

## **Introduction**

Le géologue utilise l'observation directe et visuelle, il examine les roches qui affleurent, prélève des échantillons, les étudie et en déduit l'architecture du sous-sol. Le géophysicien lui aussi va essayer de déterminer l'architecture du sous-sol caché en mesurant certaines propriétés physiques à partir de la surface. Il existe de nombreuses méthodes géophysiques, chacune fournit des indications sur la nature du sous-sol par le biais de l'étude de la variation d'un paramètre physique. La géophysique est donc essentiellement la mesure de contrastes dans les propriétés physiques de matériaux constituant le sous-sol et la tentative de déduire la nature et la distribution de ces matériaux responsables de ces observations.

## **Chapitre I : Notions de base**

### **1. La résistivité électrique des roches**

#### **1.1. Introduction**

En 1827, Georg Ohm a découvert que la tension électrique mesurée entre les deux extrémités d'un fil conducteur est proportionnelle au courant circulant dans ce fil.

La prospection électrique implique la détection d'effets produits lorsqu'un courant électrique traverse le sous-sol. Il existe une grande variété de techniques utilisant les méthodes électriques, on peut mesurer par exemple:

- Une chute de potentiel
- Un courant
- Un champ électromagnétique

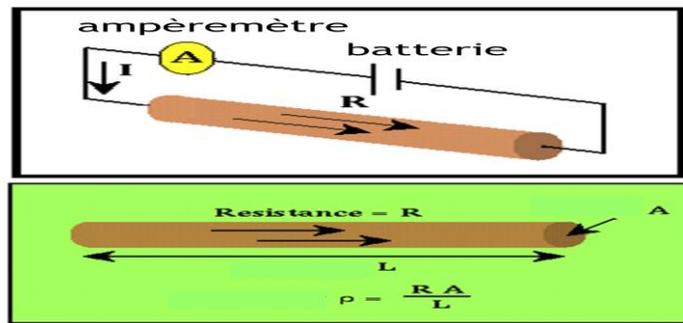
Par ailleurs, dans un domaine envisagé, il existe de nombreuses techniques de mesure.

Les méthodes fondées sur la mesure du paramètre " résistivité " sont actuellement les plus répandues, plus développées et les plus diversifiées (méthodes imaginées en 1912 par les frères Schlumberger).

Il faut donc non seulement choisir le type de méthode qui s'applique au problème posé mais aussi choisir la technique à utiliser en fonction des conditions d'application, de la taille et de la profondeur de la cible, etc..

La résistivité ( $\rho$ ) d'un milieu est la propriété physique qui détermine la capacité de ce milieu à laisser passer le courant électrique.

La résistivité est la résistance ohmique d'un cylindre de section et de longueur unitaire.(Fig .1).



**Figure.1** Résistance Ohmique

$R = \rho.L / A$  Avec :  $R =$  résistance (ohms),  $\rho =$  résistivité (ohms.m),  $L =$  longueur (m) et  $A$  la section ( $m^2$ ).

Les unités usuelles sont l'Ohm pour les résistances et le mètre pour les longueurs.

L'unité de résistivité sera donc Ohm.m.

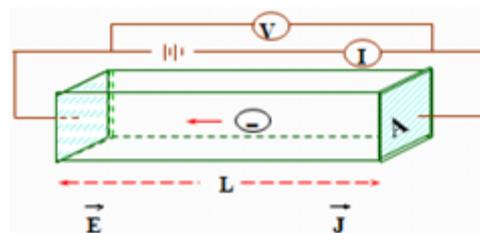
### 1.2. La loi d'Ohm

Soit une couche homogène de longueur ( $L$ ) et de résistance ( $R$ ) traversée par un courant ( $I$ ). Selon Ohm :

Résistance  $R = V / I$ , ( $\Omega$ ), avec  $V$  potentiel ( mV),  $I$  : intensité (mA)

Résistivité  $\rho = R.A / I$ , ( $\Omega.m$ )

Remarque : la loi d'Ohm n'est valable que pour les conducteurs métalliques, pour les gaz et les électrolytes elle n'est qu'une approximation. (Fig .2



**Figure.2** Notion de la résistance

### 1.3. La conductibilité électrique des roches

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

#### 1.3.1. 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. Cette

conductibilité solide n'est réellement importante que pour certains gisements minéraux tels que :

- Certains sulfures (pyrite, galène)
- Certains oxydes (magnétite, hématite)
- Le graphite, l'or, l'argent, le platine, etc.

La résistivité de ces minéraux conducteurs est de l'ordre de 0,01 Ohm.m.

### **1.3.2. 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:

- La qualité de l'électrolyte, c'est à dire de la résistivité de l'eau d'imbibition ( $\rho_w$ ) et par conséquent de la quantité de sels dissous.
- De la quantité d'électrolyte contenu dans l'unité de volume de la roche.
- Du mode de distribution de l'électrolyte.

#### **1.3.2.1. La qualité de l'électrolyte**

Quand un sel se dissout dans l'eau, il se dissocie en ions chargés positivement et ions chargés négativement. Lorsque l'on applique un champ électrique, les ions vont se déplacer. Ce déplacement est gêné par la viscosité de l'eau et pour un ion donné atteint une vitesse limite appelée la mobilité des ions.

##### **a. 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. On peut écrire:

$$\rho_w = ( C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3 + \dots + C_n V_n )$$

Avec :  $C_1$  = concentration en ion 1 et  $V_1$  = mobilité de l'ion 1

La mobilité des ions est différente pour chaque ion.(Tableau .1):



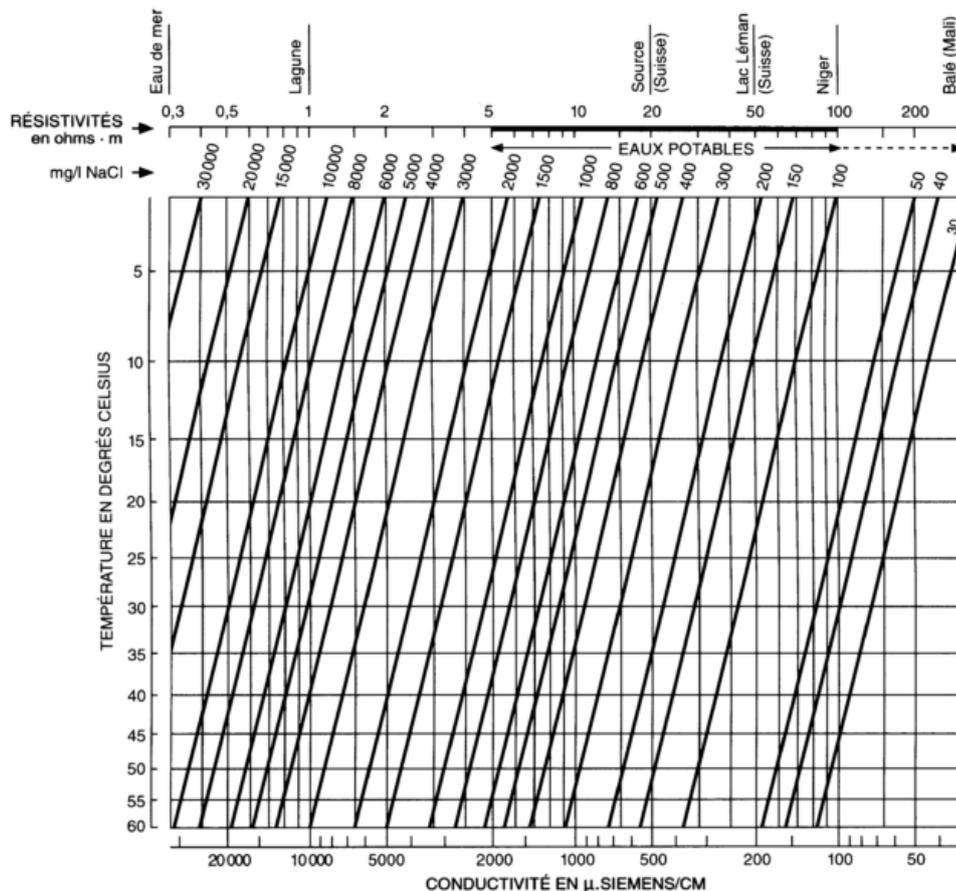


Figure.4 Abaque : Résistivité - Température – Salinité - conductivité

### 1.3.2.2 La loi d'Archie

#### a. Cas d'une roche saturée

Dans le cas d'une roche saturée, « Archie » a établi une relation expérimentale liant la résistivité de la roche à la porosité et à la résistivité de l'eau d'imbibition.(Fig.5)

$$\rho_r = a \cdot \phi^{-m} \cdot \rho_w (\Omega.m)$$

Avec :  $\rho_w$  = résistivité de l'eau d'imbibition ;  $\phi$  = porosité ; a = facteur qui dépend de la lithologie et qui varie entre 0.6 et 2 (a < 1 pour les roches à porosité intergranulaires et a > 1 pour les roches à porosité de fracture) ;

m = facteur de cimentation (il dépend de la forme des pores, de la compaction et varie entre 1,3 pour les sables non consolidés à 2,2 pour les calcaires cimentés).

**Remarque :**

- On a l'habitude de regrouper sous le terme de facteur de formation  $F = a \cdot \phi^{-m}$ .

Dans la pratique on admet pour les formations meubles, sables et grès, la formule d'Humble :  
 $F = 0,62 \cdot \phi^{-2,15}$  et pour les roches bien cimentées:  $F = 1 \cdot \phi^{-2}$ .

La loi d'Archie est donc :  $\rho_r = F \cdot \rho_w$

- La loi d'Archie ne s'applique rigoureusement pour les roches argileuses, à cause de deux phénomènes secondaires qui sont:

- ♦ L'ionisation de certains minéraux argileux.
- ♦ La conductibilité superficielle.

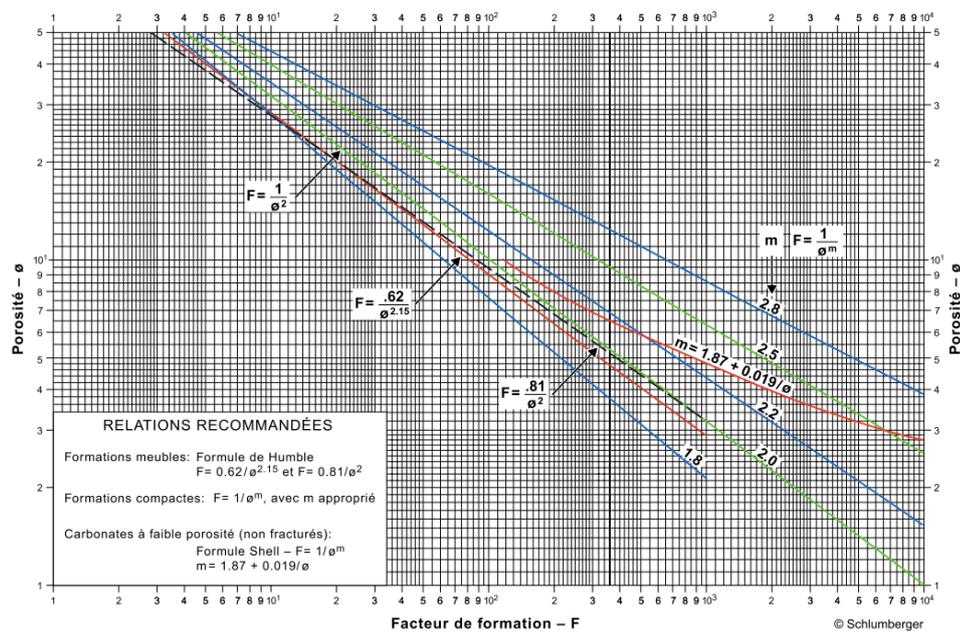


Figure.5 Abaque. Facteur de formation

### b. La saturation

La loi d'Archie a été établie pour des roches saturées en eau, il faut maintenant tenir compte d'un nouveau paramètre: la saturation ( $S_w$ ).

