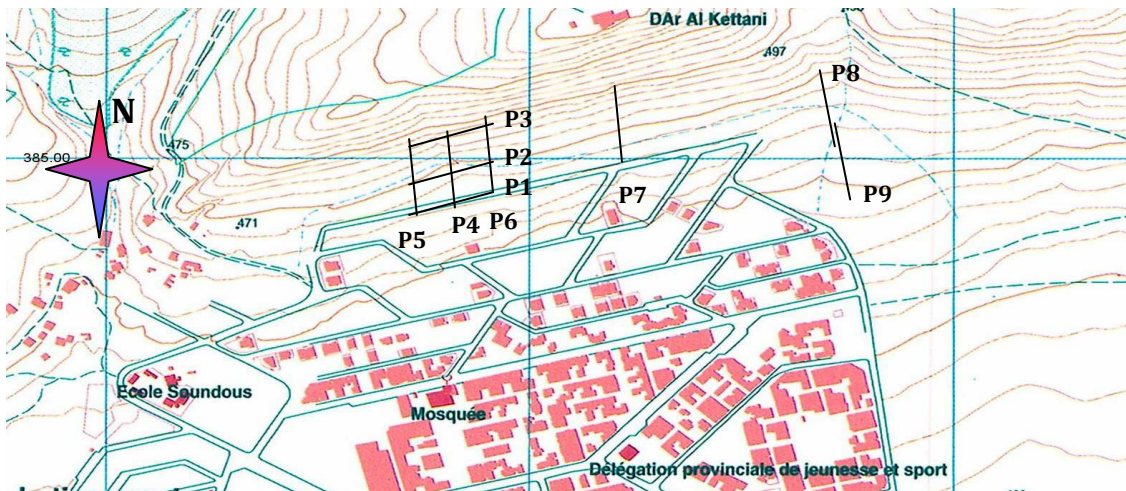


Figure 2-4-3a. Situation géographique des profils tomographiques

Les profils P1, P2, P3, P4, P5 et P6 ont été organisés de telle manière de ressortir les détails des contacts entre les Glacis/marnes/conglomérats. P1, P2 et P3 sont parallèles et orientés ENE-WSW en allant de Sud vers le Nord. Ils sont éloignés les uns des autres de la moitié du dispositif (48m), tandis que les profils P4, P5 et P6 leurs sont perpendiculaires. L'ensemble forme un carroyage dont le but à pouvoir faire des corrélations dans toutes les directions. Le profil P7 est situé plus à l'Est parallèlement aux P4, P5 et P6. Finalement les profils P8 et P9 ont été disposés en roll long dans une zone non habitée à environ 100 m à l'Est de P7.

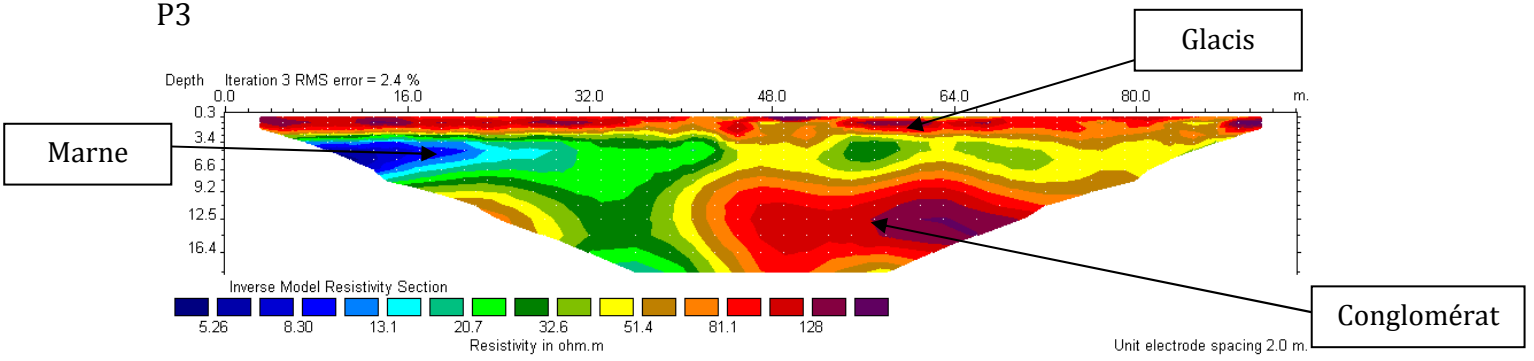
Dans le profil P1 on distingue les glacis qui sont électriquement très résistants des marnes qui sont plutôt conductrices. L'épaisseur des glacis étant très variable allant de quelques décimètres à moins de trois mètres. Les marnes sont plutôt homogène.

Dans le profil P2, on est en présence des glacis qui sont très résistants à épaisseur variable, les marnes à épaisseur très variable de 6 m à l'Est à 12 m vers l'Ouest. En dessous apparaît un niveau très résistant que nous attribuons aux conglomérats.

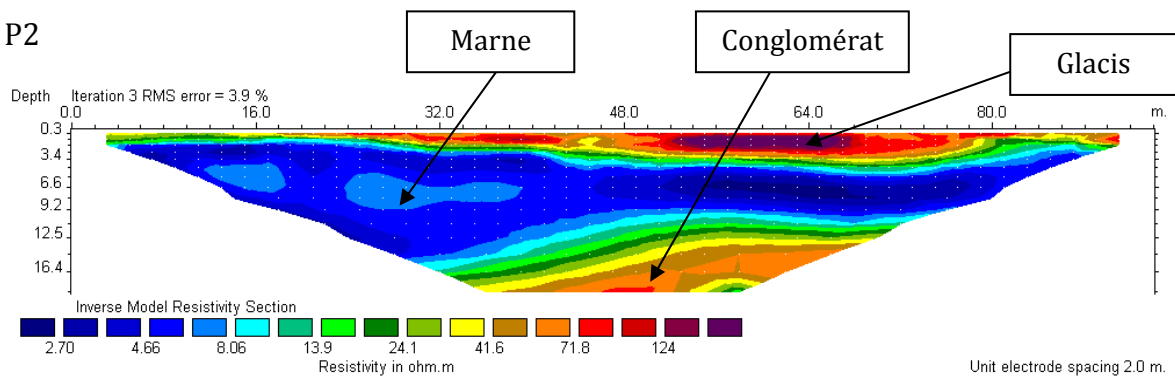
Dans le profil P3, les niveaux résistants dominant, d'abord les glacis ensuite les conglomérats entre lesquels se place un niveau conducteur représentant les. A ce niveau les conglomérats qui ne sont plus qu'à 5 m de profondeur apparaîtront plus au Nord comme le montrera les pseudosections P4, P5 et P6.



