

Université de Ferhat Abbas sétifl  
Institut d'architectur et des sciences de la terre  
Département des sciencenes de la terre.



# COURS PROSPECTION ÉLECTRIQUE

Présenté par : Dr. HAMLAOUI MAHMOUD



# PROSPECTION ÉLECTRIQUE

# Principes de la méthode de résistivité DC

- Définitions
- La loi d'Ohm
- La distribution des lignes de courant et des équipotentiels pour un dipôle d'injection
- La mesure de la résistivité apparente
- Pénétration en fonction de l'écartement des électrodes de courant
- Dispositifs communément utilisés
- Modes de mesure : profilage et sondages

## 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.

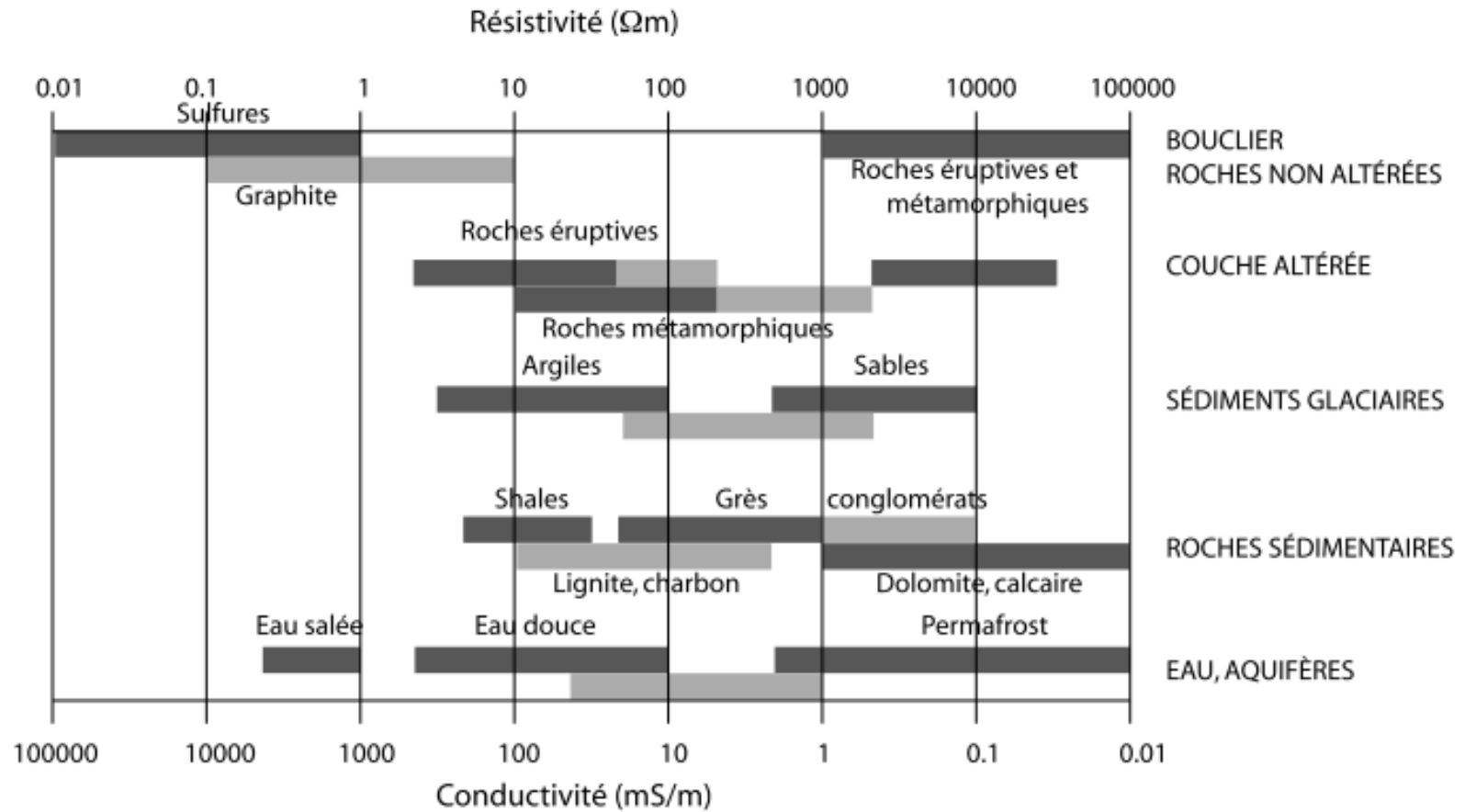
# Définitions

- La **conductivité électrique** (et son inverse la résistivité électrique) représente la capacité de la matière à mettre en mouvement les charges libres sous l'action d'un champ électrique.
- La **permittivité électrique** caractérise la redistribution locale des charges liées sous l'action d'un champ électrique.

**La résistivité**  $\rho$  d'un milieu est la propriété Physique qui détermine la capacité de ce milieu à s'opposer au passage d'un courant électrique.

# Définitions

- Déplacement de charges électriques (ions, électrons) = conduction + chaleur
- La **conductivité électrique** (et son inverse la résistivité électrique) représente la capacité de la matière à mettre en mouvement les charges libres sous l'action d'un champ électrique.



→ contraste de résistivité (rapport...)

→ échelle logarithmique (progression géométrique)

→ unité usuelle :  $\Omega\cdot\text{m}$ ,  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ,  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$

# Conduction

- Conduction électronique :
  - ◆ significative en présence de métaux.
- Conduction ionique :
  - ◆ en présence d'une solution électrolytique dans les pores ;
  - ◆ déplacement des ions par diffusion ;
- Conduction de surface :
  - ◆ solide + fluide conducteur = présence d'une double couche ;
  - ◆ proportionnelle à la surface spécifique ;
  - ◆ devient significative dans les silts et argiles.



# La loi d'Ohm

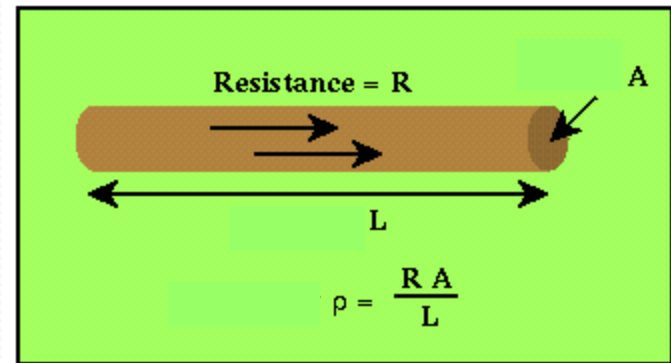
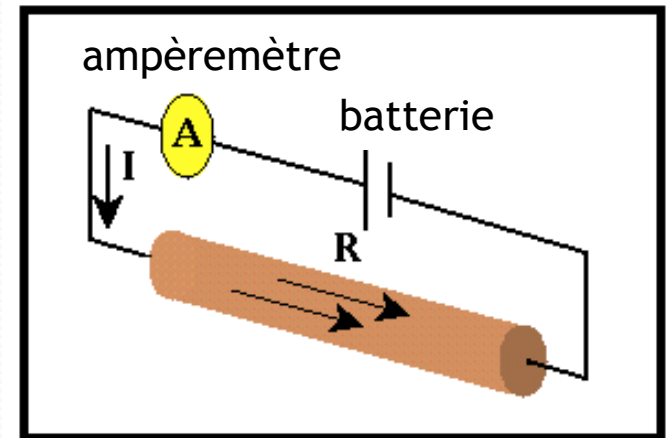
La loi d'Ohm:

$$V = R.I$$

La résistance  $R$  dépend de la géométrie du matériau; pour une cylindre de section  $A$  et de longueur  $L$ ,

$$\rho = R.A/L$$

Où  $\rho$  est la résistivité du matériau

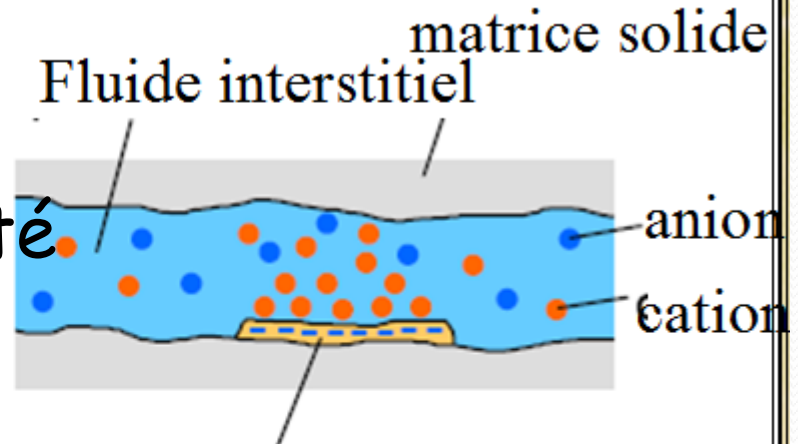


# Résistivité: Loi d'Archie modifiée

$$\sigma = \underbrace{a\sigma_w\phi^m S^n}_{\text{conductivité électrolytique}} + \underbrace{\sigma_s}_{\text{conductivité de surface}}$$