La saturation  $S_w = \text{volume des vides remplie d'eau} / \text{volume des vides} (\%)$

La loi d'Archie devient alors

$$\rho_r = F \rho_w S_w^{-n}$$

On peut aussi écrire:

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{F \rho_w}{\rho_r}}$$

Avec :  $F \cdot \rho_w$  = résistivité de la roche saturée en eau (Ohm.m);

$\rho_r$  = résistivité de la roche non saturée en eau (Ohm.m).

**Remarque :**

$n \approx 2$ , pour la plupart des formations de porosité normale dont la teneur en eau est comprise en 20 et 100 %.

## **Chapitre II Les méthodes électriques par courant continu**

### **1. Introduction**

Le but immédiat de la méthode électrique est la détermination de la répartition des résistivités dans le sous-sol.

Les méthodes électriques sont basées sur l'étude de la propagation du courant électrique dans le sous-sol. La possibilité de distinguer électriquement les diverses formations du sous-sol résulte du fait que celles-ci possèdent souvent des résistivités électriques différentes.

Les méthodes électriques permettent d'identifier à partir de la surface les structures qui diffèrent de la norme par leurs résistivités et ainsi de localiser, par exemple, des cavités karstiques ou des vestiges archéologiques enfouis etc....

Les méthodes fondées sur la mesure du paramètre « résistivité » sont très répandues pour les applications génie civil. Ces méthodes ont été imaginées en 1912 par les frères Schlumberger.

Nous avons vu que l'on pouvait caractériser le sous-sol par la mesure de la résistivité, qui peut varier:

- De 1 à quelques dizaines d'Ohms.m pour les argiles et les marnes.
- D'une dizaine à quelques centaines d'Ohms.m pour les sables et les grès marneux.
- D'une centaine à plusieurs milliers d'Ohms.m pour les calcaires et les roches éruptives.

La correspondance entre la résistivité et le faciès géologique est une notion d'une grande importance pratique. Parfois, certains faciès, des argiles par exemple, gardent pratiquement la même résistivité sur des centaines de kilomètres; en général, la résistivité d'une formation est moins constante et peut évoluer progressivement le long d'une même formation spécialement dans les dépôts quaternaires.

Il faut noter que les résistivités que l'on mesure en prospection sont déjà des moyennes relatives à de grands volumes de terrain en place, moyenne d'ailleurs d'autant plus large que les terrains sont plus profonds.

### **2. Les filets de courant et les équipotentiels**

Examinons maintenant comment mesurer la résistivité des roches. La loi d'Ohm nous permet de prévoir le cheminement des filets de courant dans un milieu homogène et isotrope. Soit un terrain homogène et isotrope de résistivité ( $\rho$ ) limité par une surface plane du côté de l'air. Envoyons un courant continu ( $I$ ) à l'aide d'une électrode ponctuelle A.

L'écoulement du courant se fera par filets rectilignes rayonnant autour de A et produira des variations de potentiel dans le sol à cause de la résistance ohmique de celui-ci. La répartition du potentiel peut être représentée par des demi-sphères centrées sur A. (Fig.6, 7)

Si l'on assimile le terrain à un demi-espace homogène infini, le coefficient de proportionnalité sera égal à  $1/2 \pi$ .

En appliquant la loi d'Ohm à l'espace séparant deux équipotentiels entre lesquelles existe une tension  $V$  on obtient:

$$dV = \rho \cdot I \cdot dr / 2\pi^2 \text{ soit en intégrant } V = (\rho \cdot I / 2\pi r) + C$$

Avec C une constante qui tend vers 0 lorsque V tend vers l'infini.

On obtient donc :

$$V = \rho \cdot I / 2\pi r$$

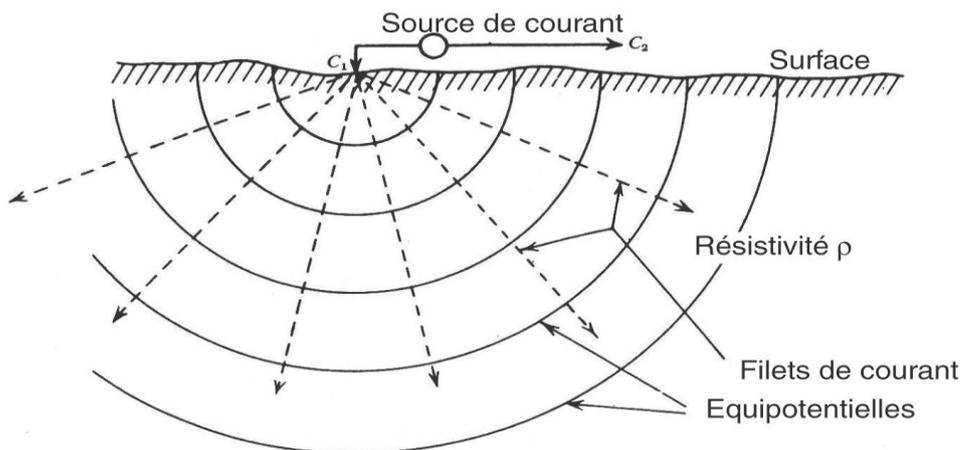
Équations de base

Loi d'Ohm:  $J = (1/\rho) \cdot E \text{ (}\Omega \cdot \text{m)}$

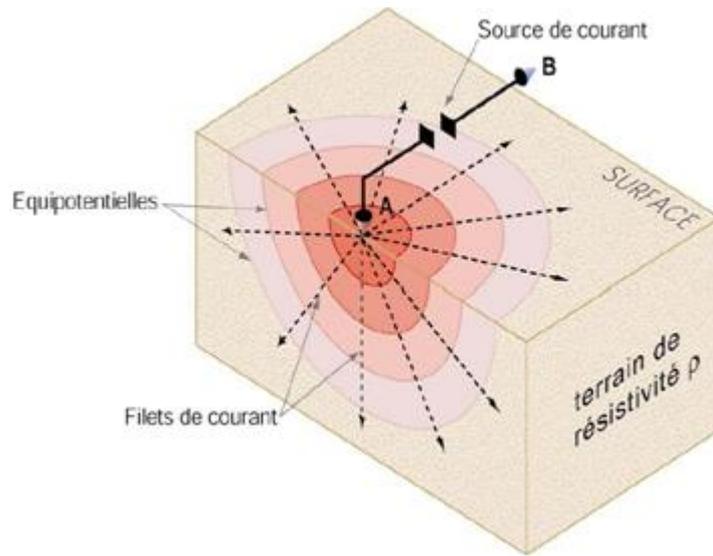
Loi d'Ohm:  $J = \sigma \cdot E \text{ (}\Omega \cdot \text{m)}$

Par définition E est le gradient du potentiel V

$$\nabla V = \frac{\partial V}{\partial x} I + \frac{\partial V}{\partial y} J + \frac{\partial V}{\partial z} K = -E$$



**Figure.6** Représentation des équipotentiels et des filets de courant pour une source unique (en coupe).



**Figure.7** Représentation des équipotentielles et des filets de courant pour une source unique (en plan).

### 3. Potentiel et champ électrique entre A et B

Dans un milieu homogène isotrope le potentiel  $V$  dû à une source ponctuelle décroît proportionnellement à la distance  $r$ , il est, d'autre part proportionnel à l'intensité ( $I$ ) du courant envoyé et à la résistivité ( $\rho$ ) du milieu.

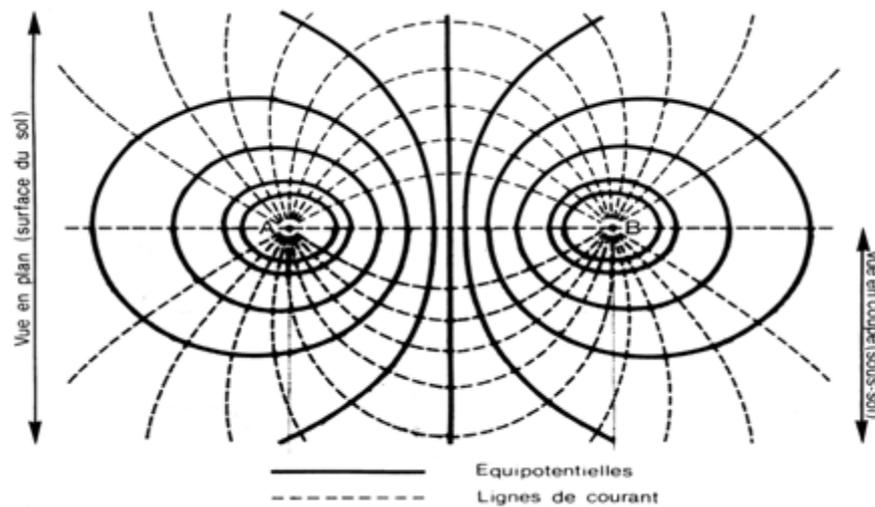
Si l'on assimile le terrain à un demi-espace homogène infini, le coefficient de proportionnalité sera égal à  $1/2 \pi$ ; et en appliquant la loi d'ohm à l'espace séparant deux équipotentielles entre lesquelles existe une tension  $V$  on obtient (Fig. 8 ,9):

$$dV = \rho \cdot I / 2\pi r^2$$

Soit en intégrant :  $V = \rho \cdot I / 2\pi r$

Ou encore, si l'on tient compte du champ électrique moyen  $E = -\frac{dV}{dr}$

Alors  $E = \frac{\rho I}{2\pi r^2}$



**Figure.8** Répartition des équipotentiels et lignes de courant dans un sol homogène

L'expression du potentiel montre que dans un sol homogène et isotrope, les surfaces équipotentiels seront pour un seul pôle d'envoi de courant des demi sphères centrées sur ce pôle. Pour deux pôles leur forme sera plus compliquée mais elles resteront sensiblement sphériques au voisinage des prises A et B. De même, les lignes de courant qui seraient des droites issues du pôle d'envoi si celui-ci est unique s'incurvent progressivement pour rejoindre la seconde prise.

### 3.1. Répartition du potentiel

En fait dans la pratique, il existe deux électrodes d'émission. Le courant envoyé par A+ sera recueilli par B-, mais d'après le principe de superposition, le potentiel en un point M sera le même si l'on envoie indépendamment un courant (+I) par A ou un courant (-I) par B.

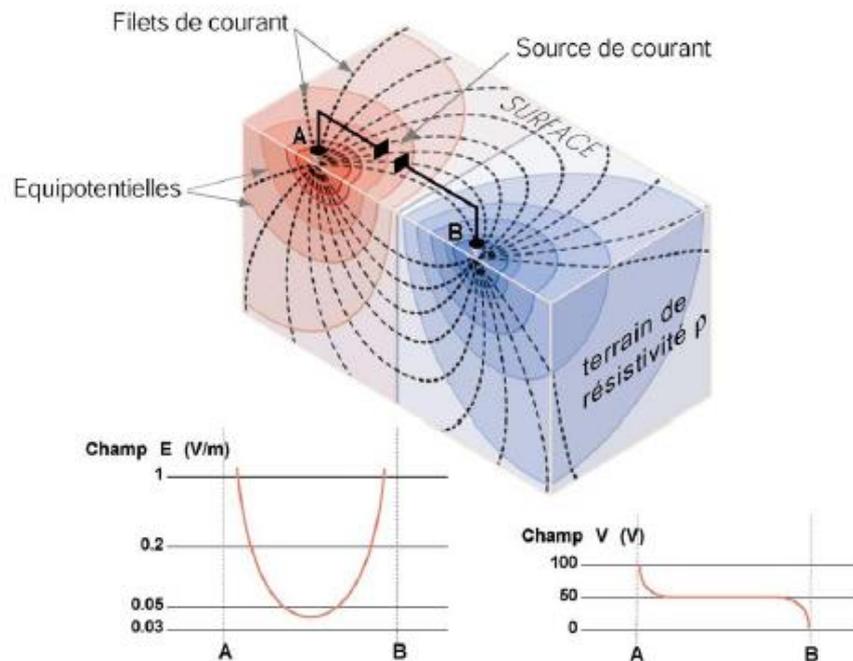
Le potentiel total en un point sera  $V_t = V_1 + V_2$  pour deux pôles d'envoi de courant :

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} \pm \frac{1}{r_2} \right)$$

Le signe  $\pm$  étant déterminé par le signe des électrodes.