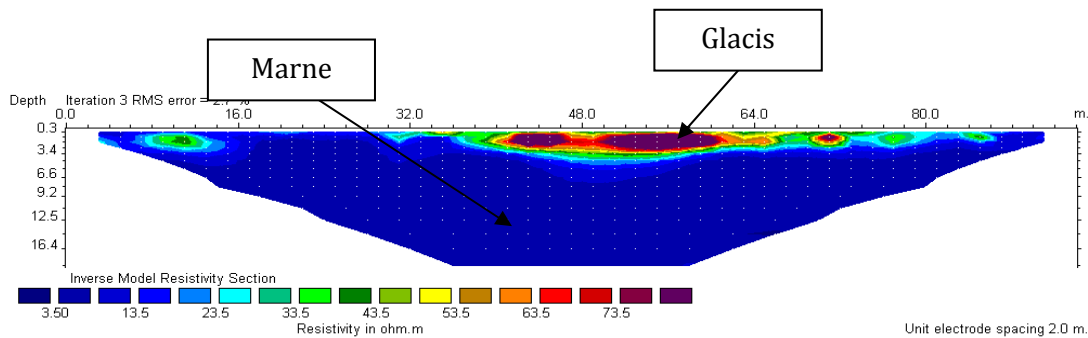
P3



P2



P1



Les sections perpendiculaires aux précédentes et d'orientation subméridiens montrent clairement le glissement. En dessous

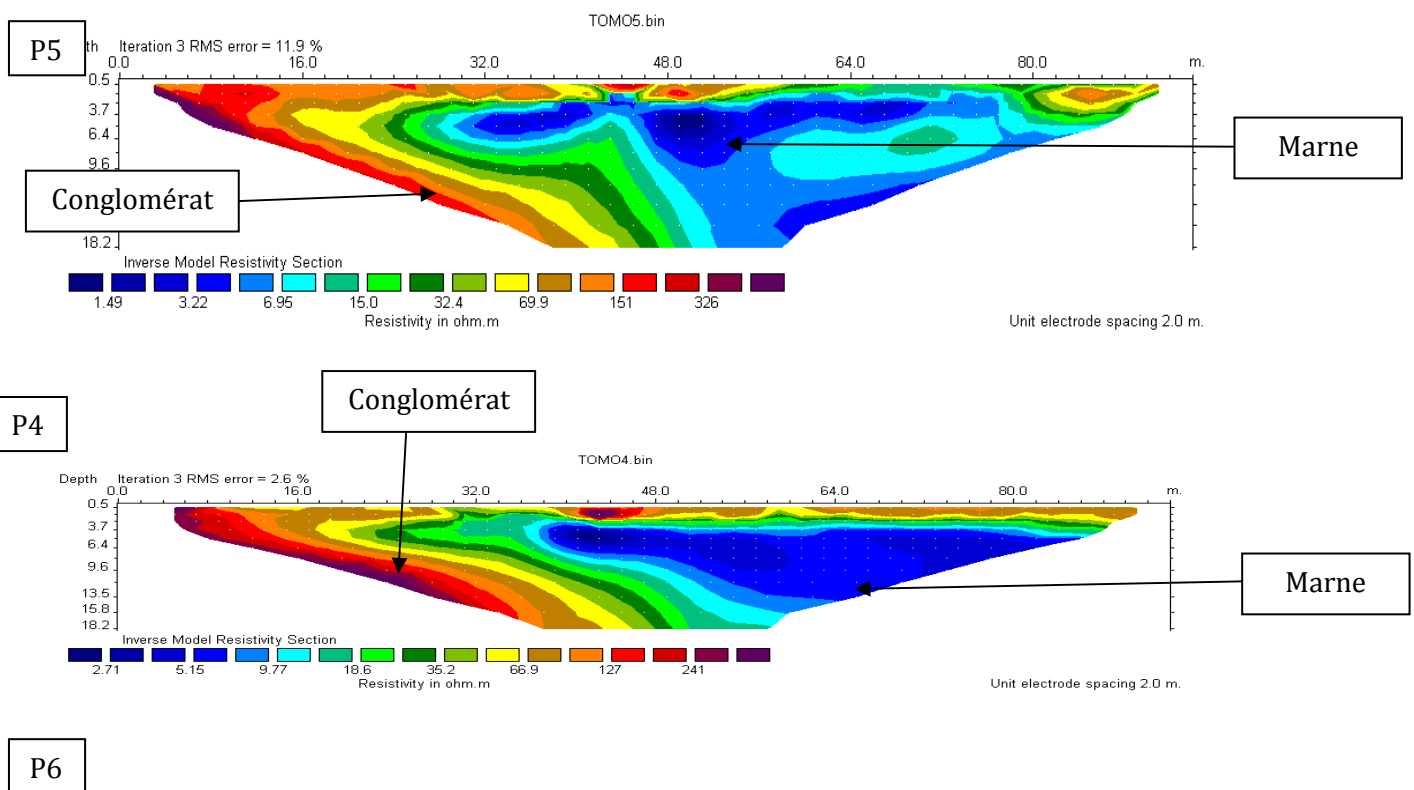
Des glacis les marnes se traduisent par un niveau conducteur plus épais vers le Sud. Dans les P5 et P6, au sein des marnes apparaissent des zones à résistance élevée. Nous attribuons ces zones à des fissures. En effet plusieurs fissures à proximité du levé ont été rencontrées (photo 2-4-3a).