conductivité électrolytique

conductivité de surface



$\sigma$  : la résistivité élec. de la roche

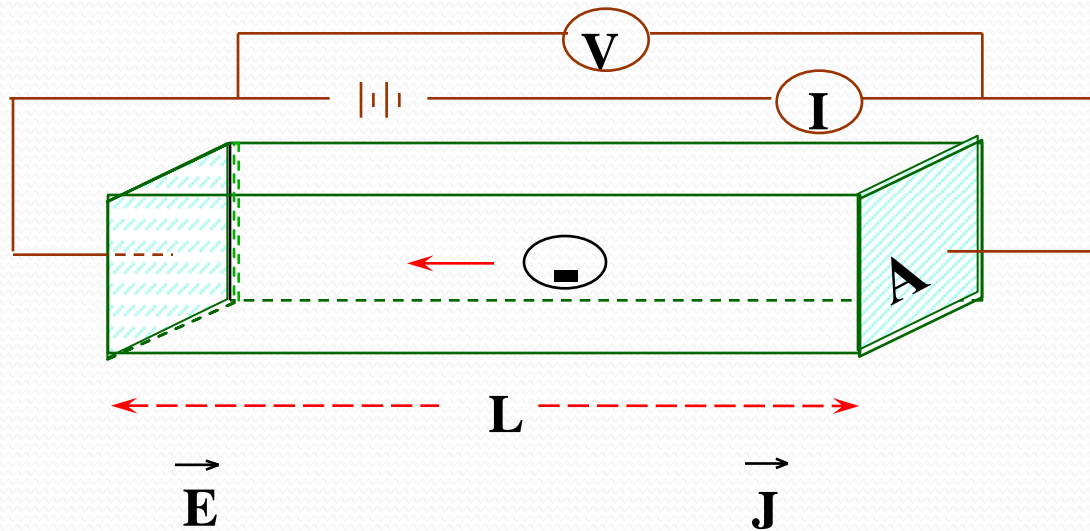
$\phi$  : la porosité

$a$  : facteur de formation

$m$  : facteur de cimentation

$n$  : exposant de la saturation

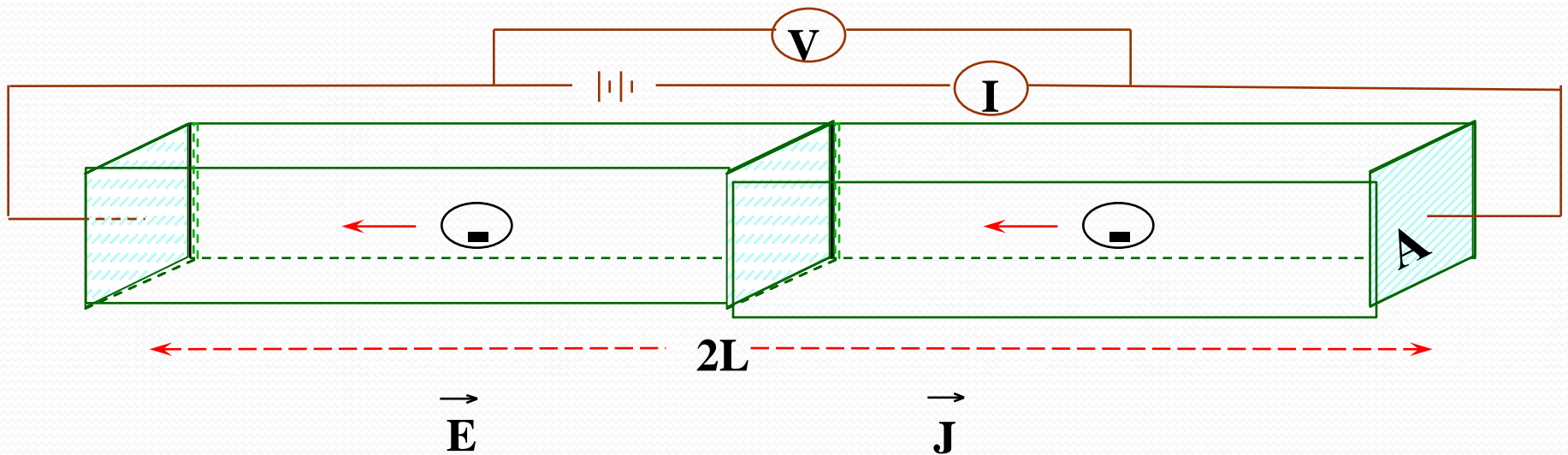
# La loi d'Ohm



Résistance:  $R = \frac{V}{I}$   $[\Omega]$

Résistivité:  $\rho = \frac{R \cdot A}{L}$   $[\Omega \cdot m]$

# La loi d'Ohm



Résistance:  $R_{2L} = \frac{V}{I} \quad [ \Omega ]$

Résistivité:  $\rho = \frac{R_{2L}}{2L} = \frac{R \cdot A}{L} \quad [ \Omega \cdot m ]$

# La loi d'Ohm

**Résistivité:**  $\rho = \frac{V/L}{I/A} \quad [ \Omega m ]$

**Résistivité:**  $\rho = E \cdot \frac{1}{J} \quad [ \Omega m ]$

**Loi d'Ohm:**  $J = \frac{1}{\rho} \cdot E \quad [ \Omega m ]$

**Loi d'Ohm:**  $J = \sigma \cdot E \quad [ \Omega m ]$

**Conductivité:**  $\sigma = \frac{1}{\rho} \quad [S/m]$

## Les filets de courant et les équipotentiels

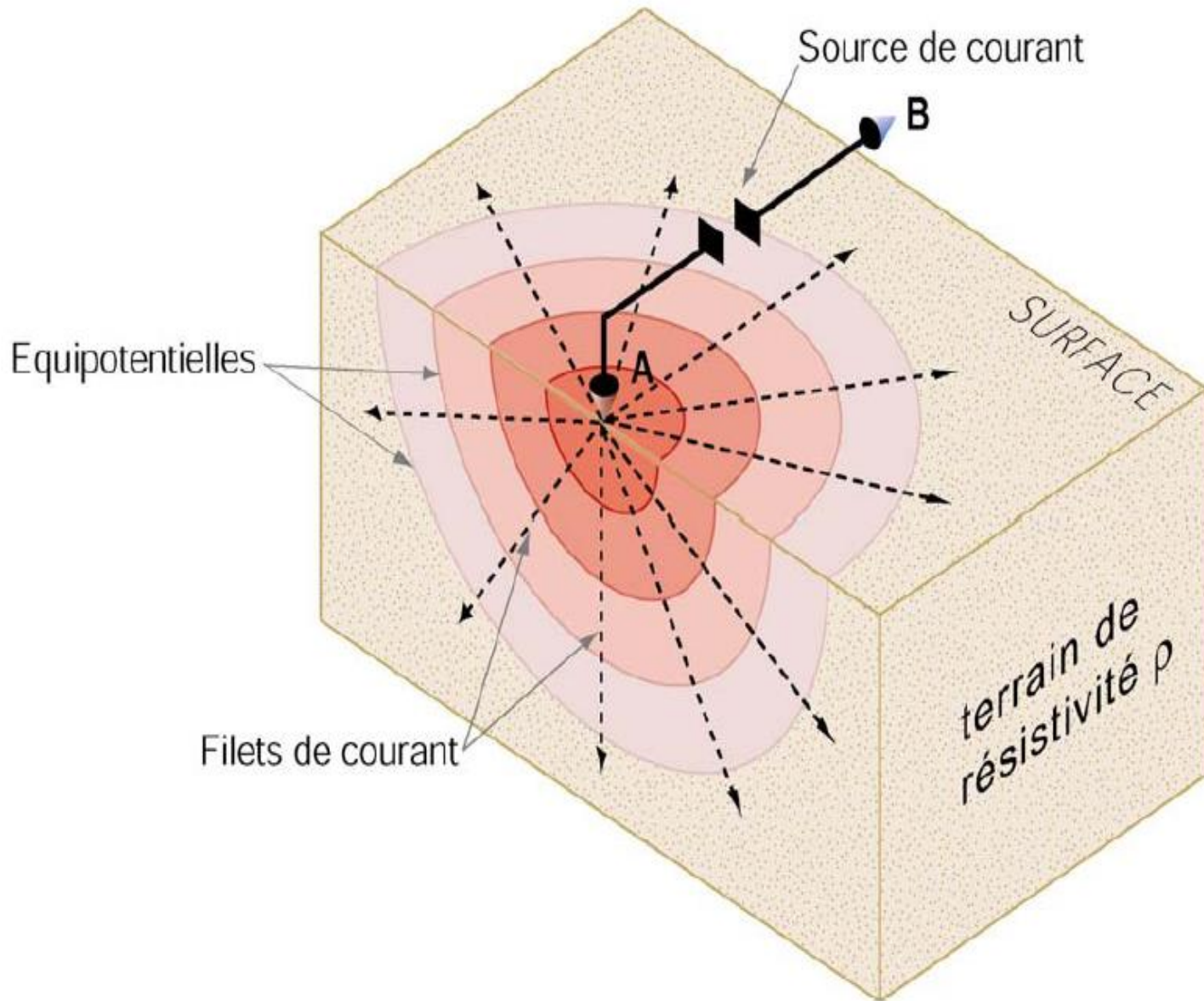
Examinons maintenant comment mesurer la résistivité des roches. La loi d'Ohm nous permet de prévoir le cheminement des filets de courant dans un milieu homogène isotrope.

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 représenté par des demi sphères centrées sur A



# Potentiel et champ électrique pour un terrain homogène

## Terrain homogène

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  $1/2 \pi$ .

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

$$dV = \frac{\rho I dr}{2\pi r^2} \quad \text{soit en intégrant :} \quad V = \frac{\rho I}{2\pi r} + C$$

avec  $C$  une constante qui tend vers 0 lorsque  $V$  tend vers l'infini.  
On obtient donc :

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



# Équations de base

**Loi d'Ohm:**             $\mathbf{J} = \frac{1}{\rho} \cdot \mathbf{E}$             [  $\Omega\text{m}$  ]

**Loi d'Ohm:**             $\mathbf{J} = \sigma \cdot \mathbf{E}$             [  $\Omega\text{m}$  ]

Par définition  $\vec{E}$  est le gradient du potentiel  $V$

$$\nabla V = \frac{\partial V}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial V}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial V}{\partial z} \hat{k} = -\vec{E}$$

# A l'interface entre deux milieux

$$\begin{aligned} E_t^{(1)} &= E_t^{(2)} \\ \sigma_1 E_n^{(1)} &= \sigma_2 E_n^{(2)}. \end{aligned}$$

$$\frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2} = \frac{J_{x1}}{J_{z1}} \frac{J_{z2}}{J_{x2}} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

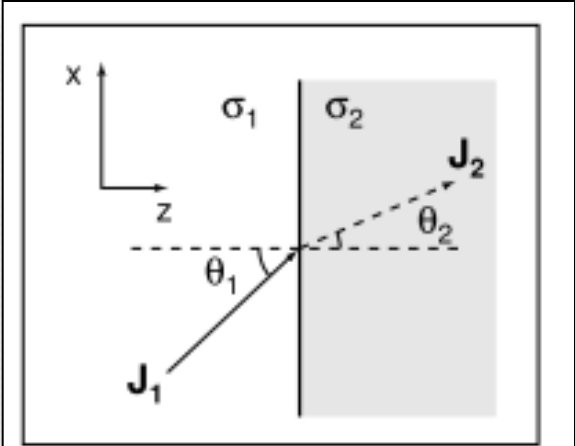


Figure 3.11: Distorsion du courant à une interface plane où  $\rho_1 < \rho_2$ .