D'autre part :

$$E = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} \right)$$



**Figure.9** Répartition des équipotentiellles et lignes de courant dans un sol homogène (bloc diagramme).

La figure 10 montre que les champs  $V$  et  $E$  sont sensiblement uniformes dans le tiers central de  $AB$  tandis que la majeure partie de la chute de potentiel est localisée au voisinage immédiat des électrodes  $A +$  et  $B -$ , cela signifie que la presque totalité de la résistance qu'offre le sol au passage du courant provient du voisinage immédiat des prises  $A$  et  $B$ .

**Remarque :**

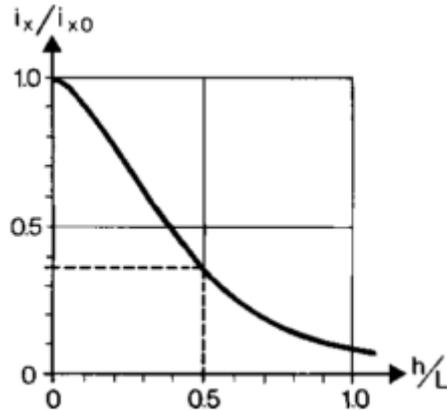
- Pour une électrode de diamètre ( $a$ ), 90% de la résistance du circuit se situe dans une sphère de rayon  $10a$ .
- Lorsque la résistance de contact est très importante, il passe peu de courant dans le sous-sol. Par conséquent il est recommandé d'essayer de diminuer cette résistance (on peut pour faire passer plus de courant dans le sous-sol, augmenter le nombre de piles, diminuer la résistance de contact en arrosant les électrodes par eau salée).

**3.2. Répartition du courant électrique**

Au milieu des électrodes  $A$  et  $B$ , séparée d'une distance  $L$  et à une profondeur  $h$ , la Densité de courant devient, pour un terrain homogène :

$$i_x = \frac{I}{2\pi} \frac{L}{\left(h^2 + \frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

La décroissance de la densité de courant avec la profondeur, au-dessous du milieu de L, est illustré par la Figure. 10

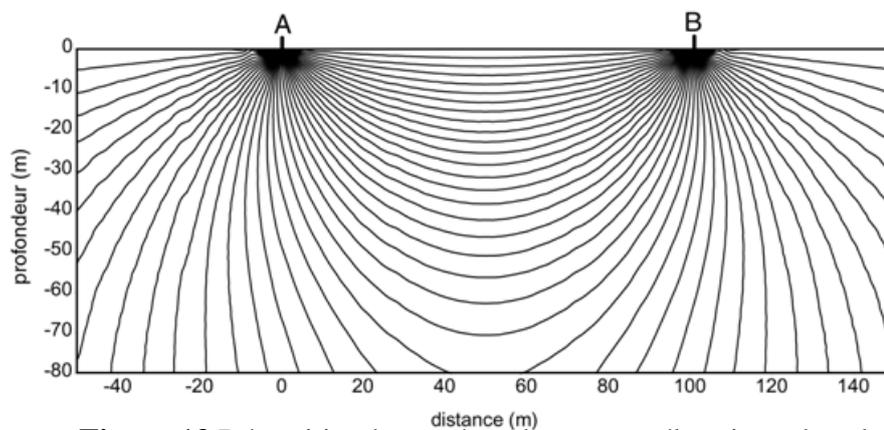


**Figure.10** Décroissance de la densité de courant sous le centre de AB = L

On admet que pour un terrain homogène :

- 30% du courant se trouve entre la surface et une profondeur  $z=AB/4$ ,
- 50% du courant entre la surface et  $z=AB/2$
- 70% du courant entre la surface et  $z=AB$ .

Ces chiffres permettent d'apprécier dans quelle mesure le courant émis en surface par deux électrodes ponctuelles pénètre dans le sous-sol et peut être affecté par les roches situées en profondeur. (Fig.13).



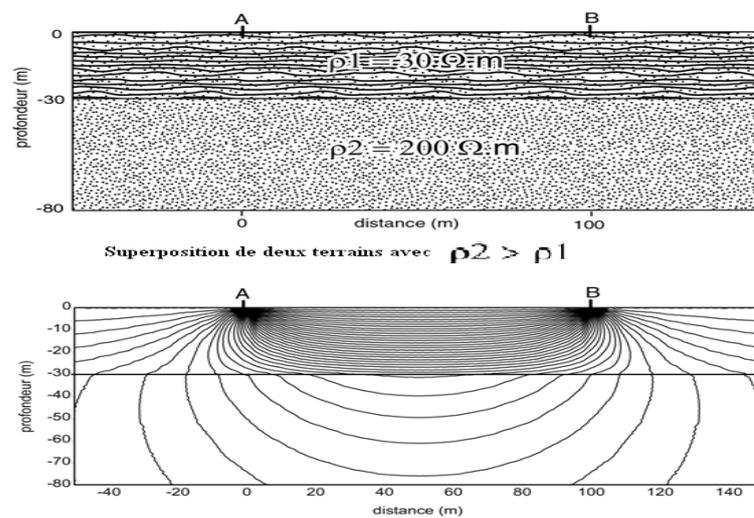
**Figure.13** Répartition homogène du courant électrique dans le sous-sol entre les électrodes A et B.

**Remarque :** Dans un milieu quelconque, homogène ou hétérogène, isotrope ou anisotrope, le potentiel crée en un point M par un courant envoyé en A est égal à celui qu'on mesurerait en A si M devenait source d'émission.

**Exemple :**

1. Superposition de deux terrains avec  $\rho_2 > \rho_1$  (Fig .11).

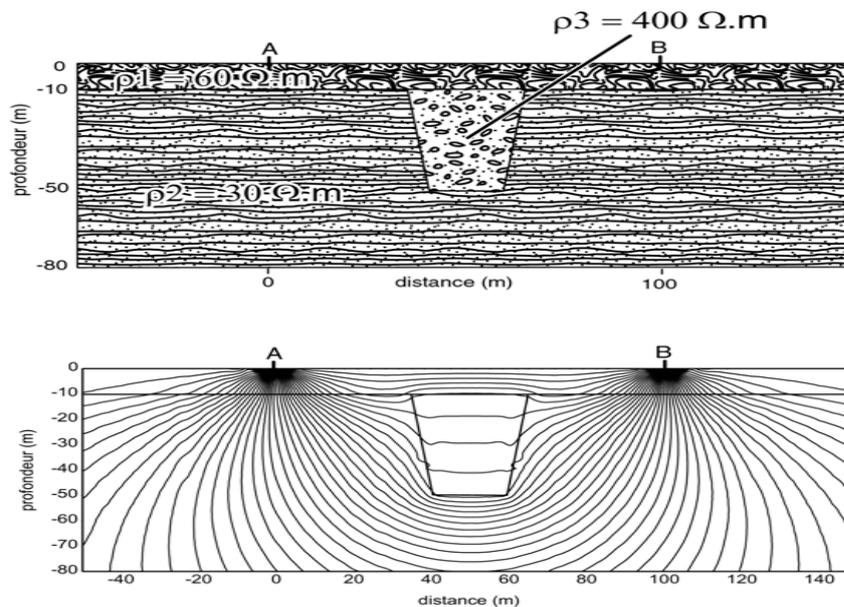
Le courant se concentre dans le premier terrain de faible résistivité de  $\rho_1 = 30 \text{ Ohm.m}$ .



**Figure. 11 Répartition du courant électrique.  
Cas de deux terrains superposés avec  $\rho_2 > \rho_1$**

2. Superposition de deux terrains  $\rho_2 < \rho_1$  avec la présence d'un sillon résistant dans le deuxième terrain de  $\rho_3 = 400 \text{ Ohm.m}$ . (Fig .12).

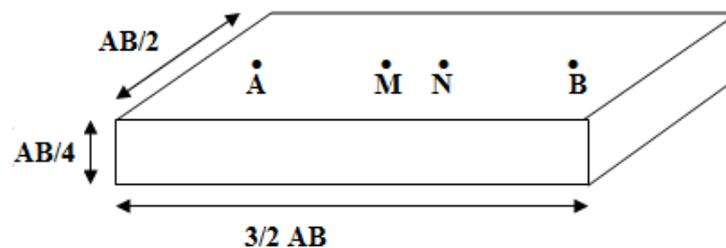
Le courant se concentre autour du sillon résistant  $\rho_3 = 400 \text{ ohm.m}$ .



**Figure. 12** Répartition du courant électrique. Cas de deux terrains superposés  $\rho_2 < \rho_1$  avec la présence d'un sillon résistant dans le deuxième terrain.

**Remarque**

En effet le volume de terrain embrassé par les filets de courant d'une ligne AB est en première approximation, celui d'un parallélépipède de largeur égale à  $AB/2$ , de longueur égale à  $(3/2) AB$  et de hauteur égale à  $AB/4$ . (Fig .13).



**Figure. 13** Répartition du courant électrique selon la ligne AB

**4. Volume de propagation des filets de courant**

Le courant circule dans le sol d'une électrode de courant à l'autre. La densité de courant est plus forte près de la surface qu'en profondeur. (tableau.6)

**Tableau.6** Répartition du courant électrique en fonction de la profondeur

Ligne de courant	% de courant
------------------	--------------

---

<b>1</b>	17
<b>2</b>	32
<b>3</b>	42
<b>4</b>	49
<b>5</b>	51
<b>6</b>	57

---

**Cas particulier :** Lorsque les deux électrodes sont de même signe, les lignes de courant se repoussent et en pratique on utilise ce genre d'arrangement pour forcer le courant à passer dans le sous-sol.

### **Chapitre III. Les méthodes de prospection électriques**

#### **1. Introduction**

Les méthodes de prospection géophysique constituent des outils très appréciables pour la conduite d'un programme de recherche hydrogéologique que ce soit pour identifier de nouvelles ressources ou pour améliorer la connaissance d'un gisement.

Le choix d'une méthode géophysique et du programme technique doit être établi après examen du problème posé, des données géologiques et des conditions d'environnement. Ce choix conduit à retenir le ou les paramètres physiques susceptibles de présenter un contraste suffisant pour répondre à l'objectif.

Les principales méthodes utilisées en géophysique appliquée pour les eaux souterraines peuvent être regroupées suivant le paramètre physique étudié et l'origine du champ mesuré. Quelque soit la méthode utilisée, l'analyse des résultats d'une mesure sera fortement valorisée si l'on dispose d'un ouvrage de reconnaissance (forage) permettant de caler l'interprétation des données.

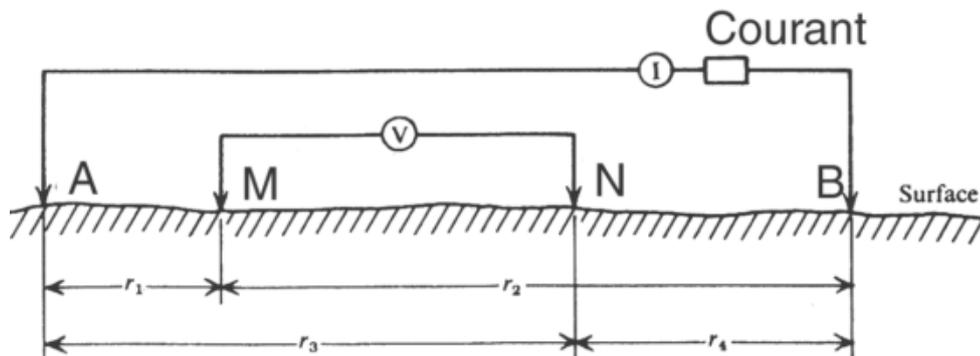
Le but immédiat de la prospection électrique est la détermination de la répartition des résistivités dans le sous-sol.

Toutes les méthodes utilisées sont fondées sur la comparaison de la distribution du potentiel créé par l'envoi d'un certain courant avec ce que serait cette distribution dans un milieu homogène.

## . Les profils et les cartes de résistivité

### 4.1 Introduction

Afin d'établir des profils et cartes de résistivité, l'idée est venue de déplacer solidairement les quatre électrodes AMNB, et d'effectuer ainsi des profils et des cartes de résistivité. Nous avons vu en effet que si l'on ferme un circuit d'intensité  $I$  à l'aide de deux électrodes A et B, on peut entre M et N mesurer la différence de potentiel créé par le passage du courant (Fig. 14).