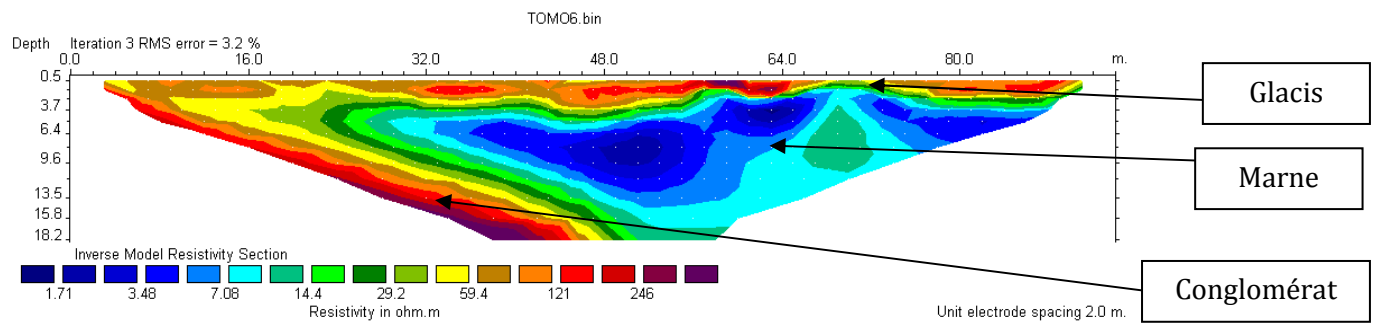


Photo 2-4-3a : Présence de fissures assez larges (10 cm) et profondes dans les glacis

Dans les trois profils, dont les extrémités nord touchent les conglomérats, montrent à ce niveau une zone très conductrice typique des conglomérats et qui plongent vers le Sud avec un grand pendage. Ceci est confirmé sur le terrain (Charroud et al. 2005).

Nous insistons sur la structure géométrique des marnes et la présence de niveau résistant ainsi que la morphologie des glacis qui montrent sans ambiguïté la présence d'instabilité de terrain certainement accentué par la pente en plus des différences d'incompétence des couches.





## **Conclusion**

Dans la zone de Tghat étudiée, le dispositif a été utilisé avec un espacement de 2m sur une longueur totale de 96 m. La profondeur atteinte est de 20m maximum. Les pseudosections obtenues sont très parlantes. Trois niveaux de résistivités différentes ont été distingués. Un niveau superficiel (N1) peu épais mais très résistant sur un niveau plutôt conducteur (N2) et d'épaisseur variable et finalement un troisième niveau (N3) qui est très résistant. Les niveaux N1, N2 et N3 ont été attribués respectivement aux Glacis, marnes et conglomérats.

Des structures de glissement ont été distinguées sur les glacis en particulier sur les profils de direction N-S. Un fait important est que dans les marnes, en particulier sur le P6, on peut voir une zone anormalement résistante au sein des marnes. Cette anomalie électrique a été attribuée à une grande fissure en voies de développement qui pourrait être le précurseur d'un mouvement de terrain vers le Sud. Il est à noter que cette structure n'a pas été observée dans les profils adjacents, ce qui laisse supposé qu'elle est très localisée dans l'espace. Des fissures sur les glacis à proximité du P6 ont été observées, ce qui appuie la thèse d'une zone de faiblesse qu'il faudra prendre en considération. En outre, il ne faut pas négliger le pas d'échantillonnage de 2m qui implique qu'on ne peut voir des structures inférieure à cette distance.

## **III-2. ESSAI D'OPTIMISATION DE LA CAPACITE DE RETENUE D'EAU D'UN LAC PAR CARACTERISATION GEOPHYSIQUE DU RECOUVREMENT ARGILEUX**

*Extrait des travaux de (Bakkali, S. et Bouyalaoui, J. 2005)*

### **Introduction :**

En vue d'optimiser les capacités de retenue d'eau d'un lac artificiel de la commune rurale « rahrah » dans la région de Tanger, il était proposé une étude géophysique par mesures de résistivités géoélectriques. Cette étude a pour objectif la reconnaissance et la détermination de la profondeur du lac, par la reconnaissance de la nature géologique des terrains. A fin de déterminer la nature lithologique des terrains et leurs épaisseurs, 25 sondages électriques Schlumberger de direction Nord- sud ont été implantés et réalisés de manière à couvrir la surface totale du lac « Rahrah ».

### **Situation géographique de la zone d'étude :**

Le lac « Rahrah » est situé à l'extérieur de Tanger à l'ouest du « Royal Golf » de Tanger et du stade international de Cricket, de forme sub-rectangulaire et allongé dans la direction Nord-Sud, il s'étend sur une superficie de 5Ha.

### **Contexte géologique :**

Le site d'étude est caractérisé par une série argileuse très épaisse à intercalations de niveaux de calcaires et de grès, succession qui caractérise le domaine géologique du Tangérois (Figure 1). Du point de vue géologique, le lac « Rahrah » appartient à l'unité de Tanger externe, elle même faisant partie de la zone rifaine. Sur le plan des ressources en eau, l'unité de Tanger externe est caractérisée par une pluviosité relativement abondante qui ne trouve que très peu de roches-réservoirs d'où une importante perte par ruissellement et par évapotranspiration.



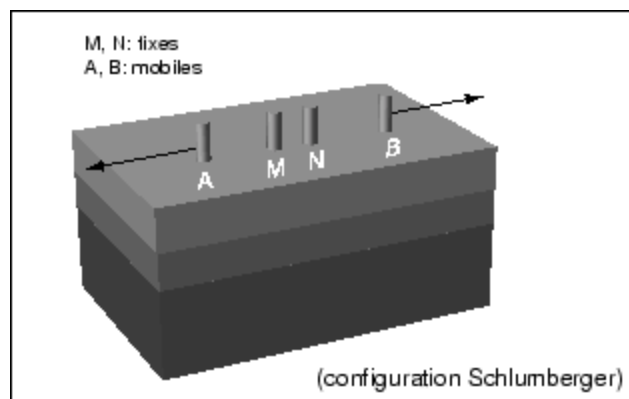
**Figure 1: Aperçu du lac Rahrah avec indication de la digue de retenue**

## **METHODE & MATERIEL :**

### **METHODE**

Dans la zone étudiée, et tenant compte du contexte géologique, la méthode du sondage électrique a été utilisée pour déterminer les épaisseurs et la nature des formations à la verticale des stations de mesure. Les sondages électriques permettent en effet d'obtenir la succession verticale des résistivités. La profondeur d'investigation est proportionnelle à la longueur de la ligne.