ou encore, si l'on tient compte du champ électrique moyen

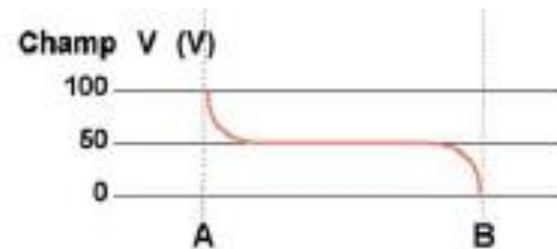
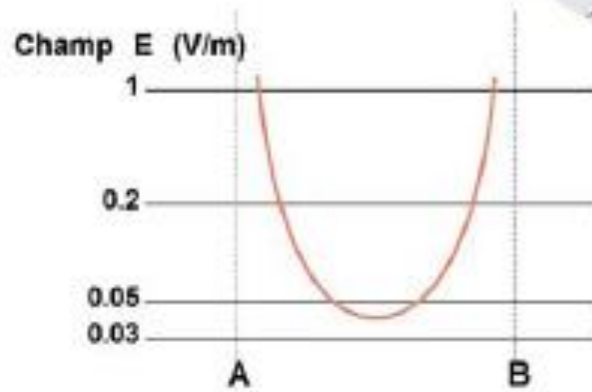
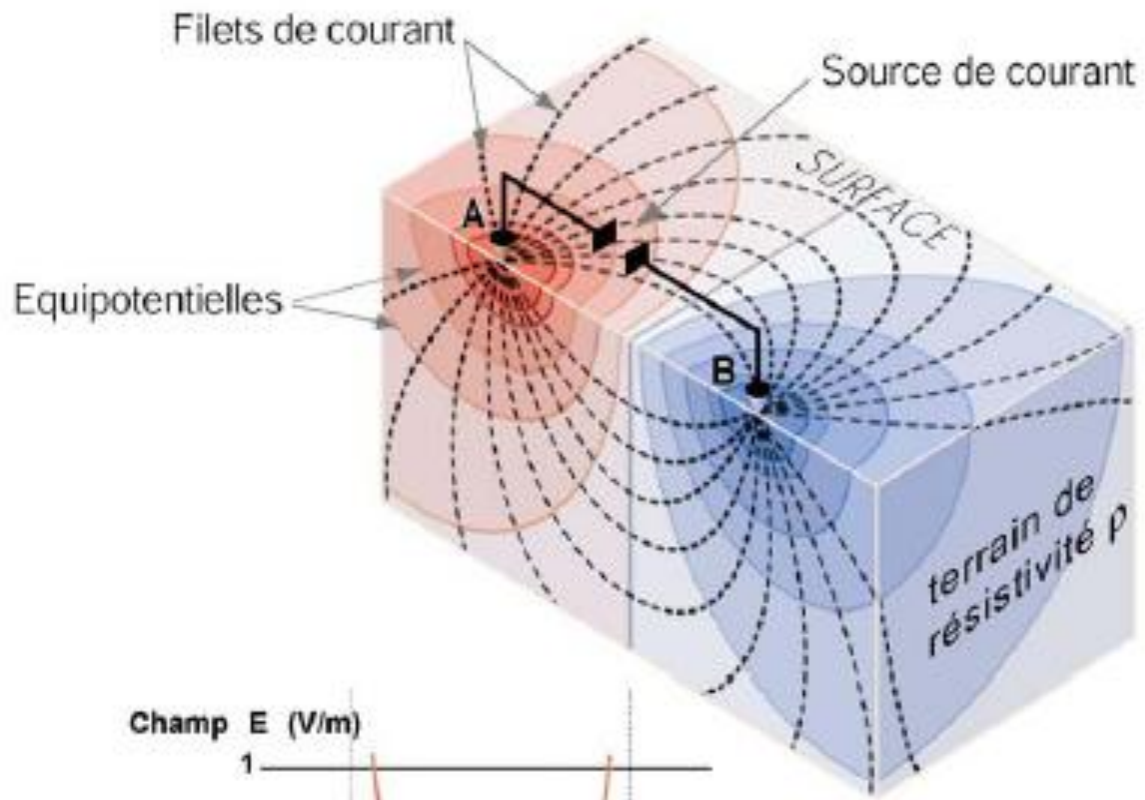
$$E = -\frac{dV}{dr} \quad \text{alors}$$

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

### Répartition du potentiel

En fait dans la pratique, il existe deux électrodes d'émission **A** et **B**.

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**.



Par ailleurs, les lois qui régissent la propagation des phénomènes électriques sont linéaires, ce qui signifie que l'on peut additionner algébriquement les potentiels créés par différentes sources.

Le potentiel total en un point sera :

$$V = V_A + V_B$$

pour deux pôles d'envoi de courant (*+I par A et -I par B*) :

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right)$$

## **Potentiel et champ électrique pour un terrain hétérogène**

L'existence d'une masse relativement conductrice ou résistante dans le sous-sol va perturber la répartition des filets de courant et des lignes équipotentiels.

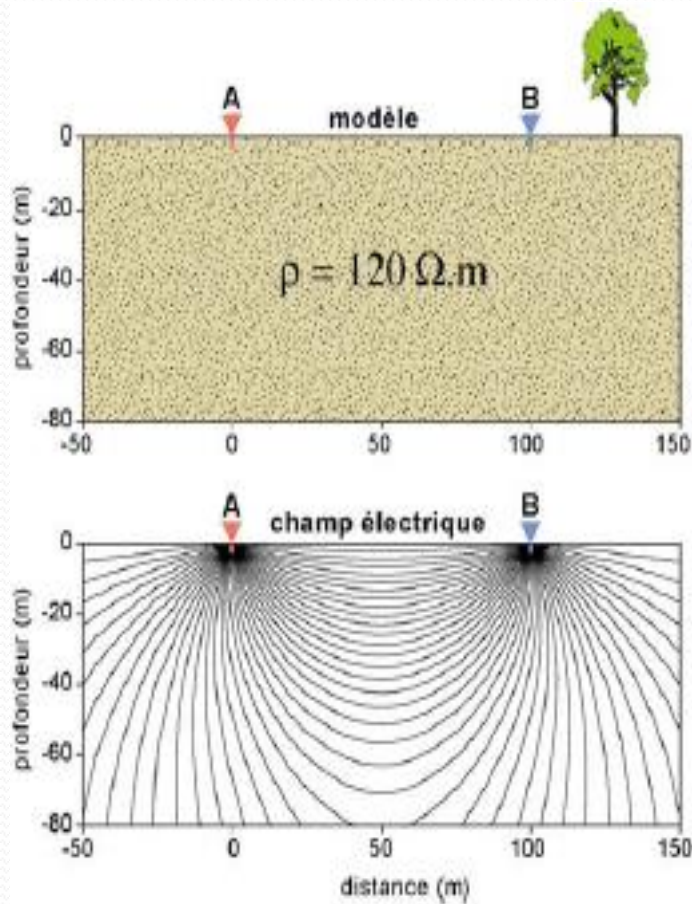
Dans le cas d'un sous-sol hétérogène, il est en effet difficile d'obtenir des équations simples décrivant le comportement du champ électrique et des techniques numériques avancées (différences finies, éléments finis) devront être utilisées.

Commençons tout d'abord par donner une image de la répartition du courant électrique (ou du champ électrique) dans un terrain homogène entre deux électrodes A et B (cette situation est similaire à celle décrite ci-dessus).

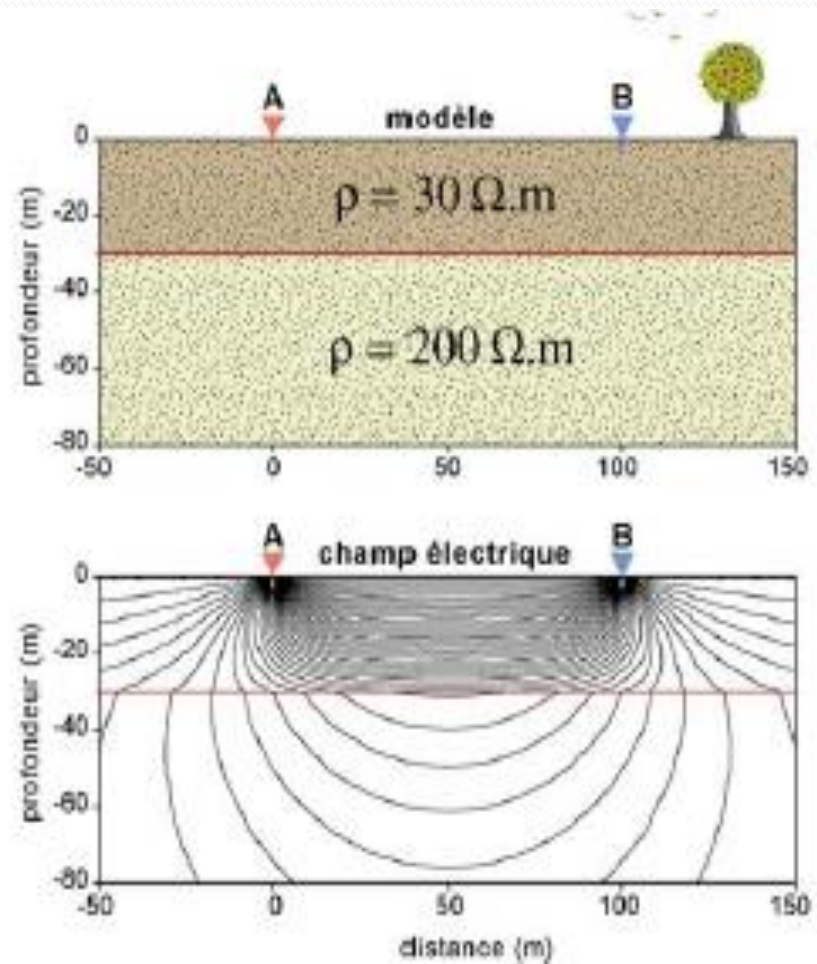
L'exemple géologique utilisé pour la modélisation est un niveau de grès de résistivité 120 ohm.m.