**Figure. 14** Arrangements des électrodes de courant (A et B) et de potentiel (M et N) à la surface d'un terrain homogène et isotrope.

### 4.2 Principe de mesure - Mise en œuvre

Les dispositifs sont nombreux et variés, le quadripôle reste le plus répandu.

#### 4.2.1 La source de courant:

On utilise généralement des piles sèches de 90 volts en série. Plus rarement une génératrice à essence couplée avec un redresseur ou une batterie de voiture. Avec les nouveaux appareils 10 piles en série peuvent être utilisées.

#### 4.2.2 Les électrodes d'émission:

Ces électrodes sont généralement constituées par des piquets d'acier. Nous avons vu que la résistance de passage se localise au voisinage immédiat de l'électrode. En effet, supposons une électrode métallique parfaitement conductrice, et calculons la résistance de contact de cette électrode. Nous pouvons calculer la résistance du terrain en  $r$  en prenant  $L = 1\text{m}$  par exemple.

$$dR = \rho \frac{dL}{S} = \rho \frac{dL}{2\pi L^2}$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{L} \right)$$

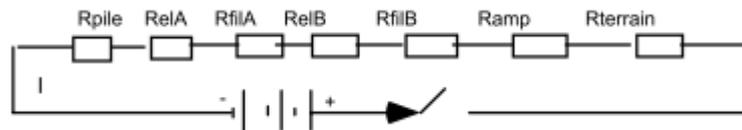
**Remarque**

Si le courant qui passe par ces électrodes A et B est trop faible on peut

- soit changer l'électrode et en mettre une de plus gros diamètre
- soit l'enfoncer plus profondément
- soit diminuer la résistivité du terrain au voisinage de l'électrode, en versant de l'eau salée par exemple

**4.2.3 Le circuit de courant**

Le courant, pour passer, doit parcourir un circuit fermé. L'équivalent électrique de ce circuit est : (Fig. 15).



**Figure. 15** Circuit de courant entre A et B

R<sub>elA</sub> et R<sub>elB</sub>: résistance électrique de l'électrode A et B et de la portion de terrain située dans leur voisinage immédiat.

R<sub>filA</sub> et R<sub>filB</sub> : résistance de la ligne d'amenée de courant en A et B

R<sub>pile</sub>: résistance interne de la pile, qui limite le courant disponible aux bornes de celle-ci. Cette résistance dépend bien sur de l'état de la pile neuve ou usagée.

R<sub>amp</sub>: résistance de l'appareil de mesure de courant.

R<sub>terrain</sub>: résistance apparente équivalente à la portion de terrain dans laquelle passe le courant I. Cette résistance est faible vu la section et la longueur du conducteur. R<sub>pile</sub>

$$R_{elA+B} \quad R_{fil A+B} \quad R_{amp} \quad R_{terrain}$$

Si nous appliquons la loi d'ohm au circuit, calculons le courant I pouvant être injecté:

$$I = \frac{U_r}{R_{pile} + R_{elA+B} + R_{filA+B} + R_{amp} + R_{terrain}}$$

**Exemple:** soit une tension de 3 piles de 90 volts, soit 270 volts (U<sub>r</sub>)

(La résistance du fil est environ de 0,1 ohms par mètre, la longueur du fil A et B est de 400m)

R<sub>pile</sub>: 3 x 20 Ω 60 Ω

R<sub>ramp</sub> 1 Ω

R<sub>fil A et B</sub> = 400 x 0,1 x 2 80 Ω

R<sub>el A et B</sub> = 234 x 2 468 Ω

R<sub>terrain</sub> 10 Ω

Total 619 Ω et I = 270 volts / 619 Ω = 0,436 amp.

#### 4.2.4 Les électrodes de mesure de potentiel M et N

La mesure de I ne pose pas en fait de réels problèmes, la mesure de ΔV est plus délicate. En effet, dans le sol, M et N s'oxydent de façon différente et sont polarisées. On parle de polarisation spontanée des électrodes.

Pour limiter le plus possible le plus efficacement possible le phénomène de polarisation des électrodes, on choisit pour confectionner les électrodes des métaux chimiquement assez stables (cuivre, plomb). Cependant du fait de l'état d'oxydation différent sur la surface des deux électrodes une différence de potentiel apparaît entre M et N en l'absence de tout courant extérieur. Cette différence doit être éliminée. On utilise par exemple des électrodes impolarisables ou, le plus souvent, on compense ce potentiel parasite à l'aide d'une petite source de tension auxiliaire ajustable.

Une fois cette compensation effectuée, on peut mesurer le ΔV dû au passage du courant que l'on envoie entre A et B. Dans certains cas, le ΔV devient trop petit pour être mesuré convenablement, on remédie à cette difficulté de la façon suivante:

- On augmente la sensibilité de l'appareil.
- On augmente la distance entre M et N. En effet, sur le graphique de l'évolution du champ et du potentiel, on remarque qu'agrandir MN correspond à augmenter ΔV. Cependant, un MN très grand devient très réceptif à toutes sortes de courants parasites tels que:
  - ◆ Une composante variable du réseau 50 hertz
  - ◆ Une autre composante 16 hertz provenant des lignes de chemin de fer
  - ◆ Des courants très variables dans le temps, non périodiques, dus à l'enclenchement de machines diverses ....
  - ◆ Des courants dus à des phénomènes naturels, telluriques, foudre, etc..

### 4.3. Les dispositifs utilisés

Pour la mesure de la résistivité apparente les dispositifs les plus variés peuvent être envisagés. Tout dispositif de mesure comporte en fait quatre électrodes, deux A et B, pour l'envoi de courant (circuit d'émission) et deux M et N, pour la mesure du potentiel  $\Delta V$  (*circuit de mesure*).

#### 4.3.1 Les dipôles ou pôle – pôle

Les électrodes B et N sont placées à l'infini, on ne s'occupe que de A et M. (Fig. 24).

. Ce dispositif est théoriquement simple puisque le potentiel mesuré en M est dû à A seul. Dans la pratique cependant ce dispositif est encombrant à cause de la longueur des câbles nécessaires pour rendre négligeable l'effet des électrodes placées à l'infini.



Figure. 24 Dispositif dipôles

#### 4.3.2 Les tripôles ou pôle – dipôle

On ne rejette à l'infini qu'une des quatre électrodes, on obtient un tripôle AMN ou ABM. En vertu du principe de réciprocité, on peut théoriquement utiliser ABM ou AMN. En fait le dispositif avec MN très écarté. (Fig. 16).

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. De plus généralement, ou bien ces trois électrodes sont équidistantes, ou bien la distance MN est petite par rapport à AN.



Figure. 16 Dispositif tripôles

Les tripôles présentent l'intérêt de n'exiger que le déplacement de trois prises et moins de câble ce qui peut présenter parfois un certain avantage, cependant leur caractère dissymétrique leur fait en général préférer les quadripôles complets.

### 4.3.3 Les quadripôles

Dans la plupart des quadripôles utilisés, les quatre prises sont disposées sur un même alignement. Les deux électrodes de mesure M et N sont le plus souvent, à l'intérieur de l'intervalle AB et en général symétriques par rapport au milieu O de cet intervalle. Parfois il peut être intéressant d'utiliser un dispositif dissymétrique, M et N étant beaucoup plus près de l'un des pôles d'envoi, l'influence du second pôle est alors très faible. La disposition géométrique des électrodes intervient dans sa définition par un coefficient k qui s'écrit :

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}}$$

Donc  $\rho a = k \frac{\Delta V}{I}$

Les deux quadripôles les plus utilisés sont:

- ♦ **Le Wenner:** toutes les électrodes sont équidistantes,  $AM = MN = NB = AB/3$  (Fig. 17).
- ♦ **Le Schlumberger:** La distance MN est petite par rapport à AB. En général  $MN < AB/5$ . (Fig. 18).

**Remarque :**

Le dispositif de Wenner présente l'avantage d'avoir une plus grande ligne MN ce qui facilite la mesure de  $\Delta V$ ; avec les voltmètres modernes cet avantage a perdu de son importance. De plus une grand ligne MN est toujours beaucoup plus affecté par les parasites.

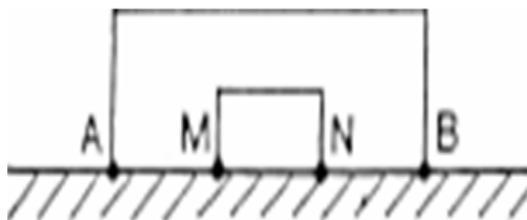


Figure. 17 Dispositif de Wenner

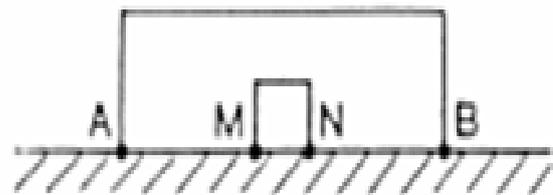
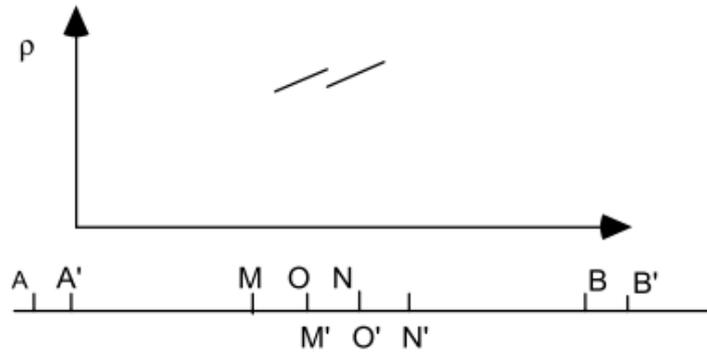


Figure. 18 Dispositif de Schlumberger

### 4.3.4 Les multipôles

Il est possible d'ajouter une électrode supplémentaire de mesure de  $\Delta V$  en O milieu de MN. Ce dispositif s'appelle le dispositif de LEE. (Fig. 19). On peut alors soit exécuter un traîné à répétition: On mesure  $\Delta V$  entre MO et ON, puis l'ensemble est décalé d'un bond égal à OM. Les résultats sont représentés au milieu des segments MO et ON, pour une position donnée de AB, on obtient deux points que l'on réunit par un segment de droite. La succession des segments de droite montrera les effets du passage de AB sur les accidents. On peut aussi inscrire la moyenne entre les mesures avant arrière.



**Figure. 19** Dispositif multipôles

#### 4.4 Considérations Pratiques

- En présence d'un terrain bruité et sans aucune connaissance préalable de la géométrie du corps à étudier, utiliser de préférence un dispositif Wenner-Schlumberger. Ce dispositif peut à la fois être utilisé en recherche géologique à grande échelle, en hydrogéologie, en génie-civil, en archéologie et pour des problèmes d'environnement.
- Si l'on recherche des structures verticales dans une zone qui n'est pas trop bruitée, avec un résistivimètre est assez sensible et un bon contact avec le sol, il est recommandé d'utiliser un dispositif Dipôle-Dipôle. Ce dispositif peut par exemple convenir en archéologie, en géophysique minière et en génie-civil.

#### 4.5 Calcul de la résistivité

Ayant mesuré  $\Delta V$  et  $I$ , il ne nous reste qu'à calculer la résistivité. Dans un milieu homogène de résistivité ( $\rho$ ) avec deux pôles A et B, l'action conjuguée de A et B donnera :

- **Potentiel en M :**

$$V_M = \rho I / 2\pi (1/AM - 1/BM)$$

- **Potentiel en N :**

$$V_N = \rho I / 2\pi (1/AN - 1/BN)$$

$\Delta V$  entre M et N

$$V_M - V_N = \rho I / 2\pi (1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN)$$

Et

$$\rho = K \Delta V / I \text{ avec } K = \pi AM \cdot AN / MN$$

Pour un dispositif symétrique par rapport à O milieu de AB ( $\Delta V$  en millivolts,  $I$  en milliampères,  $\rho$  en Ohms.m,  $K$  : facteur géométrique qui dépend de l'espacement entre les électrodes).