En pratique sur le terrain on utilise deux électrodes en acier d'injection de courant A et B, et deux électrodes en cuivre de mesure du potentiel M et N entre lesquelles la différence de potentiel dû aux effets de A et B est mesurée; les 4 électrodes ABMN formant ainsi un quadripôle sont alignées (Figure2). Dans la présente étude, il a été utilisé un dispositif « Schlumberger centré ». La résistivité apparente  $\rho_{app}$  Schlumberger est donnée par :



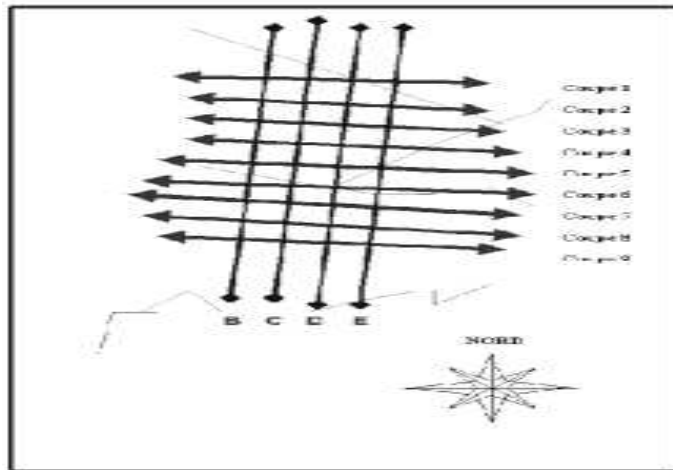
**Figure2: Principe et descriptif des sondages électriques Schlumberger**

### **MATERIEL & MESURES**

Les mesures de résistivité apparente ont été acquises à l'aide du RÉSISTIVIMÈTRE GTR-2 de GEOTRADE-INSTRUMENTS. Pour couvrir l'ensemble de la zone utile d'étude 25 sondages électriques Schlumberger ont été réalisés selon une maille de 25m x 25m. (Figure3).

Cette maille a été dimensionnée par rapport au levé topographique (Figure 3) du lac dont les coordonnées ont été exprimées en méridiens Lambert. La longueur de la ligne AB maximale a été fixée à 200 m afin de cibler la reconnaissance lithologique des terrains sur une profondeur moyenne proche des 35 mètres. Les mesures ont été exécutées durant les

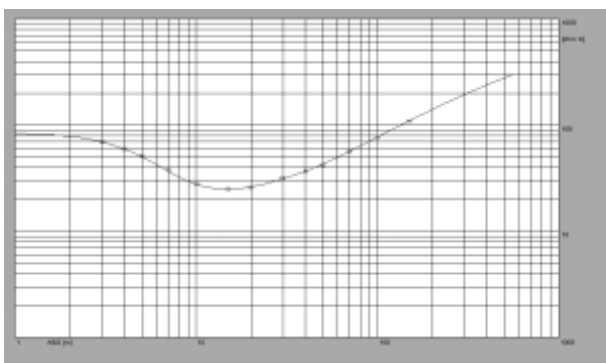
mois août et septembre lors de l'assèchement du lac. Pour éviter les in conformités liées aux anisotropies des formations géologiques, tous les sondages électriques ont été réalisés selon la direction Nord-Sud.



**Figure 3 :Croquis de répartition des sondages électriques Schlumberger**

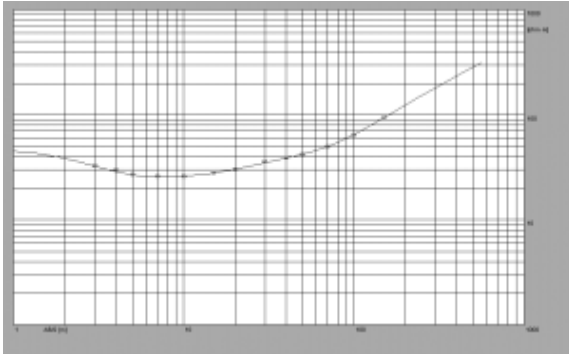
**RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS:**

- Les terrains conducteurs affichant des résistivités faibles comprises entre 2 et 10  $\Omega.m$  sont interprétés comme des couches argileuses.
- Les terrains résistants affichant des résistivités élevées et supérieures à 100  $\Omega.m$  sont assimilées aux couches de nature grésocalcaire.
- Les résistivités élevées de certaines couches argileuses sont singulièrement dues à l'envasement récent du lac, qui en pareil cas est généralement plus hétérogène, et telles qu'attestées par les sondages B5, B6 et B7.



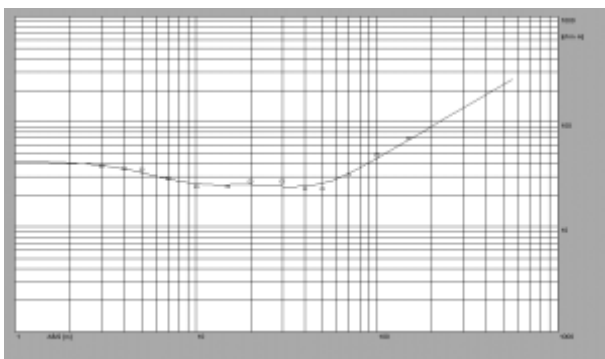
<b>couche</b>	<b>résistivité</b>	<b>Epaisseur</b>	<b>Prof. toit</b>
<b>N°</b>	<b>En ohm.m</b>	<b>En m</b>	<b>En m</b>
<b>1</b>	9	2	0
<b>2</b>	2	12	2
<b>3</b>	4	5	14
<b>4</b>	1	5	19
<b>5</b>	>100	infini	24

**SE B5 : L'épaisseur du recouvrement conducteur est de 24 m**



Couche	Résistivité	Epaisseur	Prof. toit
N°	En ohm.m	En m	En m
1	5	1.2	0
2	2	3	1.2
3	7	1.5	4.2
4	1	2.5	5.7
5	15	6	8.2
6	1	8	14.2
7	>100	infini	22.2