# EXEMPLES DE TERRAINS HETEROGENES

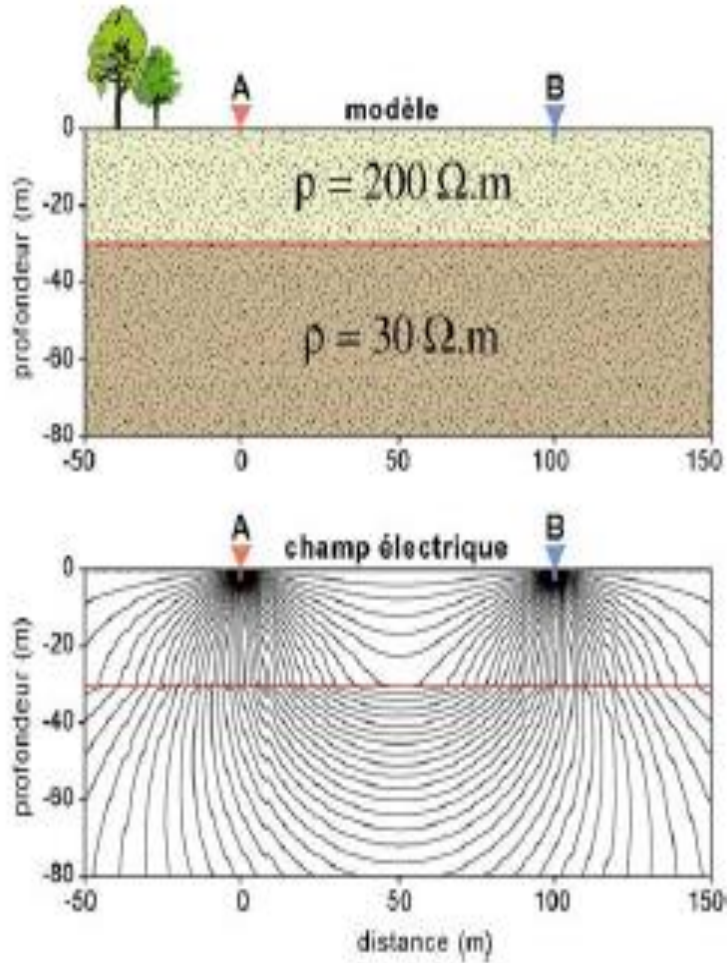
## TERRAIN HOMOGENE



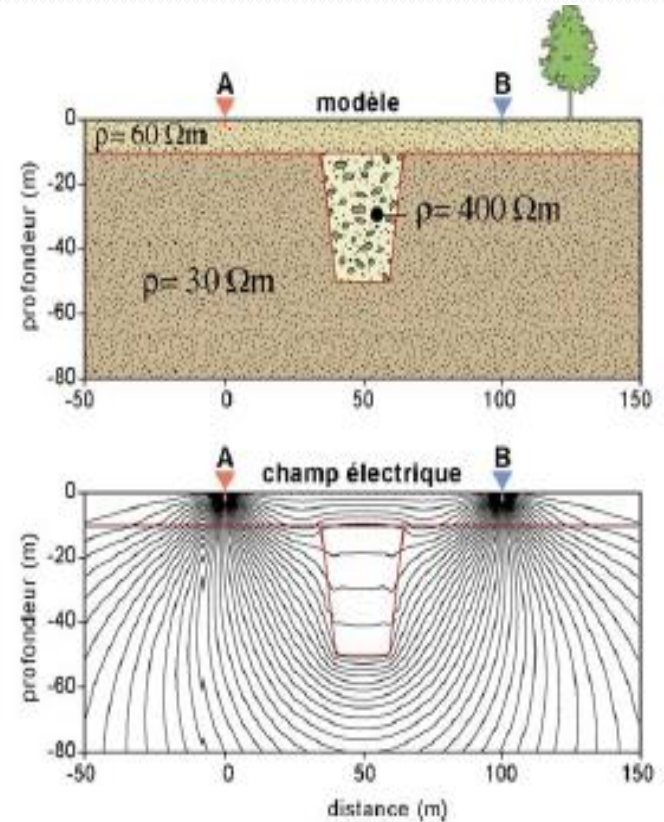
## TERRAIN HETEROHOMOGENE



# Inversion de gradient de Résistivité



# Fossé Résistant



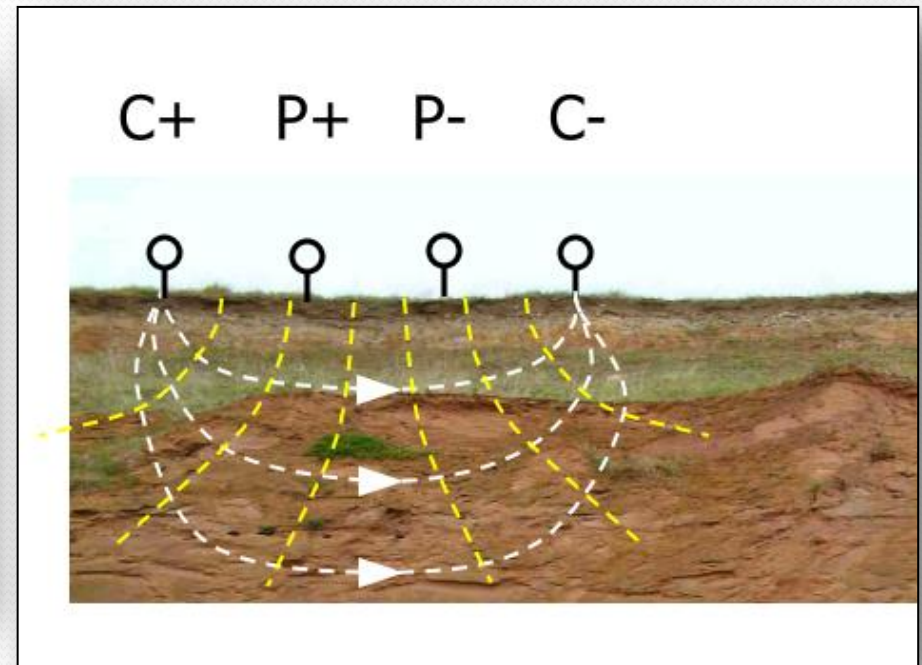
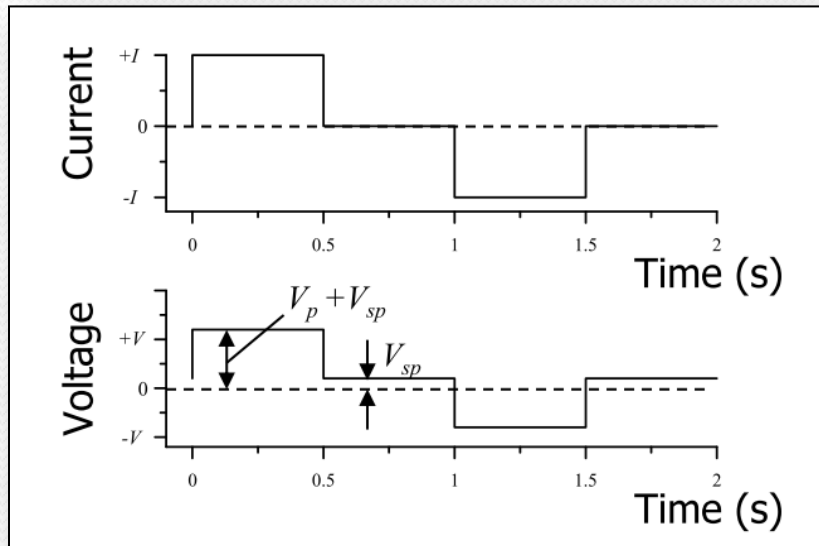


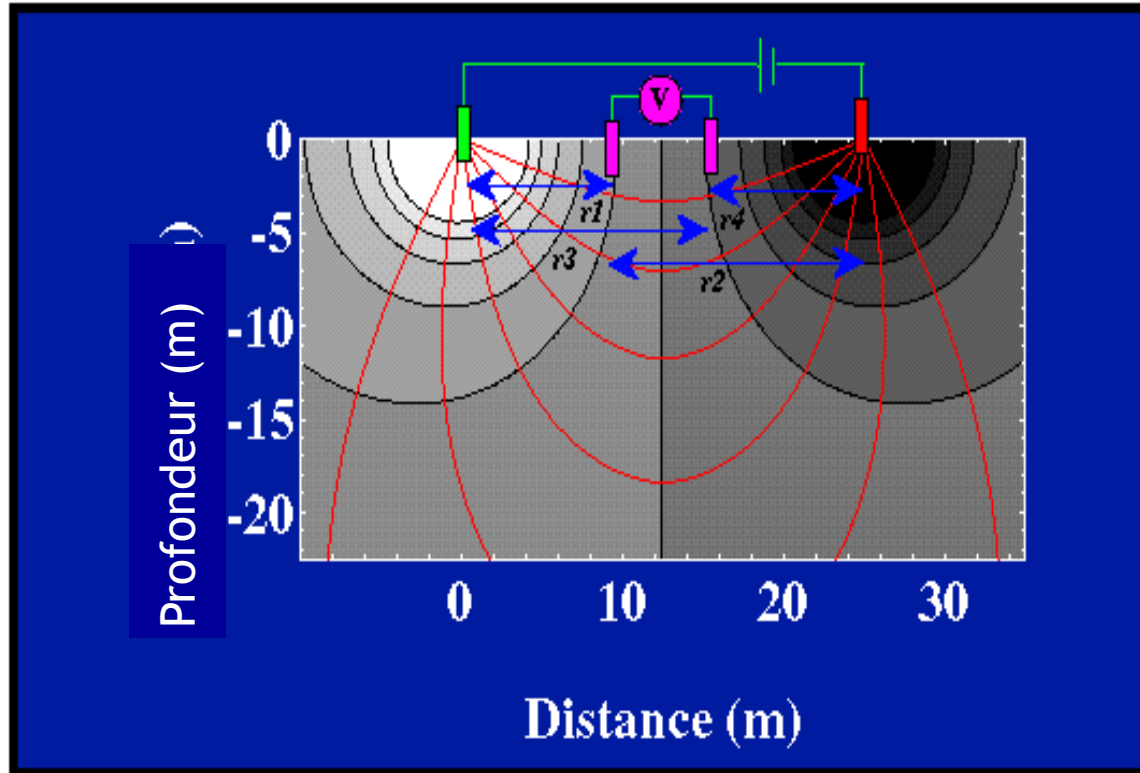
# Résistivité apparente

- La résistivité apparente est la valeur de résistivité obtenue sur le terrain.
- Elle résulte de la contribution volumique de toutes parcelles du milieu traversé par le courant émis en fonction de la distance à la source.
- Si le sol est homogène la résistivité apparente est égale à la résistivité intrinsèque.

# Principe de mesure

- ◆ Injection d'un courant DC entre C+ et C-
- ◆ Mesure du potentiel entre P+ et P-
- ◆ Le potentiel est fonction de la distribution de la résistivité du sous-sol et du courant





Pour mesurer la résistivité du sol, on utilise un quadripôle, formé d'un dipôle d'injection de courant et d'un dipôle pour la mesure de la différence de potentiel V

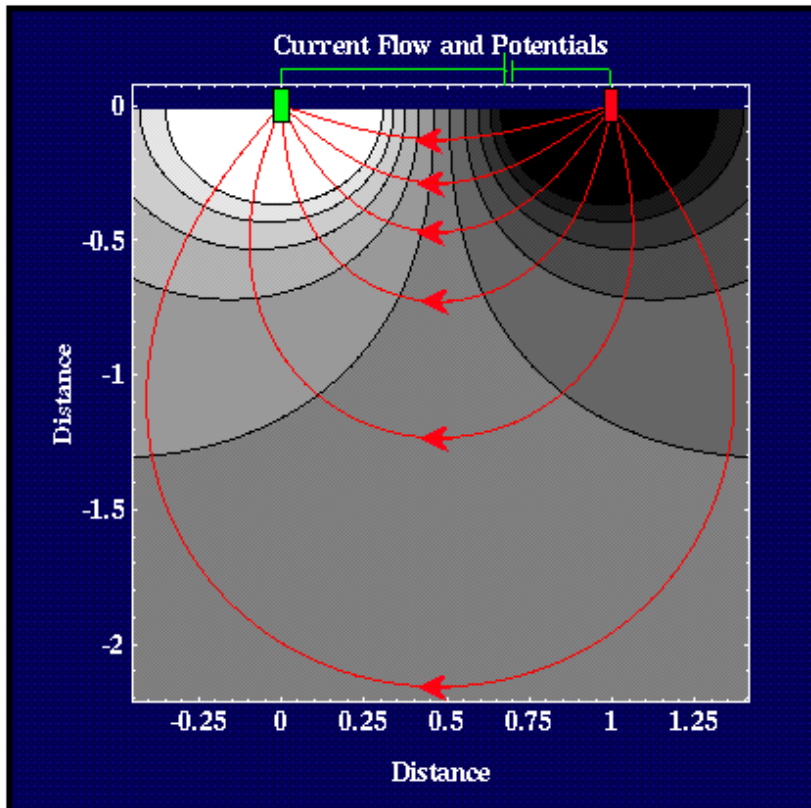
$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V}{i} \left[ \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}\right)} \right]$$