**Remarque :**

- Les résultats que l'on obtient en maintenant constante la distance entre A, B, M, et N, l'ensemble se déplaçant le long d'un profil, servent à établir les profils et cartes de résistivité.
- Une carte de résistivité apparente dessinée à partir de plusieurs profils est une carte des anomalies relatives qui se rapporte à une longueur et une orientation sensiblement constante de tout le dispositif de mesure.
- A une longueur déterminée de AMNB correspond une profondeur d'investigation à peu près constante, donc à l'étude d'une tranche de terrain d'épaisseur et de largeur déterminées ( $AB/10$  à  $AB/4$ ).

**4.6 .Notions de résistivité vraie et de résistivité apparente**

Lorsque les filets de courant circulent entièrement dans un même niveau homogène, la résistivité mesurée correspond à la résistivité vraie de ce terrain. C'est le cas notamment des mesures paramétriques effectuées sur des formations subaffleurantes d'épaisseurs et d'extensions suffisamment importantes par rapport à l'écartement de la ligne d'émission. Mais généralement les filets de courant traversent plusieurs horizons de conductivités différentes, la résistivité obtenue dans ce milieu hétérogène n'est plus une résistivité vraie, mais une résistivité dite : « apparente ».

**5. Traîné électrique:**

Cette méthode consiste à réaliser un ensemble de points de mesure le long de profils en déplaçant un dispositif de longueur fixe selon l'alignement des électrodes en traînant l'ensemble des câbles, d'où le nom de traîné. L'intervalle entre les mesures successives dépendra de la précision avec laquelle on veut localiser les accidents. Il est en général égal à AB pour les études de reconnaissance, pour les études de précision (repérage de zones fracturées) on peut utiliser un pas de mesure égal à MN ce qui conduit à une exploration continue du profil. Pour chaque mesure, on retient une valeur de résistivité apparente qui sera positionnée au centre du dispositif. Les résultats sont présentés sous forme de carte, réalisée

par interpolation entre les points de mesure. La profondeur d'investigation sera proportionnelle à la longueur du dispositif utilisé. Cette méthode a l'avantage d'être rapide à mettre en œuvre.

L'interprétation qualitative des résultats est également simple: Les résistivités apparentes vont dépendre de la distribution des résistivités vraies. La carte montrera les variations horizontales de cette résistivité.

**Remarque :** la distance entre profils dépendra de la précision, cette distance peut être supérieure ou égale à la distance entre mesures successives.

Le plus souvent, les profils auront été orientés normalement à la direction des accidents étudiés.

## **6. Représentation des résultats**

La représentation des résultats obtenus ne pose aucun problème particulier.

Pour les dispositifs symétriques, on reporte au centre du dispositif la valeur de la résistivité apparente obtenue.

### **Remarque :**

Dans le cas des dispositifs dissymétriques, MN extérieurs par exemple, on convient de reporter les résultats à l'aplomb du milieu des électrodes MN. Cette convention est arbitraire.

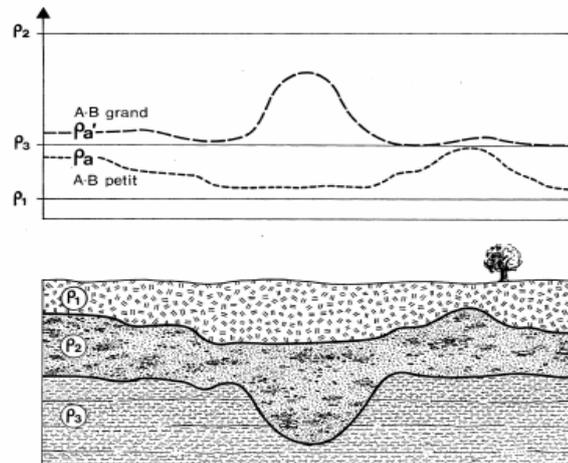
Les résultats d'un ensemble de profils sont représentés sous forme de cartes de résistivités apparentes, chacune correspond à une longueur de ligne bien définie qui doit être indiquée. A l'emplacement O de tous les milieux de MN on inscrit la valeur de la résistivité apparente obtenue, on trace en suite par interpolation entre les points de mesure des courbes d'égale valeur de cette résistivité.

Dans tous les cas, une carte de résistivité doit être accompagnée de la longueur de ligne utilisée, de l'échelle, de l'espacement des mesures, d'une légende permettant de localiser l'étude.

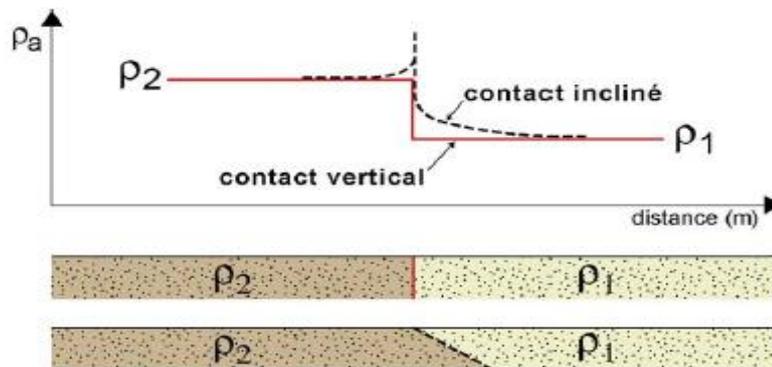
Une carte de résistivité apparente dessinée à partir de plusieurs profils est une carte des anomalies relatives qui se rapporte à une longueur et une orientation sensiblement constante de tout le dispositif de mesure.

En effet, à une longueur déterminée de AMNB correspond une profondeur d'investigation à peu près constante, donc à l'étude d'une tranche de terrain d'épaisseur et de

largueur déterminées. (Fig. 20). On sera sensible à des variations horizontales de la résistivité. Les dimensions du dispositif seront donc choisies en fonction du problème à traiter. (Fig. 21,22) Il est souvent nécessaire de dresser des cartes avec plusieurs longueurs de ligne pour pouvoir interpréter correctement les résultats.



**Figure .20** Effet de changement de facies géologique



**Figure. 21** Effet d'un contact vertical et incliné

## 7. Interprétation des profils de résistivité

### 7.1 Critères d'interprétation

Pour l'interprétation des profils et des cartes de résistivité, plusieurs facteurs sont à considérer:

- Les dimensions du dispositif, AB et le type de dispositif ;
- Les variations de l'épaisseur du premier terrain,  $h_1$  ;
- Les variations de la résistivité du premier terrain,  $\rho_1$  ;
- Les variations de la résistivité du deuxième terrain,  $\rho_2$  .

Il y a souvent intérêt à établir pour la même région plusieurs cartes de résistivité avec des dispositifs AB de longueurs différentes, afin d'explorer le sous sol à des plusieurs niveau de profondeurs.

### **Remarque**

- Si le sous-sol est constitué d'une couche homogène, isotrope, d'épaisseur infinie et de résistivité finie, la résistivité apparente mesurée avec un quelconque dispositif sera la résistivité vraie de ce milieu.
- Si le sous-sol est composé de deux couches, une première couche d'épaisseur  $h_1$  et de résistivité  $\rho_1$  surmontant un substratum d'épaisseur infinie et de résistivité  $\rho_2$ , alors pour les petits dispositifs la résistivité apparente  $\rho_{app}$  est plus ou moins égale à la résistivité  $\rho_1$  du premier terrain. Puis à fur et à mesure que l'on agrandit le dispositif on atteint une valeur asymptotique qui est celle de  $\rho_2$ .

**7.2 Avantages des cartes de résistivité** : les principaux avantages de la méthode de la carte de résistivité sont :

- Rapidité de sa mise en œuvre ;
- Simplicité de l'interprétation qualitative des résultats ;
- Elles rendent compte de la variation de la résistivité dans le sens horizontal ;
- Permettre une exploration continue, ce qui peut être très utile pour les études de détail comme les études de reconnaissance géologiques ou géotechniques.

Exemple de Carte de Résistivité AB = 400 m (Fig. 31)

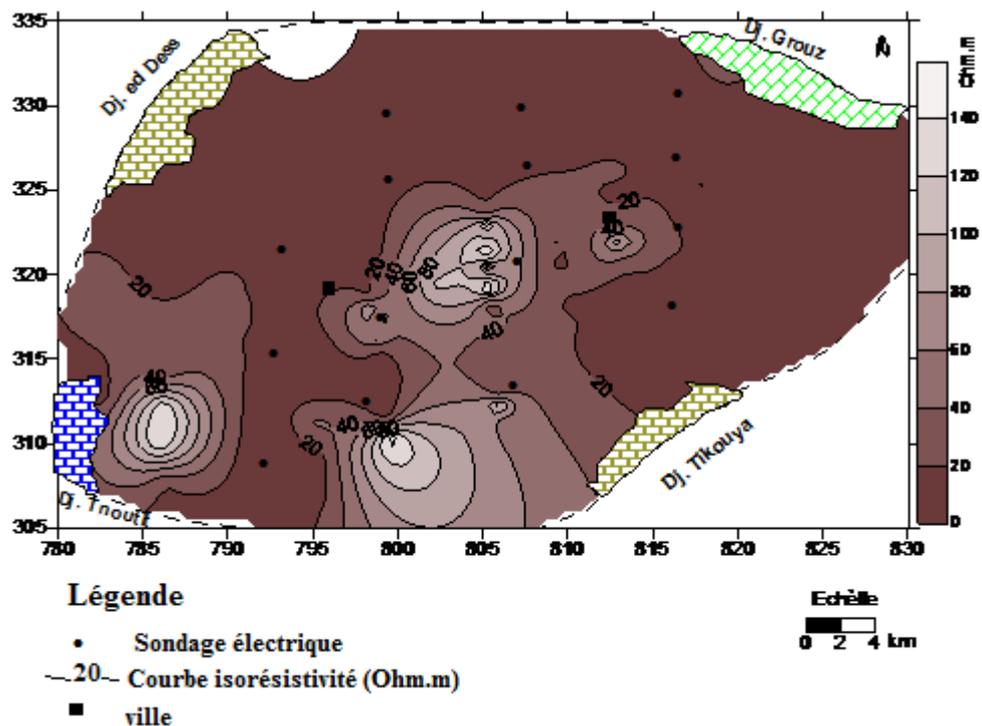


Figure. 22 Carte de Résistivité AB = 400 m

## 9. Méthode de sondage électrique vertical (SEV)

### 9.1. Introduction

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. Le sondage électrique consiste à effectuer à partir d'un même point une série de mesures de la résistivité apparente en agrandissant à chaque fois la longueur de la ligne d'émission AB. (Fig.23)

La profondeur d'investigation augmente en fonction de l'espacement AB et on continue le sondage jusqu'à ce que la formation géologique soit atteinte. En reportant, sur un papier bi logarithmique en abscisses les longueurs AB/2 et en ordonnées les résistivités apparentes correspondantes, on obtient la courbe de sondage électrique.

Le sondage électrique permet d'explorer une tranche de terrain de plus en plus épaisse et l'on met ainsi en évidence les changements de constitution géologique suivant la verticale.

Des cartes de résistivité apparente effectuées au préalable permettent de placer judicieusement les sondages électriques.

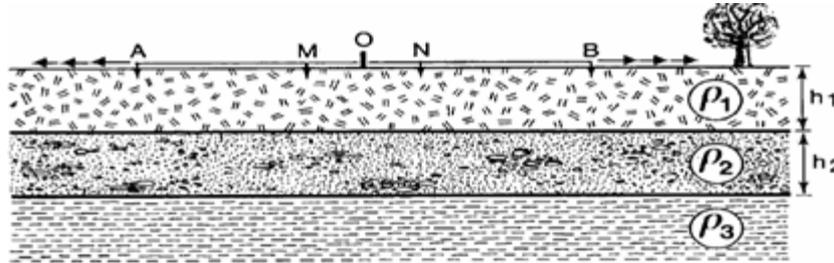


Figure .23 La mise en œuvre des sondages électriques

## 9.2. Cas de deux terrains homogènes et isotopes

En résolvant l'équation générale du potentiel à la surface de deux terrains parallèles, homogènes et isotopes, on peut construire une série de courbes représentant la résistivité apparente.