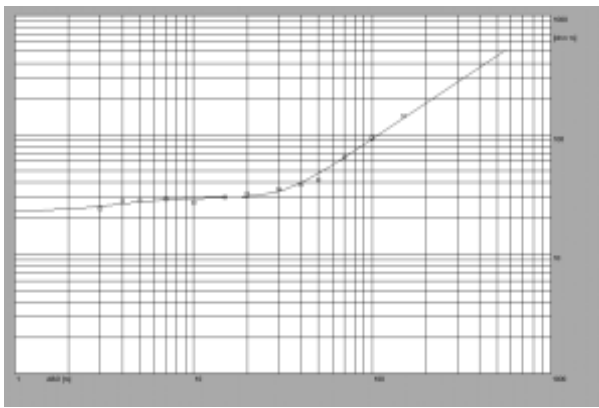
**SE B6** : L'épaisseur du recouvrement conducteur est de 22.2 m



couche	Résistivité	Epaisseur	Prof .toit
N°	En ohm.m	En m	En m
1	4.4	3	0
2	1.5	3.5	3
3	5	6	6.5
4	1	15	12.5
5	>100	infini	27.2

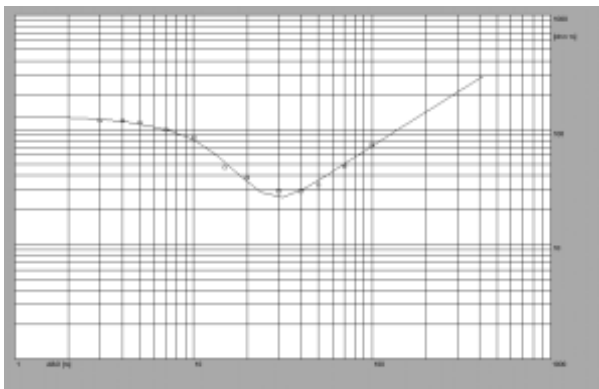
**SE B7** : L'épaisseur du recouvrement conducteur est de 27.2 m

- Le traitement des données des résistivités apparentes montre que la profondeur du toit du substratum est variable. Il en est de même pour les épaisseurs de la formation argileuse. Vers le sud du lac, le substratum présente une profondeur de 17 mètres confirmée par les profils des sondages B9 et E9.



Couche	résistivité	épaisseur	Prof.toit
N°	En ohm.m	En m	En m
1	2.3	1	0
2	6	1	1
3	1	1	2
4	12	2	3
5	1	3	5
6	12	4	8
7	1	5	12
8	>100	infini	17

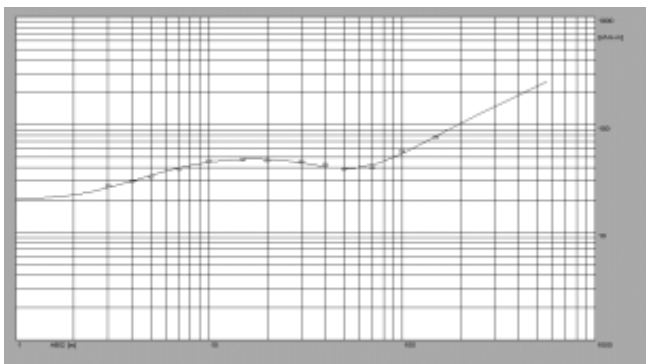
**SE B9** : L'épaisseur du recouvrement conducteur est de 17 m.



couche	résistivité	Epaisseur	Prof .toit
N°	En ohm.m	En m	En m
1	13	2.2	0
2	6	1	2.2
3	15	3	3.2
4	1	13	6.2
5	>100	infini	19.2

**SE E9** : L'épaisseur du recouvrement conducteur est de 19.2 m.

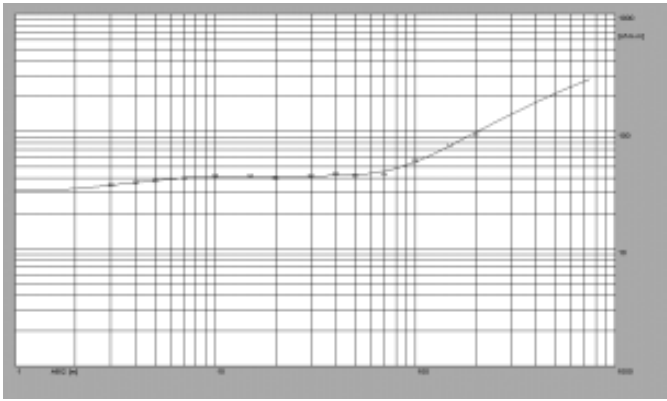
- Vers le Nord , il affiche une profondeur moyenne de l'ordre de 35m ; cette valeur est attestée conjointement par le traitement des sondages électriques D1, E1 et E3.



couche	résistivité	épaisseur	Prof. toit
N°	En ohm.m	En m	En m
1	2	2	0
2	9	4.5	2
3	2.5	4.5	6.5
4	9	5	11
5	1.5	21	16
6	>100	infini	37

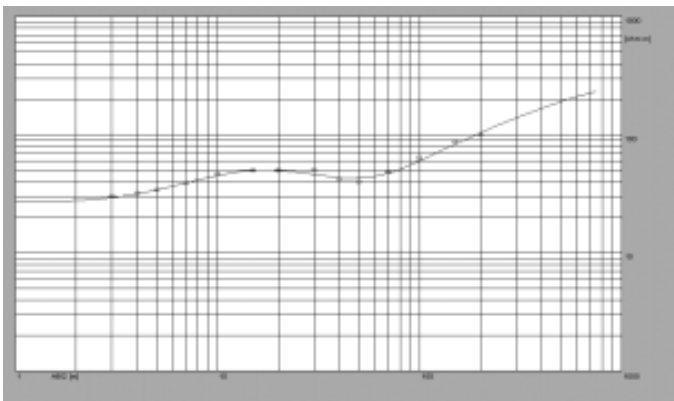
**SE D1** : L'épaisseur du recouvrement conducteur est de 37 m





couche	résistivité	épaisseur	Prof. toit
N°	En ohm.m	En m	En m
1	3	1.5	0
2	5	4	1.5
3	2	4	5.5
4	12	6	9.5
5	2	25	15.5
6	>100	infini	40.5

**SE E1** : L'épaisseur du recouvrement conducteur est de 40.50 m.



couche	résistivité	épaisseur	Prof. toit
N°	En ohm.m	En m	En m
1	3	2.5	0
2	9	4.8	2.7
3	2	4.5	7.5
4	10	4	12
5	2	20	16
6	>100	infini	36

**SE E3** : L'épaisseur du recouvrement conducteur est de 36 m.

### **Conclusion**

L'étude géophysique par la modélisation des sondages électriques (SE) a permis de connaître l'épaisseur des argiles. En effet cette dernière est variable de 17m vers le Sud et de 35m vers le Nord. Le procédé de décapage devrait tenir compte de ces résultats et s'arrêter de quelques mètres avant le substratum. Une telle approche permet de mieux optimiser la rétention du lac artificiel.