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad \text{avec} \quad K = 2\pi \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1}$$

$$K = \pi \frac{AM * AN}{MN}$$

# Distribution des lignes de courant et équipotentielles (dipôle d'injection)

## Lignes de courant et équipotentielles



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

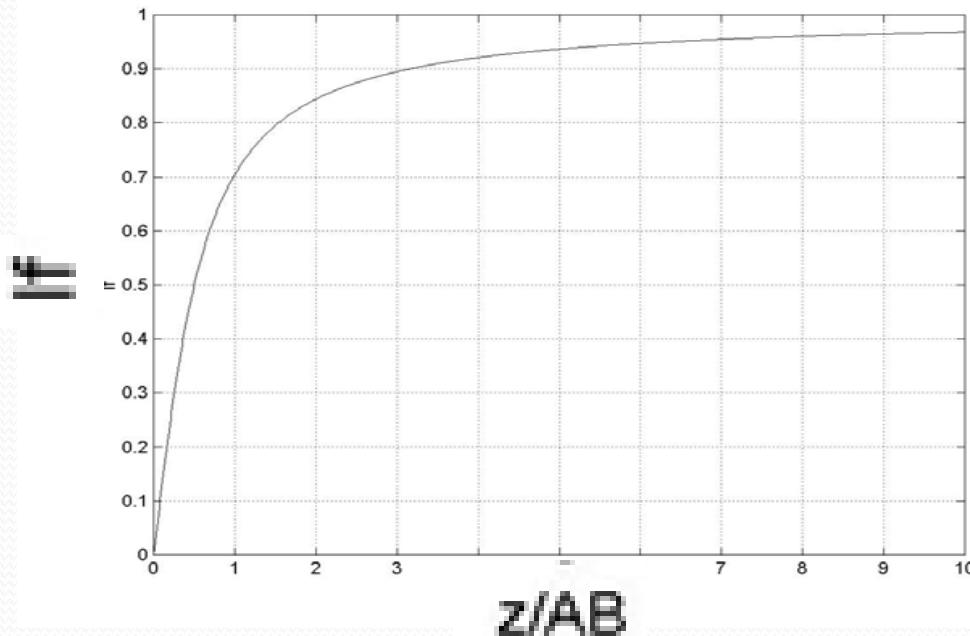
Ligne de courant	% de courant
1	17
2	32
3	42
4	49
5	51
6	57

## *Répartition du courant*

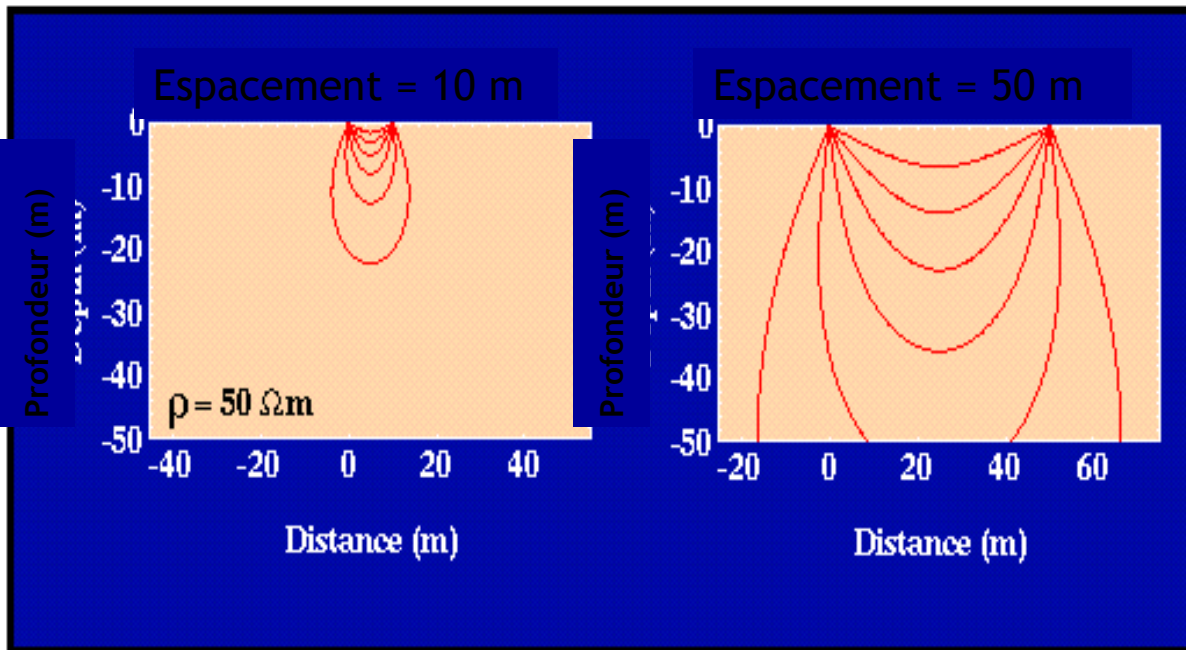
Au milieu des électrodes A et B, la quantité de courant passant sous une certaine profondeur  $z$  vaut :

$$I_f = \left( \frac{2}{\pi} \right) \tan^{-1} \left( \frac{2z}{AB} \right)$$

Cette pénétration du courant est illustrée par la figure suivante :



# Pénétration en fonction de l'écartement des électrodes de courant



50 % de tout le courant circule sur une profondeur inférieure à la séparation des électrodes. Pour augmenter la pénétration, on augmente la séparation des électrodes

On admet que pour un terrain homogène :

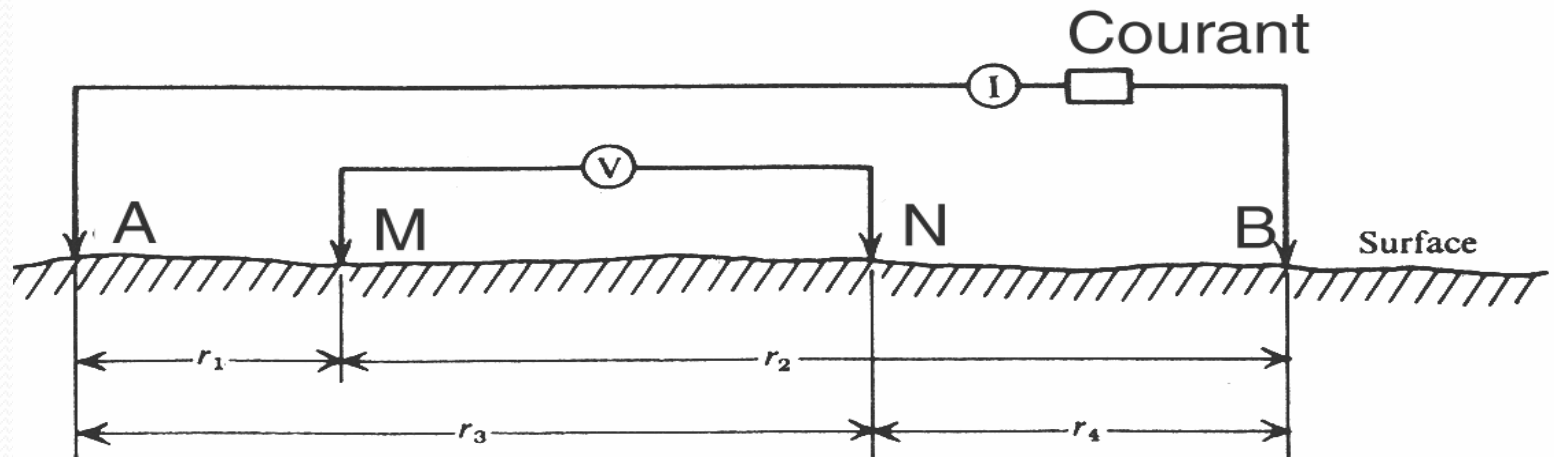
- 30% du courant se trouve entre la surface et une profondeur  $z=AB/4$ ,
- 50% *du courant entre la surface et  $z=AB/2$*
- 70% *du courant entre la surface et  $z=AB$ .*

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.

## Technique de mesure

### *Le quadripôle de mesure*

Nous avons vu que la mesure de la résistance entre deux prises conduit à une impasse (on ne mesure alors que la résistance de contact). Il est donc nécessaire de séparer le circuit d'injection du circuit de mesure. On utilise pour cela quatre électrodes AMNB dans la pratique. 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  $\Delta V$  créé par le passage du courant :





Un circuit complet de mesure se compose alors de :

### **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.

### **Les électrodes d'émission A et B**

Ces électrodes sont généralement constituées par des piquets d'acier.

***La mesure du courant  $I$  est effectuée à l'aide d'un ampèremètre.***

### **Le circuit de courant**

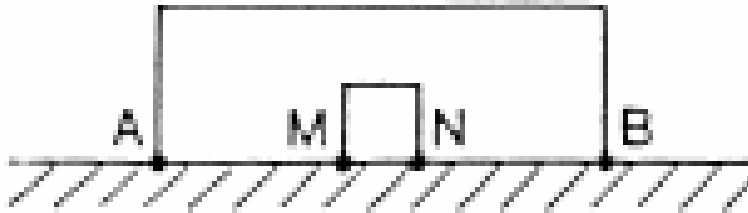
Ce sont des câbles en acier isolés.

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

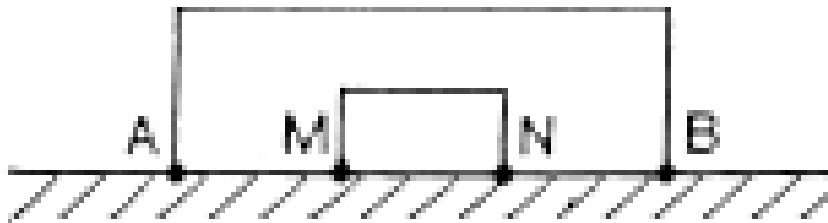
*La mesure de  $I$  ne pose pas en fait de réels problèmes, la mesure de  $\Delta V$  est plus délicate. En effet, dans le sol, M et N s'oxydent de façon différente et sont polarisées*

# Dispositifs

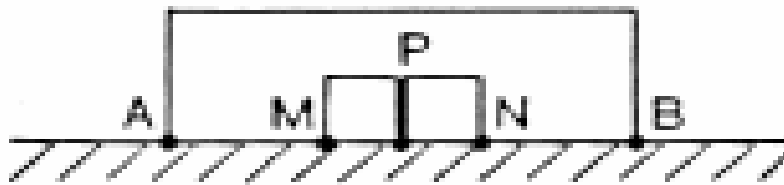
Pour la mesure de la résistivité apparente les dispositifs les plus variés peuvent être envisagés. Tout dispositif de mesure comporte en fait quatre électrodes, deux A et B, pour l'envoi de courant (circuit d'émission) et deux M et N, pour la mesure du potentiel  $\Delta V$  (circuit de mesure).