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n L^3}{[L^2 + (2n)^2]^{\frac{3}{2}}}$$

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad \text{Et} \quad L = \frac{OA}{h_1}$$

Ainsi on a, si  $\rho_2 = \rho_1$ ,  $K = 0$  et  $\rho_a = \rho_1 = \rho_2$

Si  $OA \rightarrow 0$ ,  $L \rightarrow 0$  et  $\rho_a = \rho_1$

Si  $OA \rightarrow \infty$ ,  $L \rightarrow \infty$  et  $\rho_a = \rho_2$

Si on impose  $\rho_1/\rho_2 = \text{constante}$ , on aura  $K = \text{constante}$ , le membre de droite de l'équation est alors une fonction ne dépendant que de  $(L)$  c'est à dire du rapport  $OA/h_1$ . (Fig 24). Par commodité, on représente  $\rho_a/\rho_1$  en fonction de  $OA/h_1$  pour différentes valeurs de  $\rho_2/\rho_1$  sur du papier bilogarithmique; dans ce cas la relation devient:

$$\log \frac{\rho_a}{\rho_1} = F \left( \log \frac{OA}{h_1} \right)$$

L'ensemble de ces courbes porte le nom d'abaque CH1 (Fig.25). Ces courbes représentent  $\rho_a/\rho_1$  en fonction de  $OA/h_1$  pour différentes valeurs de  $\rho_2/\rho_1$  ( $OA = AB/2$ ). Ces courbes sont reportées sur une échelle bilogarithmique. Chaque courbe de cet abaque correspond à la courbe d'un sondage électrique exécuté sur un sous-sol composé de deux terrains ou le premier terrain à une épaisseur et une résistivité unité.

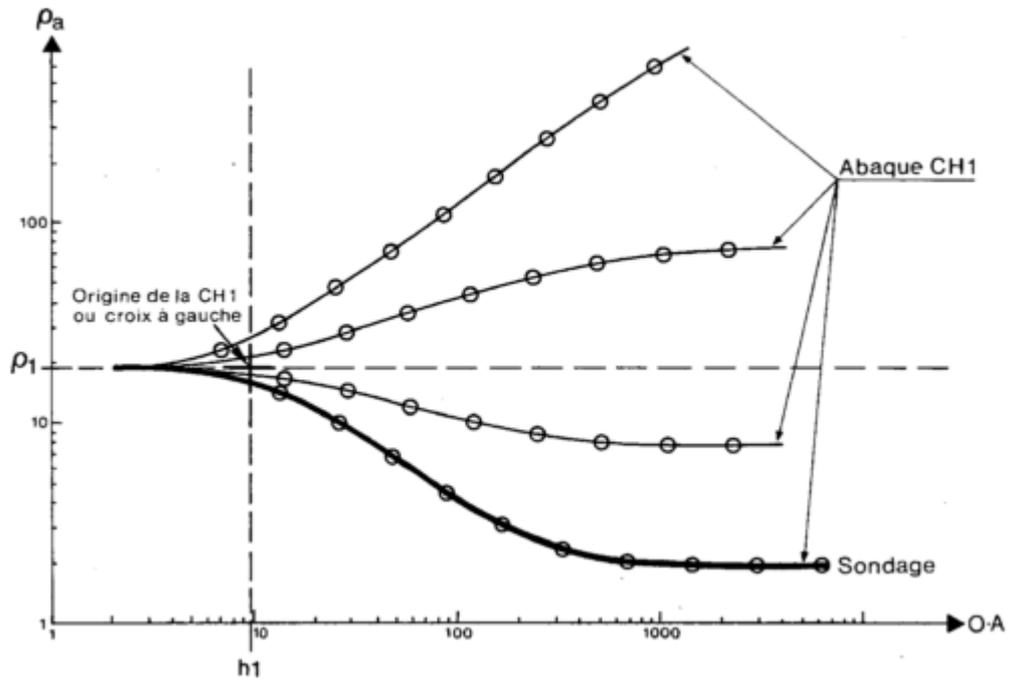


Figure.24 Utilisation de l'abaque pour deux terrains superposés horizontalement

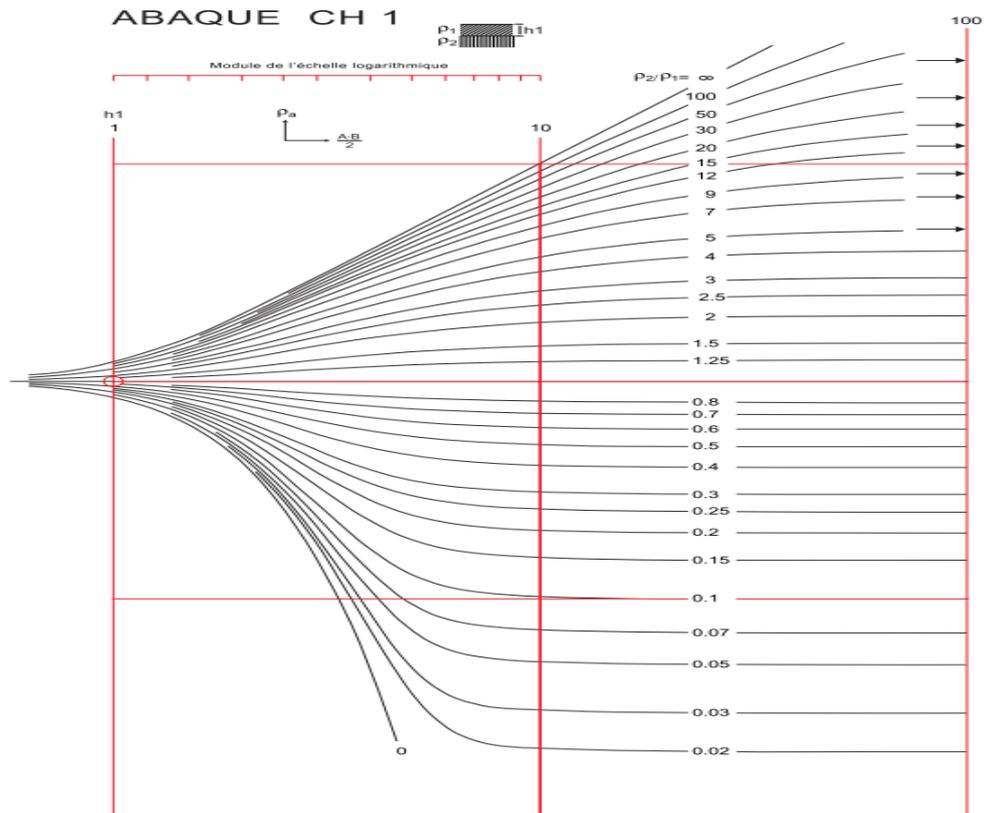


Figure .25 Abaque CH1

La figure ci-dessous (Fig. 36) illustre une feuille d'acquisition pour un sondage électrique. On y distingue les colonnes destinées à recevoir les valeurs  $\Delta V$  et de  $I$  mesurées. Le facteur géométrique est précalculé pour différents MN ce qui permet de calculer directement sur le terrain la valeur de la résistivité apparente et de contrôler ainsi la cohérence des mesures. Des marques de couleur sur le câble permettent de se repérer facilement sur le terrain.

ETUDE : \_\_\_\_\_ SONDAGE N° : \_\_\_\_\_  
 DATE : \_\_\_\_\_ COORDONNEES : \_\_\_\_\_  
 OPERATEUR : \_\_\_\_\_ COTE : \_\_\_\_\_

$k = \frac{AM \cdot AN}{MN} \cdot 3,14$ 
 $Pa = k \frac{\Delta V}{I}$

MARQUES	O-A en m	k pour				$\Delta V$ en millivolts	I en milliampères	Pa en ohm-m
		M-N 1 m	M-N 10 m	M-N 60 m	M-N 200 m			
1	1 m	2.35						
2	2	11.8						
3	3	27.5						
1	4	49.5						
2	5	77.7						
3	6	112						

**Figure.36** Feuille de sondage électrique (dispositif Schlumberger)

### 9.3. Les dispositifs

En principe, tous les dispositifs, dipôles, tripôles, quadripôles, etc. peuvent être utilisés pour exécuter des sondages électriques. Dans la pratique, on n'utilise que les quadripôles symétriques, et le plus souvent le dispositif Schlumberger. En pratique, la distance MN est maintenue fixe et aussi petite que possible pendant un certain nombre de mesures, cela allège le travail manuel et évite le nombre des "à-coups de prise".

#### Remarque

- En effet pour les très grandes longueurs de ligne la différence de potentiel ( $\Delta V$ ) mesuré serait trop faible. On effectue alors ce que l'on appelle un débrayage. C'est-à-dire effectuées avec la même distance de linge AB pour deux distance de MN successifs
- la profondeur d'investigation dépend dans une certaine mesure de la distance AM, agrandir MN revient donc à diminuer quelque peu la profondeur d'investigation.
- La variation de résistivité peut être liée à la saturation en eau du sol ainsi pour un même horizon géologique les zones saturées d'une part (sous le niveau d'eau) et non saturées d'autre part (hors d'eau) représenteront deux terrains distincts.

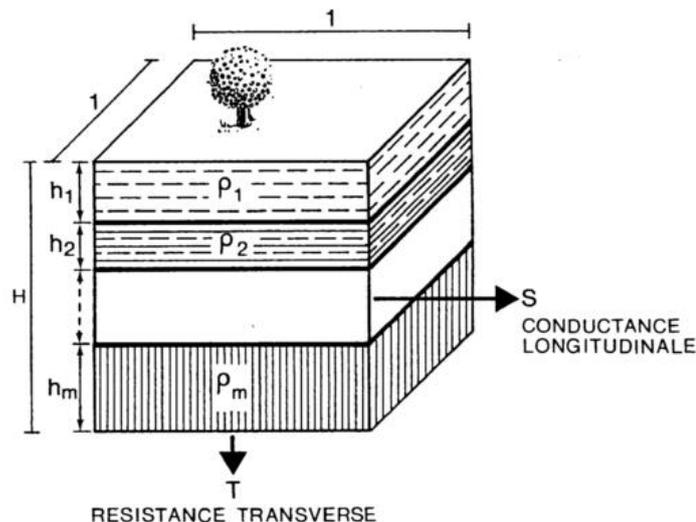
#### 9.4. Les paramètres géoélectriques

Une section géologique diffère d'une section géoélectrique quand les limites entre les couches géologiques ne coïncident pas avec les limites entre les différentes résistivités. Par exemple quand la salinité de l'eau d'un sable varie avec la profondeur on peut distinguer plusieurs couches électriques alors qu'il s'agit de la même couche géologique, par contre si de l'argile à 20 Ohms.m repose sur de la molasse à 20 Ohms.m on ne distinguera pas ces deux couches.

Une couche électrique peut être décrite à l'aide de deux paramètres fondamentaux, sa résistivité  $\rho_i$  et son épaisseur  $h_i$ , d'autres paramètres géoélectriques peuvent être obtenus à partir de ces deux paramètres fondamentaux (Fig .26), ce sont:

- La résistance transverse  $T = h/\rho_t$ ,  $\rho_t$  = résistivité transversale
- La conductance longitudinale  $S = h/\rho_l$ ,  $\rho_l$  = résistivité longitudinale

Où  $h$  = épaisseur



**Figure.26** Conductance longitudinale et résistance transversale

Ces paramètres sont particulièrement importants quand ils sont utilisés pour décrire une section géoélectrique constituée de plusieurs couches. Pour  $n$  couches on obtient:

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\rho_i}$$

$$T = T_1 + T_2 + \dots + T_n = \sum_{i=1}^n h_i \rho_i$$

Ces paramètres T et S sont appelés les paramètres de Dar Zarrouk. Ils sont à la base des méthodes d'interprétation. Ils sont définis par rapport à une colonne de section unitaire de 1 m<sup>2</sup> de section.