### **III-3. Apport des méthodes électriques à la caractérisation de la fertilisation des sols**

*(Extrait de l'étude de Coussin et al. 2012)*

#### **I-INTRODUCTION :**

La fertilité est la facilité avec laquelle la racine peut bénéficier dans le sol des différents facteurs de croissance: chaleur, eau, éléments chimiques nécessaires à la plante, substances organiques de croissance. Afin d'ajuster au mieux les pratiques agricoles aux besoins ainsi définis de la plante, tout en limitant l'impact environnemental des actions de fertilisation, il convient donc de connaître, le plus finement possible, les caractéristiques du sol, qui sont susceptibles de varier fortement. Dans ce cadre une étude a été réalisée pour décrire entre autre la qualité physique du sol.

#### **I.1-La résistivité électrique du sol :**

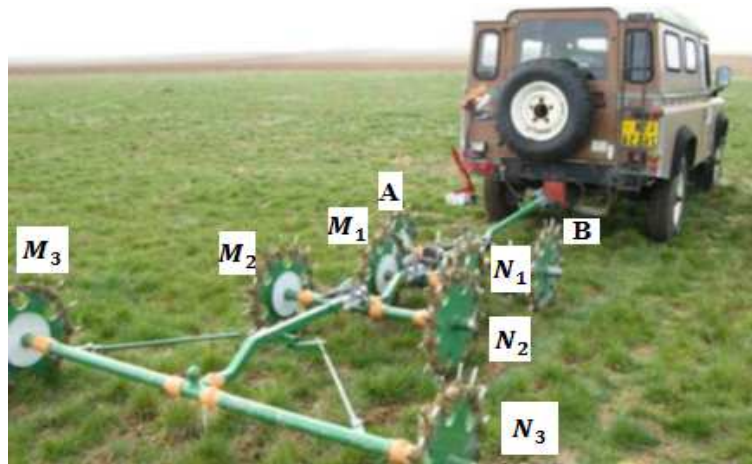
##### **I.1.1-Facteurs d'influence :**

La résistivité électrique des sols est sous la dépendance de facteurs multiples. On retiendra quatre facteurs d'influence principaux :

- La nature des éléments constitutifs du sol et leur arrangement dans l'espace
- La teneur en eau du sol
- La température
- La concentration de la solution du sol

##### **I.1.2-Dispositifs de mesure**

En plus des mesures par sondage électrique et la tomographie électrique, une autre mesure qui est spatialisée est utilisée à l'échelle de la parcelle agricole le MuCEP (MULTI Continuous Electrical Profiling), permettent une mesure quasi-continue de la résistivité apparente du sol, suivant 3 écartements de mesure et donc 3 pseudo-profondeurs d'investigation. Le dispositif est constitué de quatre paires d'électrodes disposées selon un schéma dit « en vol de canard » (Figure 4). Une paire d'électrodes (AB) permet l'injection du courant, elle est suivie de trois paires d'électrodes ( $M1N1$  ;  $M2N2$  ;  $M3N3$ ), d'écartement respectif 50, 100 et 200 cm, qui mesurent une différence de potentiel ( $\Delta V1$  ;  $\Delta V2$  ;  $\Delta V3$ ). Le dispositif est tracté par un véhicule et une mesure de la différence de potentiel sur les 3 paires d'électrodes est réalisée tous les 10 cm (au mieux). La zone à étudier est prospectée en réalisant plusieurs traînés électriques, espacés selon la résolution que l'on recherche pour chaque étude.



**Figure 4 :** MuCEP (Multi-Electrode Resistivity Profiler) avec ses quatre trains d'électrodes (AB, M1N1, M2N2, M3N3).

## **II- Caractérisation de la fertilité physique des sols par résistivité électrique**

### **II.1- Structure et fertilité physique**

Les agronomes s'accordent pour dire qu'un sol poreux, aéré, qui permet une bonne circulation de la chaleur, de l'eau et des éléments nutritifs associés, est favorable à la croissance végétale. Une grandeur synthétique simple qui caractérise l'état de porosité du sol est la masse volumique apparente. On considérera donc ici par la suite que la caractérisation de la masse volumique apparente du sol permet de définir l'état de fertilité physique du sol.

Si, à la surface du sol, l'observation directe à l'œil nu permet d'identifier aisément les états structuraux poreux ou compactés, la caractérisation de ces mêmes états au cœur des horizons de sol n'est pas accessible directement à l'observation. C'est pour cela qu'on a eu recours à la géophysique comme méthode non destructrice.

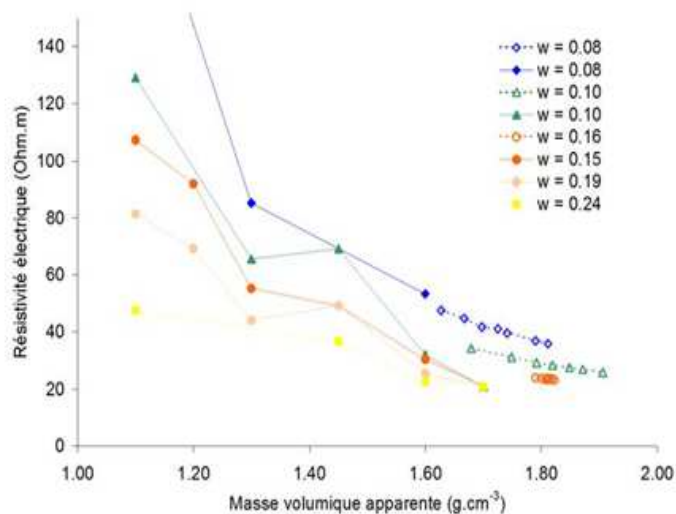
## II.2-Estimation de la masse volumique du sol par résistivité électrique :

### II.2.1-Quelques données de laboratoire

Dans la mesure où l'air est significativement plus résistant que les éléments constitutifs du sol ou l'eau, on peut raisonnablement faire l'hypothèse que la résistivité électrique du sol est fonction de sa masse volumique.