SCHLUMBERGER



WENNER


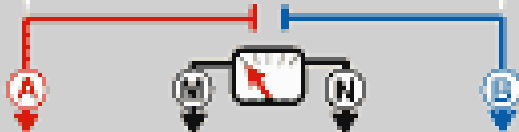
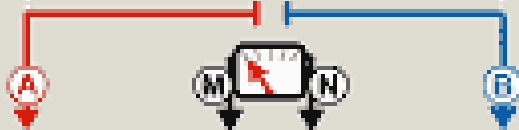

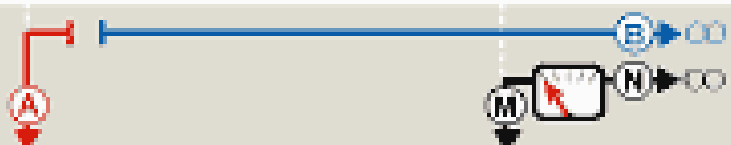


DISPOSITIF DE LEE

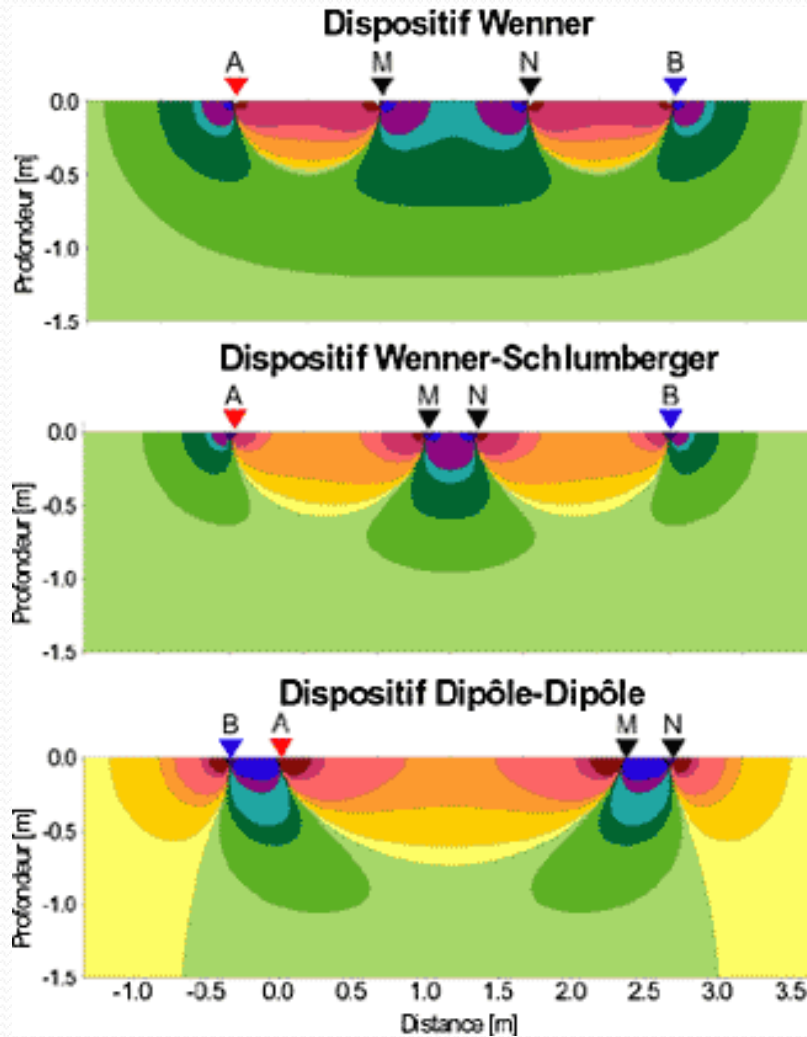


DIPÔLE

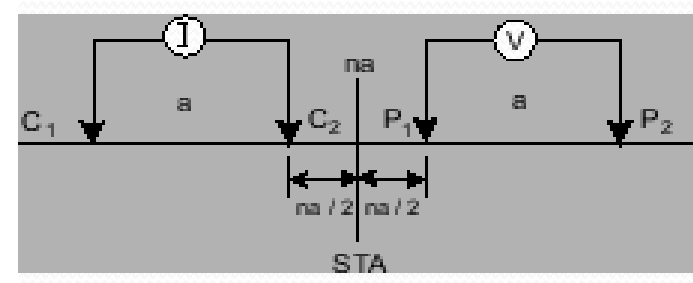
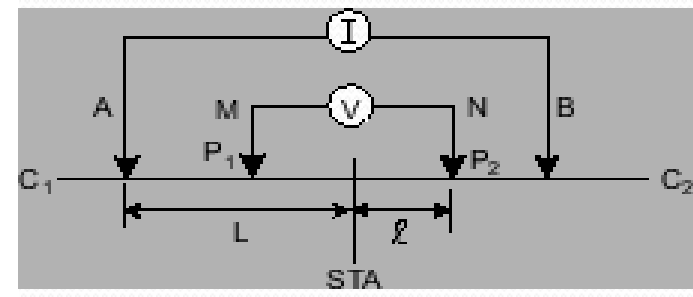
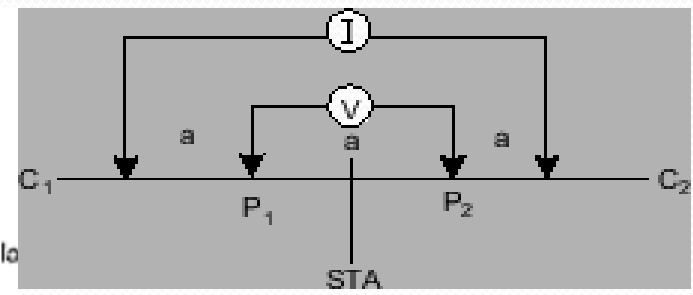
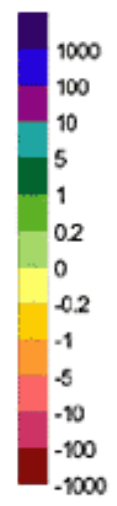
# Dispositifs

Dispositifs		Prof. d'investigation	
		Roy (1971)	Barker (1989)
Wenner		0.11L	0.17L
Schlumberger		0.125L	0.19L
Dipôle-Dipôle		0.195L	0.25L
Pôle-Pôle		0.35L	

# Sensibilités des dispositifs



Valours de la fonction de sensibilité



# Considerations 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.
- Lorsqu'il s'agit de mettre en évidence des structures horizontales, si votre terrain n'est pas trop bruité et que vous disposez de peu de temps, utiliser un dispositif Wenner.  
Enfin, en 3D, utiliser un dispositif pôle-pôle ou Dipôle-Dipôle.

# **Première technique de prospection électrique: les cartes de résistivités apparentes**

## ***Principe***

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 résistivités apparentes.

Comme on « traîne » un câble sur le terrain, on parle aussi de traîner électrique.

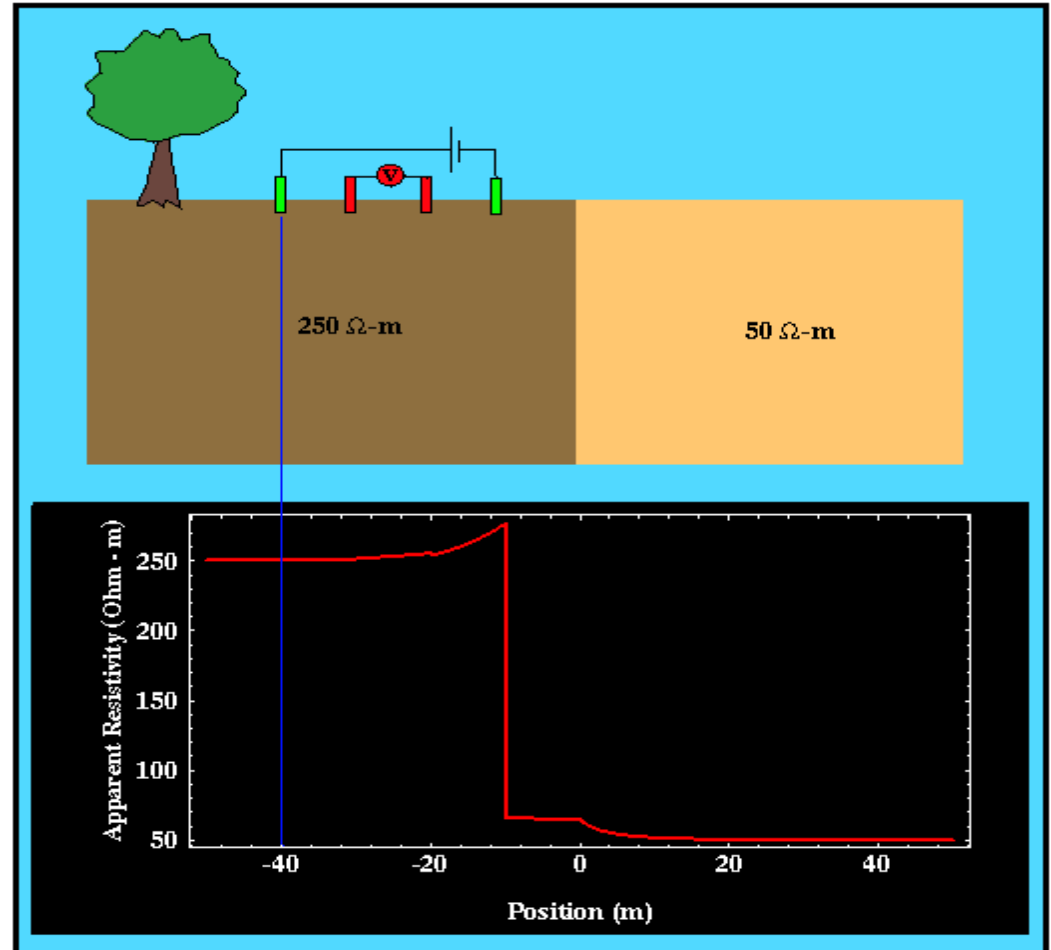
Une carte de résistivité apparente dessinée à partir de plusieurs profils est une carte des anomalies relatives qui se rapporte à une longueur et une orientation sensiblement constante de tout le dispositif de mesure.

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 largeur déterminées. **On sera sensibles à des variations horizontales de la résistivité.**

Les dimensions du dispositif seront donc choisies en fonction du problème à traiter. Il est souvent nécessaire de dresser des cartes avec plusieurs longueurs de ligne pour pouvoir interpréter correctement les résultats.