Souvent, dans la nature, une couche de terrain présente une anisotropie verticale liée à l'histoire de sa formation. Pratiquement cette anisotropie se traduit par une résistivité transversale plus grande que la résistivité longitudinale. On définit donc :

Un coefficient d'anisotropie  $\lambda = \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_s}}$

Une résistivité moyenne  $\rho_m = \sqrt{\rho_t \rho_s}$

Pour une couche isotrope  $\rho_t = \rho_l$  et  $\lambda = 1$

## 9.5. Les différents types de sondages électriques

La forme des courbes obtenues par sondage électrique au dessus de milieux stratifiés est une fonction de la résistivité, de l'épaisseur des couches et de la configuration du dispositif de mesure.

### 9.5.1. Milieu homogène et isotrope

Si le milieu est constitué d'une couche homogène, isotrope, d'épaisseur infinie et de résistivité finie, la résistivité apparente mesurée sera une ligne droite dont l'ordonnée est la résistivité  $\rho_1$  de ce milieu. (Fig.27)

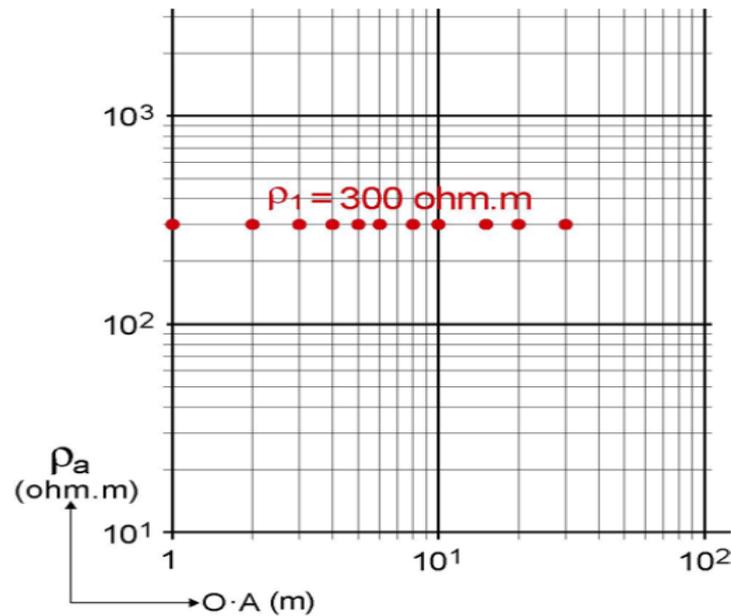


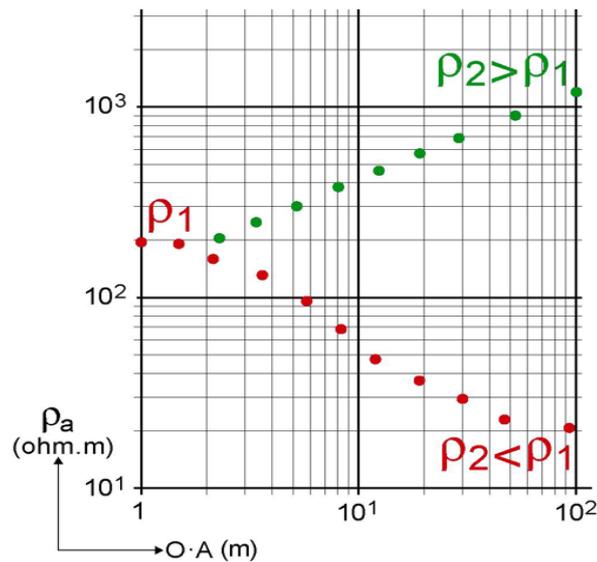
Figure .27 Exemple de sondage à un terrain

### 9.5.2. Milieu à deux couches

Si le sous-sol est composé de deux couches, une première couche d'épaisseur  $h_1$  et de résistivité  $\rho_1$  surmontant un substratum d'épaisseur infinie et de résistivité  $\rho_2$ , alors le sondage électrique débute, pour les petits espacements, par une portion de ligne droite où la résistivité apparente  $\rho_a$  est plus ou moins égale à la résistivité  $\rho_1$  du premier terrain. Puis, à fur et à mesure que l'espacement augmente, la courbe monte ou descend selon que  $\rho_2$  est plus grande ou plus petite que  $\rho_1$  et finalement atteint une valeur asymptotique qui est celle de  $\rho_2$ . (Fig. 28 L'espacement OA auquel on atteint la valeur de  $\rho_2$  dépend de trois facteurs:

- L'épaisseur de  $h_1$
- la valeur du rapport de résistivités,
- le dispositif utilisé.
- 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 ( $\rho_2/\rho_1 < 1$ ), le courant est canalisé dans la première couche
- Si  $\rho_2 > \rho_1$ . Pour interpréter (c'est-à-dire obtenir les épaisseurs et les résistivités vraies de chaque couches à partir des résistivités apparentes mesurées), un programme doit être utilisé

## Destiné aux étudiants Master1 : Hydrogéologie

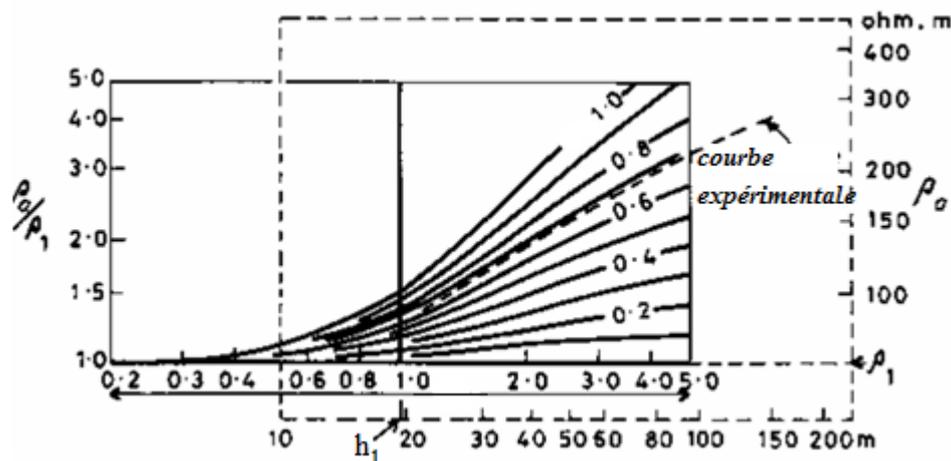


**Figure .28** Sondage électrique pour un milieu de deux couches

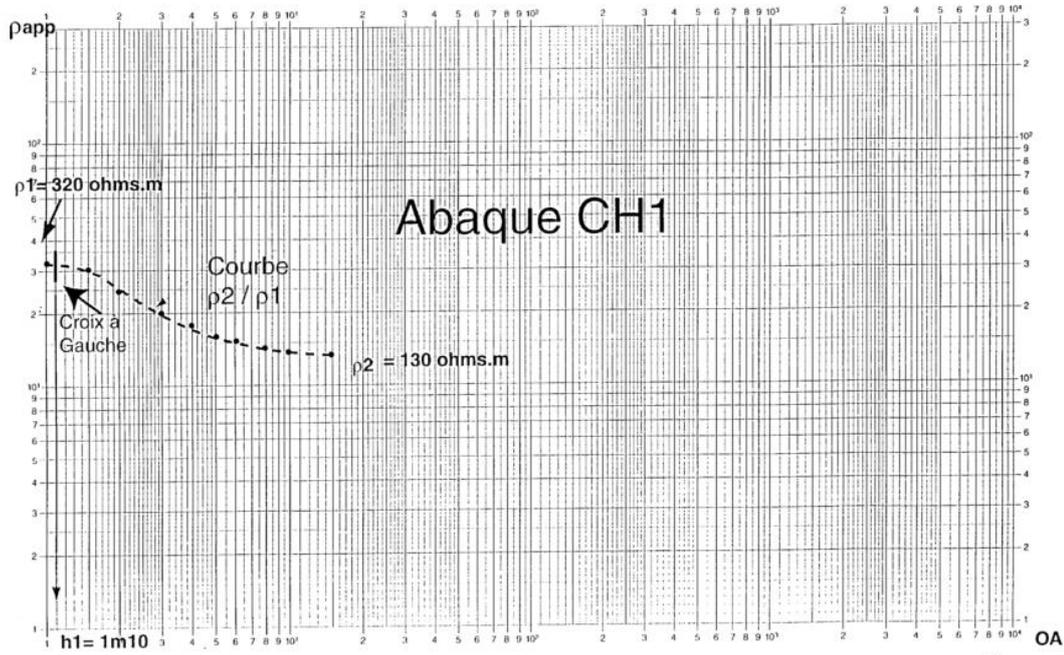
**Exemple :** Interprétation d'un sondage électrique à deux couches superposés horizontalement de résistivités différentes (Fig.29,30)

L'interprétation des sondages électriques à deux couches se fait par simple superposition de la courbe de sondage électrique sur l'une des courbes de l'abaque CH1. Une fois la courbe  $\rho_a$  construite en fonction de  $(AB/2)$  sur un papier bilogarithmique transparent, on déplace celui-ci sur un abaque de façon à mettre en cohérence la courbe de terrain et une ligne de l'abaque. On peut déduire alors  $\rho_1$  et  $h_1$ . Le facteur K de la ligne de l'abaque donne le rapport  $\rho_2/\rho_1$ .

**Remarque :** On arrive ainsi à une précision de 5 à 10 %. L'erreur commise lors de l'estimation de l'épaisseur du premier terrain sera d'autant plus grande que l'imprécision sur  $\rho_1$  sera élevée, il est donc important d'avoir suffisamment de mesures au début du sondage.



**Figure.29** Méthode de superposition de la courbe expérimentale sur l'une des courbes théoriques

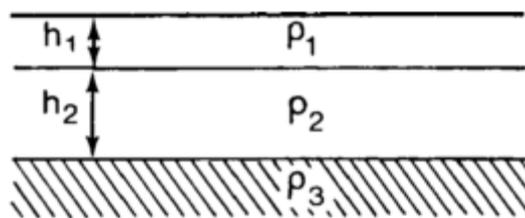


**Figure.30** Sondage électrique à deux couches superposées horizontalement

### 9.5.3. Milieu à trois couches (et plus...)

Si le sous-sol est composé de trois couches de résistivité  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$  et d'épaisseur  $h_1$ ,  $h_2$ . (Fig.31). Il y a alors quatre combinaisons possibles: (Fig.32

1. Conducteur compris entre deux résistants, sondage de type **H**
2. Résistant compris entre deux conducteurs, sondage de type **K**
3. Résistivité qui augmente par palier, sondage de type **A**
4. Résistivité qui diminue par palier, sondage de type **Q**