Plusieurs études en conditions contrôlées ont montré que :

- La résistivité électrique diminue fortement avec la masse volumique apparente du sol.
- A une teneur en eau donnée, l'influence de la masse volumique sur la résistivité électrique est d'autant plus importante que la teneur en eau du sol est faible
- A une masse volumique apparente donnée, l'influence de la teneur en eau est d'autant plus marquée que la masse volumique est faible.



**Figure :** Evolution de la résistivité électrique en fonction de la masse volumique apparente pour différentes teneurs en eau massique ( $w$ , en  $g.g^{-1}$ ).

### II.2.2-Analyse de la masse volumique de l'horizon de labour à l'échelle locale

Des essais au champ ont été menés en conditions contrôlées, sur le site INRA de Mons en Chaussée. Une prospection de résistivité électrique par panneau, suivie de la description par la méthode du profil cultural la structure d'un horizon appartenant à une parcelle expérimentale labourée où on a localisé trois types d'états structuraux qu'on a préparé sur celle-ci : les zones de résistivité faible, de l'ordre de 20 à 30 ohm.m correspondent à des

zones continues et compactes (état c-delta, entouré en bleu), les zones de résistivité les plus élevées, de l'ordre de 60 à 80 ohm.m correspondent à des mottes compactées de plus petite taille entourées de vides visibles à l'œil nu (état b-delta, entouré en rouge), enfin, les zones de résistivité intermédiaire, de l'ordre de 40 à 50 ohm.m correspondent à des zones de terre fine (état o-gamma, entouré en vert).

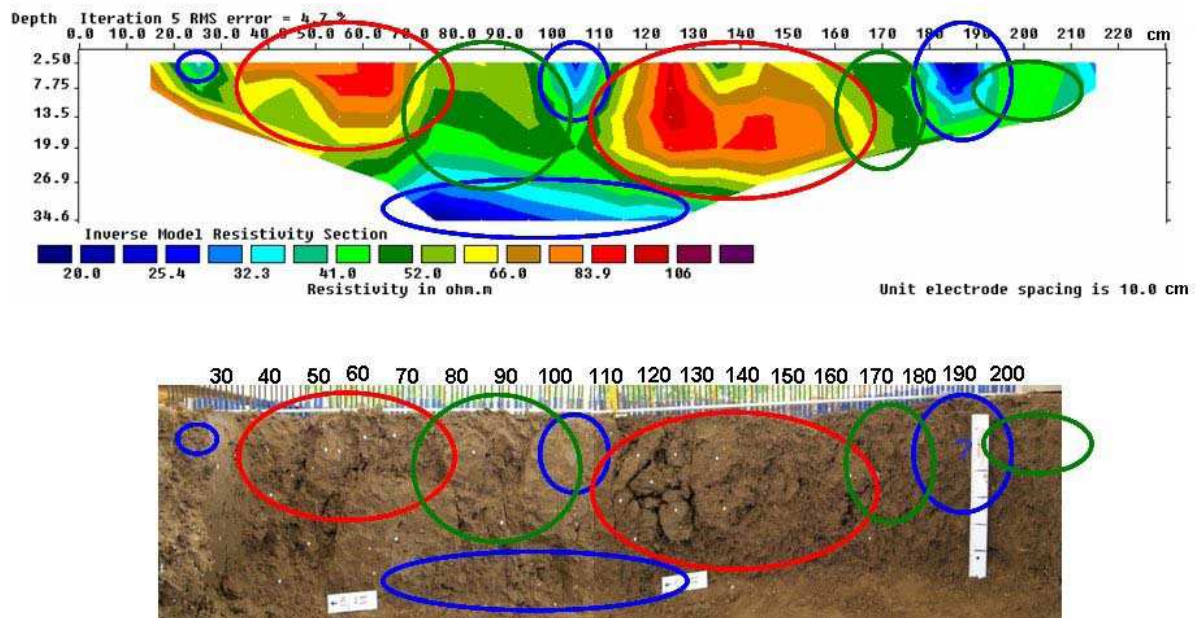


Figure : Tomographie de résistivité électrique sur un sol limoneux (site de Mons en Chaussée) ayant subi différentes contraintes (image du haut), et analyse morphologique par la méthode du profil cultural (image du bas).

### III-Interprétation des résultats

Sur la droite du profil cultural on note, une zone de faible résistivité (entourée en bleu sur le profil cultural) qui ne correspond pas à une zone tassée. Deux hypothèses peuvent expliquer cette apparente incohérence : d'une part, suite à une erreur expérimentale, la portion droite de la zone d'étude a été fortement alimentée en eau, et l'on sait qu'une teneur en eau élevée diminue la résistivité électrique; d'autre part, il est important de garder à l'esprit que, bien que l'image résultante soit une section 2D, la prospection électrique se développe en réalité dans l'espace 3D. Il est ainsi classique que des différences soient marquées entre un profil cultural, qui présente une coupe strictement

bidimensionnelle du profil de sol, et une tomographie qui restitue une image intégrée sur quelques centimètres.

### ● **Avantages et limites de l'utilisation de la résistivité électrique pour l'analyse de la fertilité physique du sol :**

#### ***Avantages***

- La prospection locale ou spatiale par résistivité électrique est non destructive. Elle peut donc être utilisée a priori à tout moment, et des prospections répétées à des dates différentes peuvent permettre un suivi temporel de l'état structural du sol.
- La résolution de la mesure n'est pas une limite : c'est l'écartement entre les électrodes qui définit le volume de mesure
- Des configurations particulières d'électrodes permettent de caractériser la structure en trois dimensions.