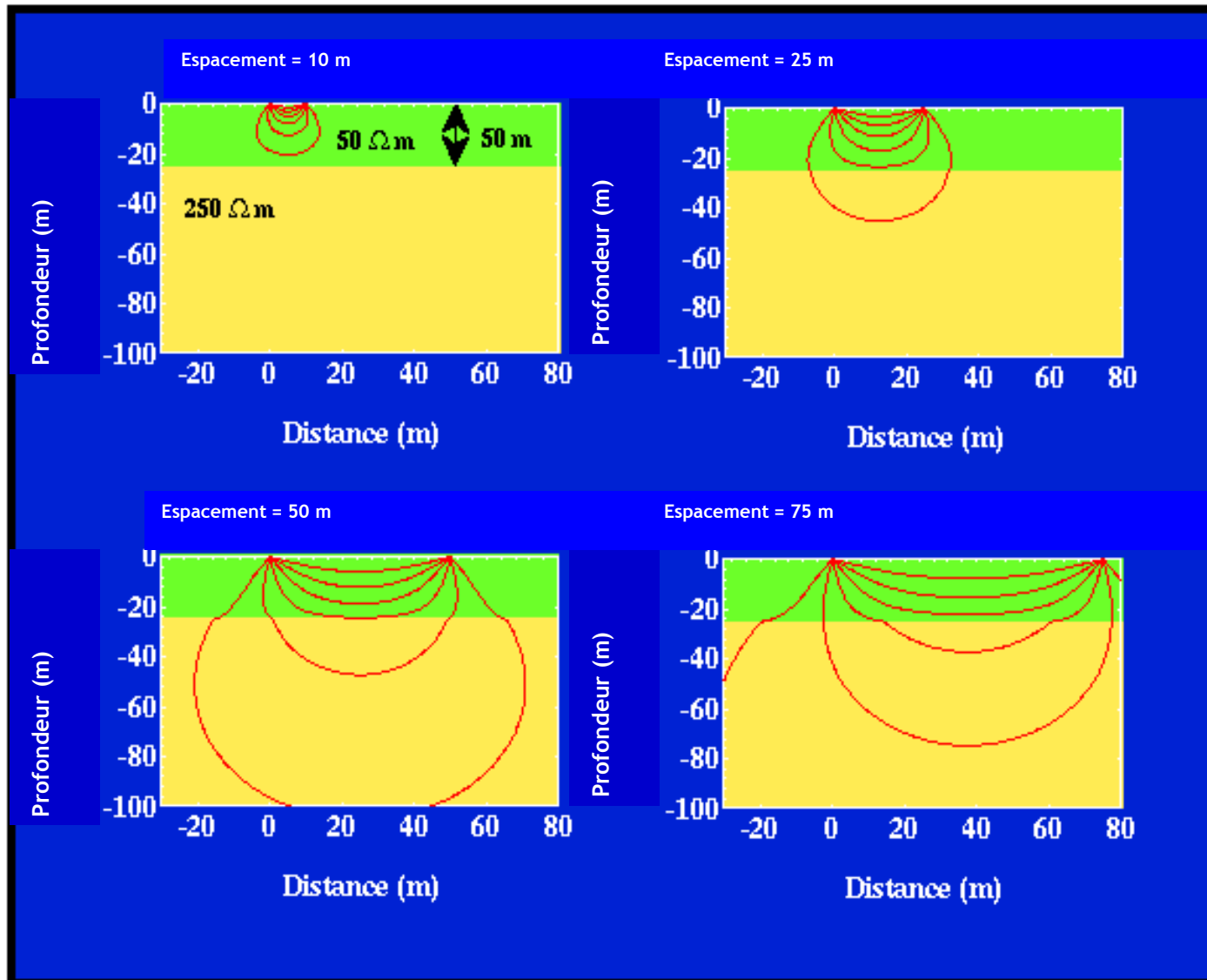
# Modes de mesure : profilage et sondage (carte de résistivité)

Profilage

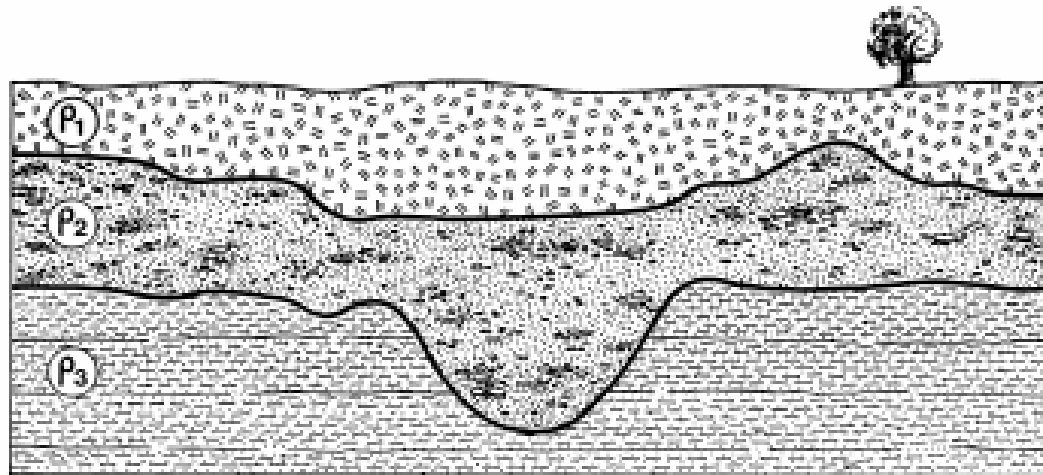
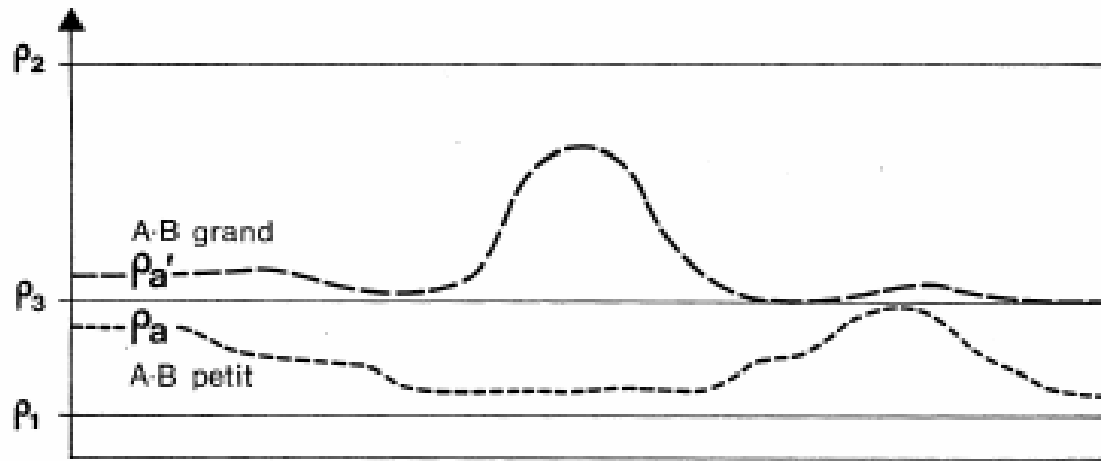