**Figure.31** Modèle du terrain à trois couches

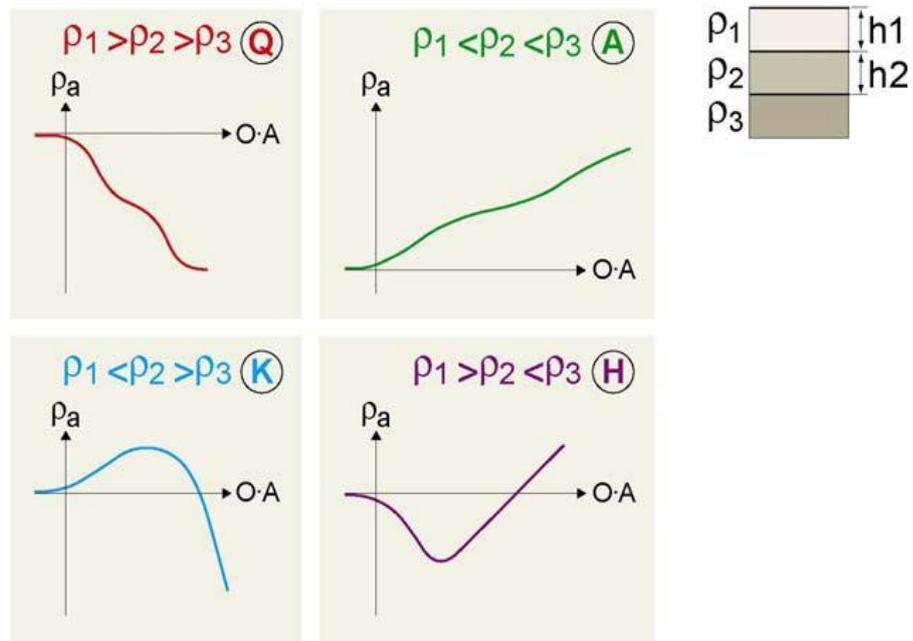


Figure.32 Modèle de courbe de sondages électriques à trois couches

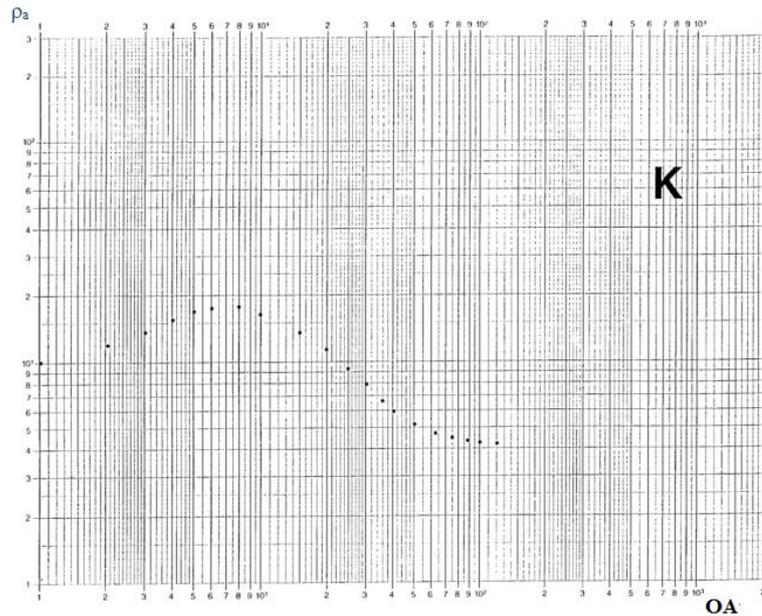
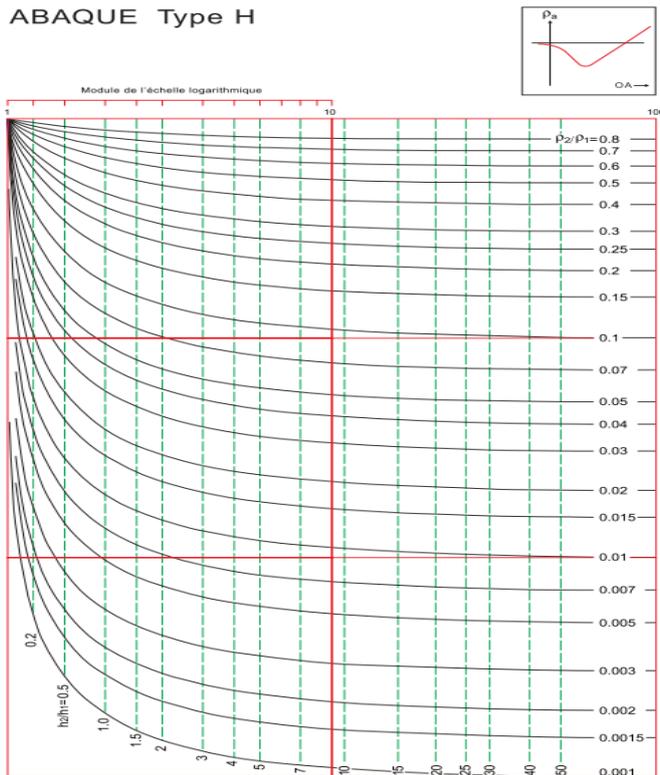
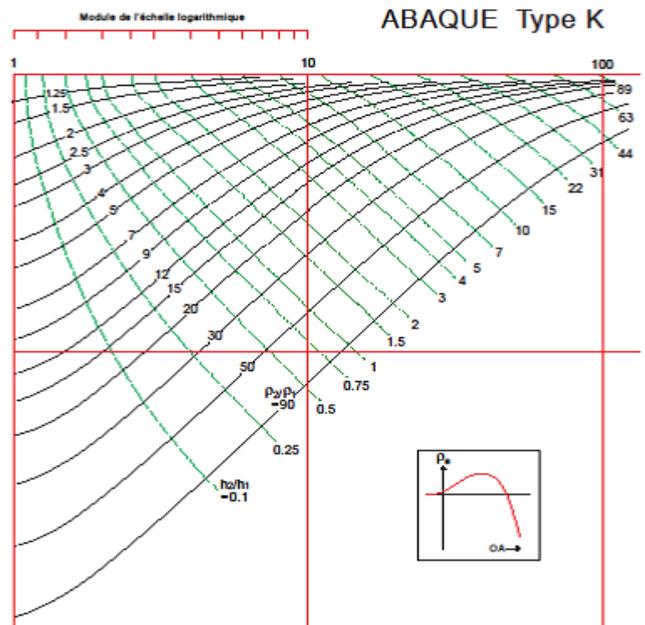


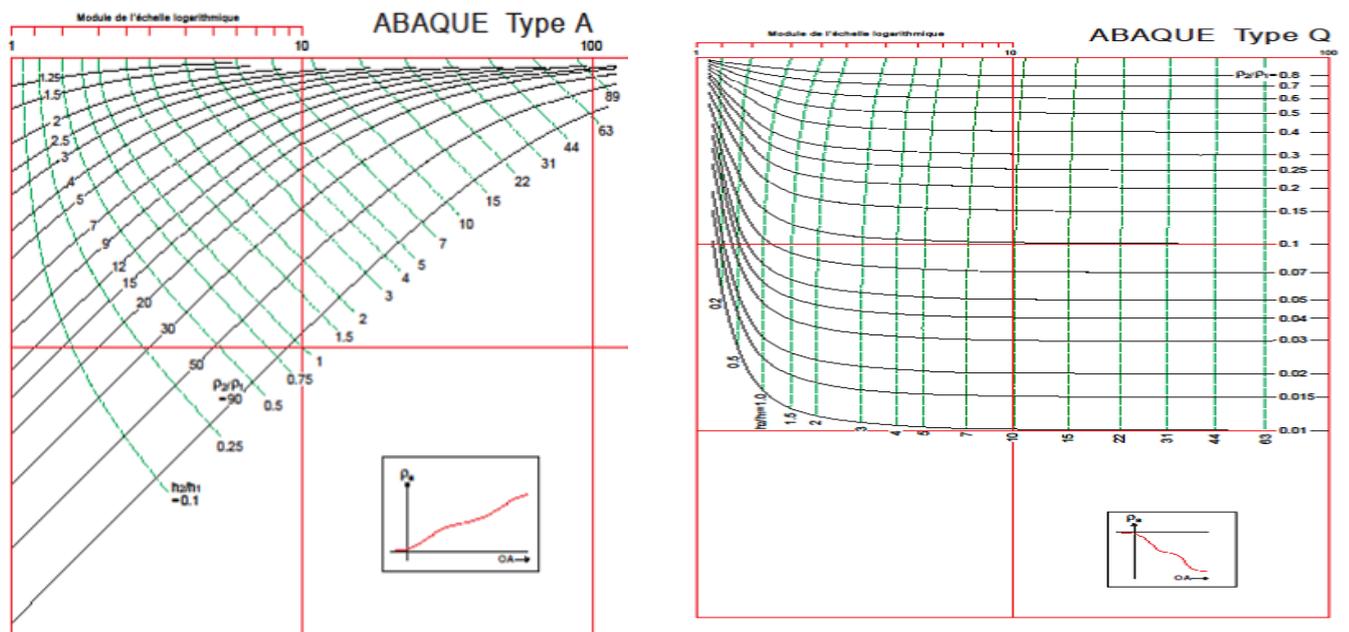
Figure.33 Courbe de sondage électrique à trois couches (type K)

ABAUQUE Type H



ABAUQUE Type K





**Figure.34** Abaqués auxiliaires (H, K A, et Q)

## 9.7. Représentation des résultats :

### 9.7.1. La carte des résistivités apparentes pour différents AB :

Les mesures effectuées sur le terrain sont reportées sous forme de courbes bilogarithmiques que l'on devra analyser. Si nous voulons un aperçu qualitatif sur l'ensemble de l'étude, nous pouvons sélectionner une longueur de AB et reporter pour chaque sondage électrique la valeur de résistivité apparente ( $\rho_a$ ). Il sera alors possible de construire une carte iso-valeurs des résistivités apparentes pour la longueur d'émission AB sélectionnée.

L'image que donne cette carte est alors celle d'une esquisse géologique établie à la profondeur de l'ordre de  $AB/6$  (entre  $AB/4$  et  $AB/10$ ), c'est à dire, cette carte donne une image approximative du sous sol suivant un plan horizontal se trouvant à la profondeur  $AB/6$ .

### 9.7.2. Coupes verticales de résistivités apparentes :

Les coupes verticales de résistivités apparentes sont établies de la manière suivante :

En abscisses, on porte les stations (à l'échelle de l'étude) et en ordonnées les résistivités apparentes obtenues pour chaque valeur de  $AB/2$  à une échelle logarithmique. Puis, par interpolation entre les valeurs, on trace les courbes isorésistivités. Cette représentation permet alors de visualiser les zones résistantes et conductrices dans le plan vertical. La pénétration du courant variant de  $AB/4$  à  $AB/10$ , l'échelle verticale n'est en aucun cas une véritable échelle de profondeur. Il n'existe pas entre les deux un rapport quantitatif (on qualifie, quelque fois, ces coupes de (pseudo-quantitatives)).

### 9.7.3. Coupes géoélectriques:

On porte en abscisses, les stations à l'échelle de l'étude et en ordonnées à une échelle linéaire appropriée les épaisseurs  $h_i$  des terrains trouvés de chaque sondage, tout en mentionnant en droit de chaque horizon sa résistivité vraie. Puis, on essaye de corrélérer entre les différents terrains selon leur résistivité. (Fig.35).

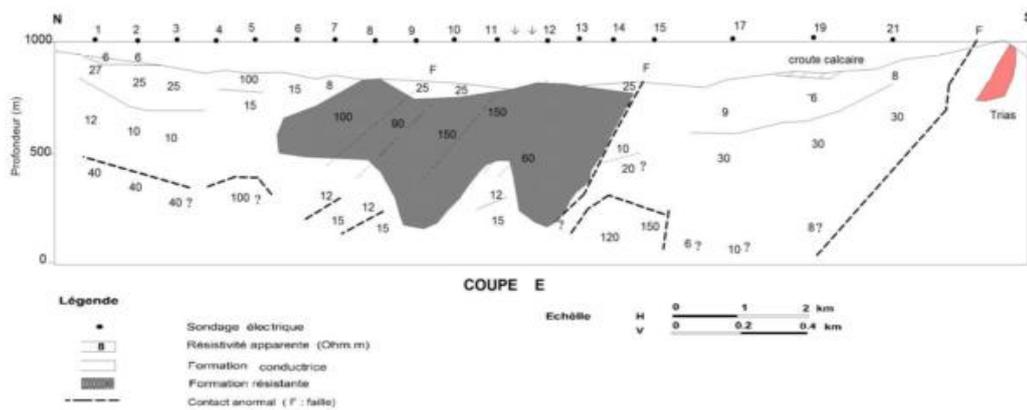


Figure 35 Coupes géoélectriques

## 11. Applications des méthodes électriques :

La prospection électrique est couramment utilisée en géophysique pour les cas suivant :

- Caractérisation de fractures.
- Détection des cavités.
- Détection des corps gelés.
- Imagerie des intrusions ou des migrations d'eau salée dans le sol.
- Détection et imagerie de vestiges archéologiques.
- Imagerie de la structure des sols et de la proche surface.
- Délimitation des décharges.
- Détection des migrations de polluants dans le sol.

En génie civil, les techniques d'imagerie électrique permettent :

- Auscultation non destructive des structures en pierre, en béton ou en terre.
- Détection de zones altérées et de la fissuration.
- Mise en évidence d'anomalies de porosité.