#### ***Limites***

- En premier lieu, il convient de bien démêler les influences respectives de la structure du sol et de la teneur en eau sur le signal, ce qui peut s'avérer particulièrement délicat au champ avec l'influence des saisons par exemple (période hivernale et période sèche).
- L'influence de l'état de la surface sur laquelle on réalise la mesure.
- Enfin, même si la résolution de la mesure peut être ajustée par le choix de l'espacement interélectrodes, il faut garder à l'esprit que :
  - On ne peut visualiser d'objets de taille inférieure à cet espacement inter - électrodes
  - la résolution spatiale de la mesure diminue avec la profondeur
  - la structure géométrique des objets observés est fortement dépendante du type d'inversion et d'interpolation des données que l'on a choisi.

### **V-Conclusion**

L'étude de la fertilité du sol a pu caractériser certains aspects de la fertilité du sol, et spécialement la fertilité physique par la caractérisation de la masse volumique apparente et la description des états structuraux de l'horizon de labour. On a pu repérer des zones de

résistivité faible, correspondent à des zones continues et compactes, des zones de résistivité les plus élevées, correspondent à des mottes compactées de plus petite taille entourées de vides visibles à l'œil nu, enfin des zones de résistivité intermédiaire, correspondent à des zones de terre fine .

## Conclusion


L'application des méthodes électriques est une méthode très efficace pour étudier les structures à contraste de conductivité électriques. Elle se réalise par l'injection d'un courant dans le sous sol et la mesure de différence de potentielle. Cette dernière représente la réponse du sous-sol au après excitation par le courant électrique. Cette réponse dépend de la nature du sous-sol et les conditions auquel est soumis. Différents procédures sont utilisées afin d'élargir le champ de son application.


Dans notre travail nous avons choisi trois champs :


- ✓ le risque naturel par les glissements de terrain (cas de **jbel Tghat** en domaine urbain à Fès). En effet la présence de zone résistante au sein des marnes indique la présence probable de fissures.
- ✓ le génie civil par la création d'un lac artificiel (cas du **lac Rahrh** dans la région de Tanger). En effet la modélisation des SEs a permis de quantifier l'épaisseur des argiles à excaver.
- ✓ l'agronomie par la fertilisation du sol (cas de **Mons en Chaussée**). Mise en évidence et cartographie géophysique de zones très résistantes qui seraient les plus fertiles.


Ces résultats forts intéressants incitent à l'utilisation de ces méthodes indirectes et non destructives, sachant que leur application couvrent des domaines plus larges.


## **BIBLIOGRAPHIE :**


 **CHARROUD M., CHERAI B., LAHRACH A. et EL MOTAOUAKKIL N. (2005)** «Risques naturels et problèmes d'aménagements urbains dans la ville de Fès, Maroc» 3eme journée International des géosciences de l'environnement. El Jadida.


 **CHARROUD M., CHERAI B. BENAABDELHADI M. FALGUERS C.** « Impact de la néotectonique quaternaire sur la dynamique sédimentaire du Saïs (Maroc) : du bassin d'avant fosse pliocène au plateau continental quaternaire. » *Quaternaire*, **18**, (4), 2007, p. 327-334

 **LOKE, M.H. (2000).** «Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies; A practical guide to 2-D and 3-D surveys.» Unpublished short training course lecture notes, geotomo software, penang, Malaysia,, n° 65(2000).

 **LOKE, M.H. et BARKER R.D. (1996)** «rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudosection by a quasi-newton method Geophysical prospecting. »

 **BAKKALI S. et BOUYALAOUI J. (2005)** « African Journal of Science and Technology (AJST) Science and Engineering Series Vol. 6, No. 2, pp. 12 – 2 »

 **COUSSIN I, Besson A, Seger M, Giot G, Richard G, King D (2012)** «innovations agronomiques »

 **LASTIER.J. (1971)** «Géophysique appliqué à l'hydrologie »

## **WEBOGRAPHIE :**

**[http://water-survey.net/meth\\_electrique.php#](http://water-survey.net/meth_electrique.php#)**.

**<http://maps.google.fr/maps?hl=fr&tab=ll>**.

**[http://www.panoramio.com/photo\\_explorer#view=photo&position=4&with\\_photo\\_id=16676417&order=date\\_desc&user=2545983](http://www.panoramio.com/photo_explorer#view=photo&position=4&with_photo_id=16676417&order=date_desc&user=2545983)**.

**[http://www-ig.unil.ch/cours/c\\_resf.htm](http://www-ig.unil.ch/cours/c_resf.htm)**.

**<http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ophysique>**.

**<http://www.afeq.cnrsbellevue.fr/Documents/articles/Granada201999.pdf>**.

**<http://www.umc.edu.dz/vf/images/cours/geophysique%20tome%203.pdf>**.

**[geo.polymtl.ca/~Chouteau/documents/GML6201\\_tomoelec.ppt](http://geo.polymtl.ca/~Chouteau/documents/GML6201_tomoelec.ppt)**.



**<http://iahs.info/redbooks/a037/037040.pdf>**

**<http://geo.polymtl.ca/~giroux/cours/Electrique.pdf>**

**[http://www-ig.unil.ch/cours/pdf/doc\\_pro/pro\\_f.pdf](http://www-ig.unil.ch/cours/pdf/doc_pro/pro_f.pdf)**

**[http://eost.ustrasbg.fr/omiv/Publications/Ponton\\_2008\\_MemoireMaster.pdf](http://eost.ustrasbg.fr/omiv/Publications/Ponton_2008_MemoireMaster.pdf)**

**[http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/04/74/49/PDF/tel\\_00007727.pdf](http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/04/74/49/PDF/tel_00007727.pdf)**

**[http://www.arkogeos.fr/include/images/doc/methodes\\_electriques.pdf](http://www.arkogeos.fr/include/images/doc/methodes_electriques.pdf)**

**[http://www.chauvin-arnoux.com/fiches/pdf/fr/Resistivite\\_Sol.pdf](http://www.chauvin-arnoux.com/fiches/pdf/fr/Resistivite_Sol.pdf)**

**<http://www.igeotest.fr/geo/Docs/A1%20Methodologie%20prospection%20geoelectrique.pdf>**