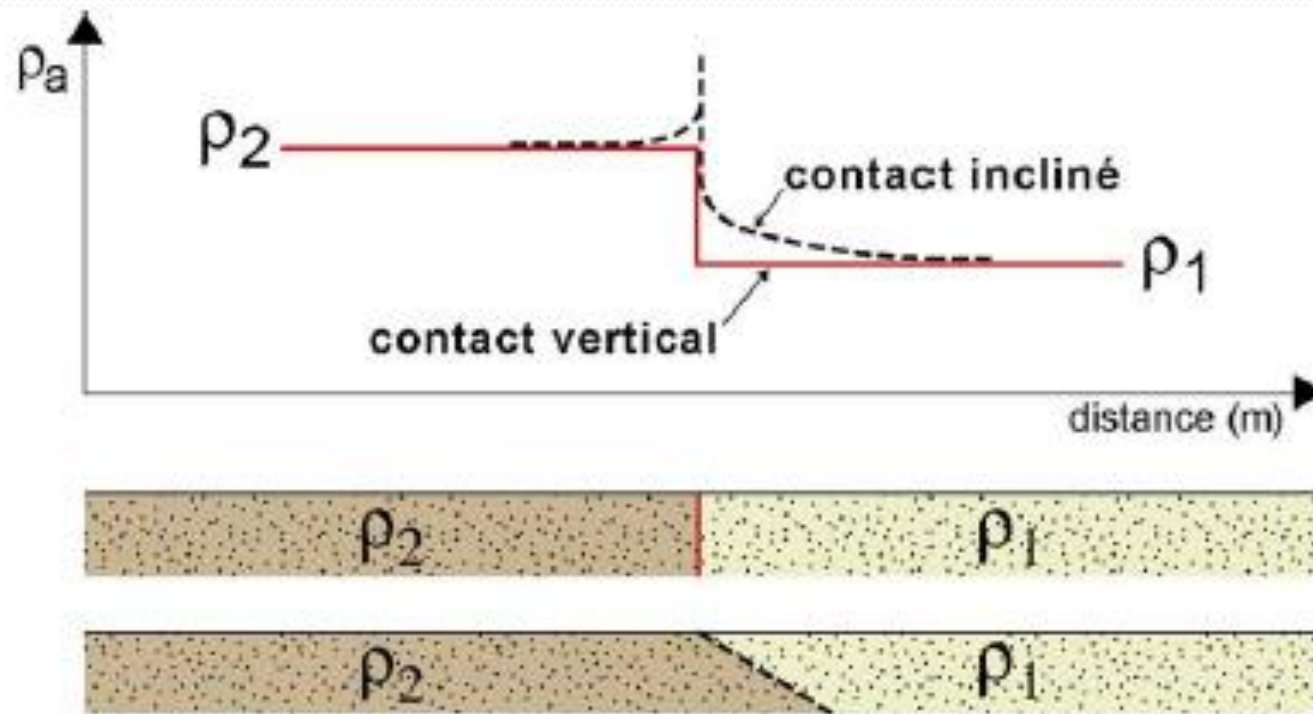
# Profilage a différentes profondeur



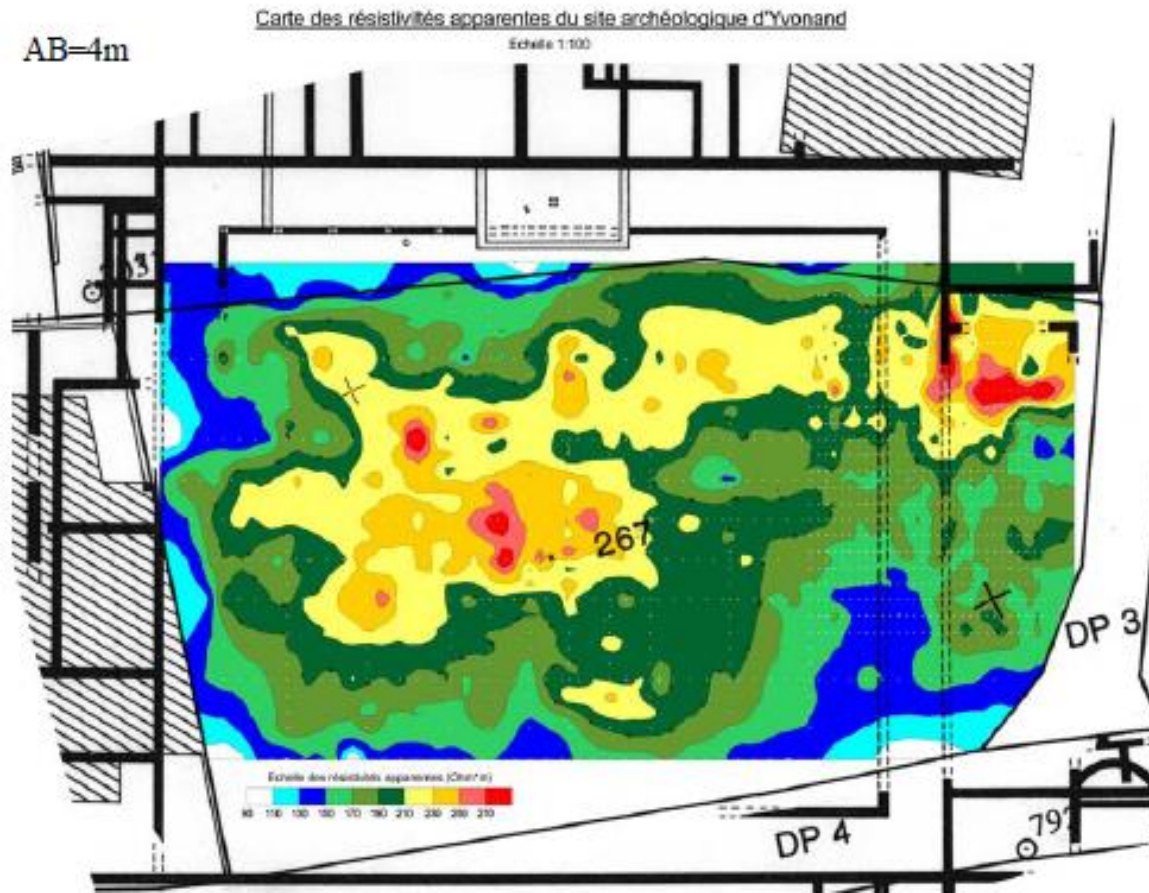
# Profil de résistivité



## Exemple : Effet d'un contact vertical (mur)

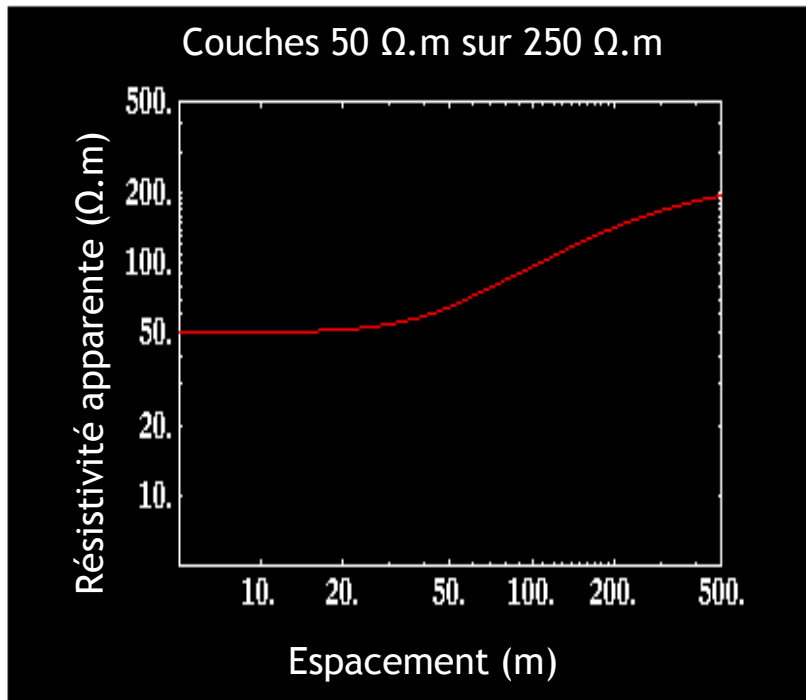


# Exemple de Carte de Résistivité

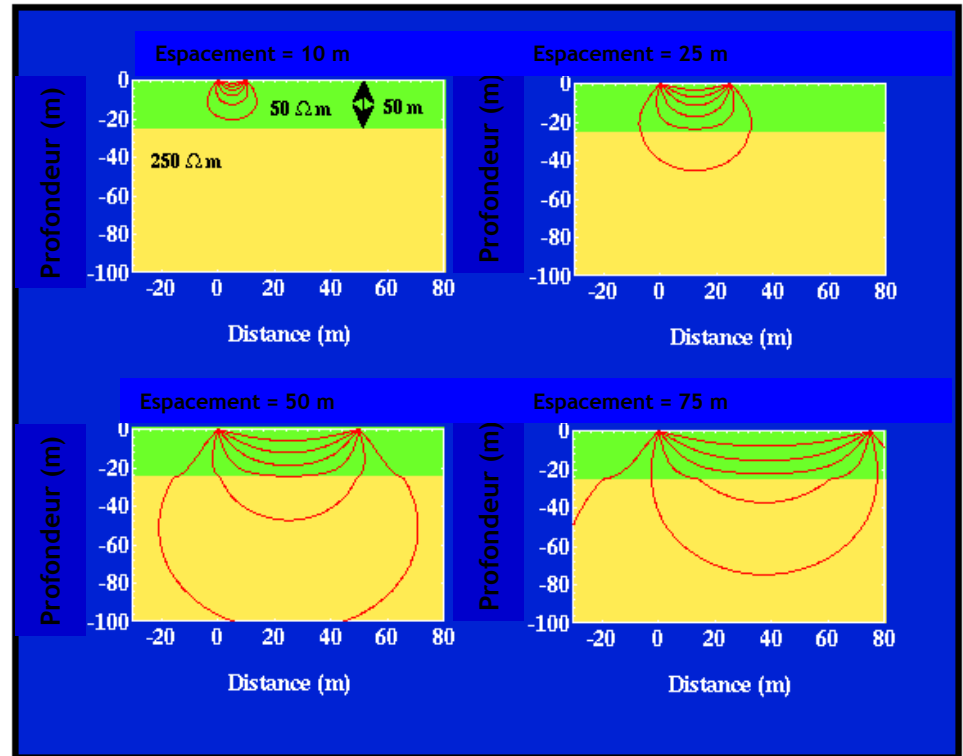


# Sondage

Courbe de sondage



Sondage





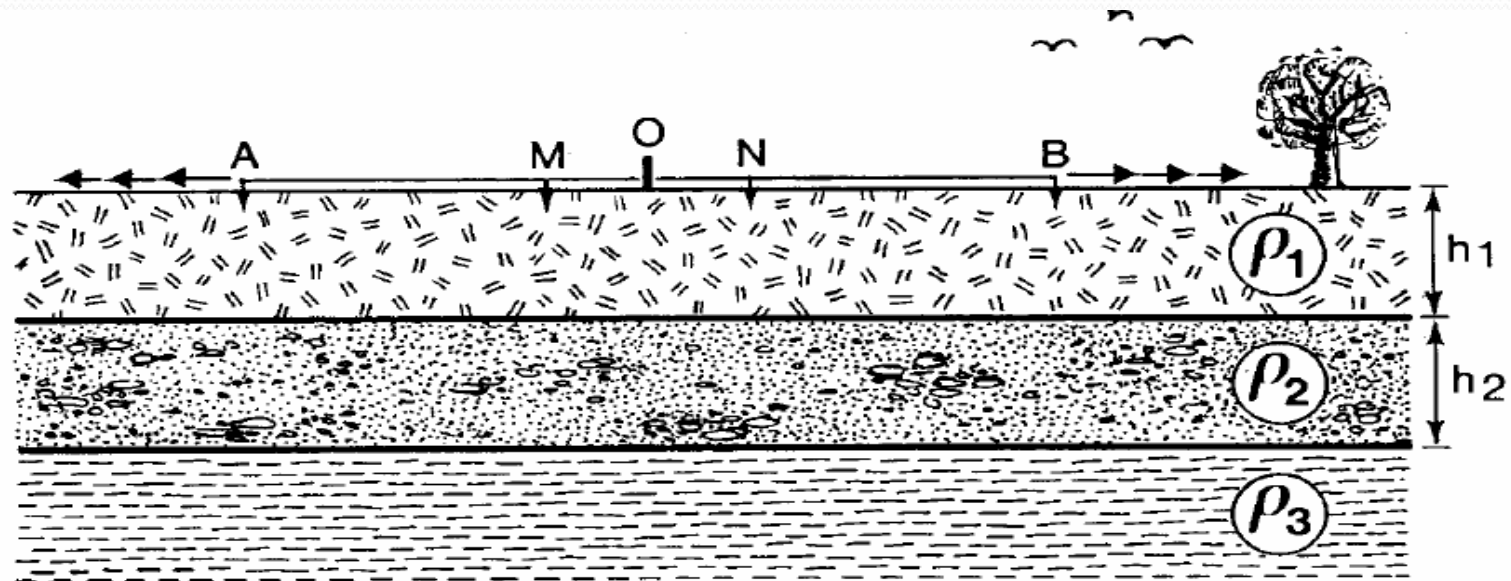
Deuxième technique de prospection électrique :

les sondages électriques

# Principe

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 les dimensions du dispositif et de ce fait la profondeur d'investigation qui 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. Dans la pratique cependant, on n'utilise guère 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



9 — La mise en œuvre des sondages électriques.



On représente la résistivité apparente mesurée ( $\rho_a$ ) en fonction de l'espacement du dispositif (OA) sur du papier bi logarithmique (voir figure plus loin). La courbe obtenue est appelée « **courbe de sondage électrique** ». **Diverses méthodes d'interprétation permettent de restituer à partir de cette courbe une coupe géo électrique du sous-sol** ou chaque formation sera définie par son épaisseur et sa résistivité vraie.

Cette méthode n'est applicable avec quelque rigueur que lorsque les terrains sont constitués de couches horizontales uniformes latéralement. En effet pour qu'un sondage électrique reflète les variations de la résistivité avec la profondeur il ne faut pas que les mesures soient affectées par des variations à l'horizontale. Il importe donc lors de l'exécution des sondages électriques d'éviter autant que faire se peut les variations à l'horizontale des résistivités. Des cartes de résistivité apparente effectuées au préalable permettent de placer judicieusement les sondages électriques

La figure ci-dessous illustre une feuille d'acquisition pour une 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 : \_\_\_\_\_

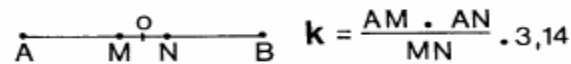
SONDAGE N° : \_\_\_\_\_

DATE : \_\_\_\_\_

COORDONNEES : \_\_\_\_\_

OPERATEUR : \_\_\_\_\_

COTE : \_\_\_\_\_



$$Pa = k \frac{\Delta V}{I}$$

k pour

MARQUES	O-A en m	$\overline{MN}$ 1 m	$\overline{MN}$ 10 m	$\overline{MN}$ 60 m	$\overline{MN}$ 200 m	$\Delta V$ en millivolts	I en milliampères	$P_a$ en ohm-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						

## ***Les différents types de sondages électriques***

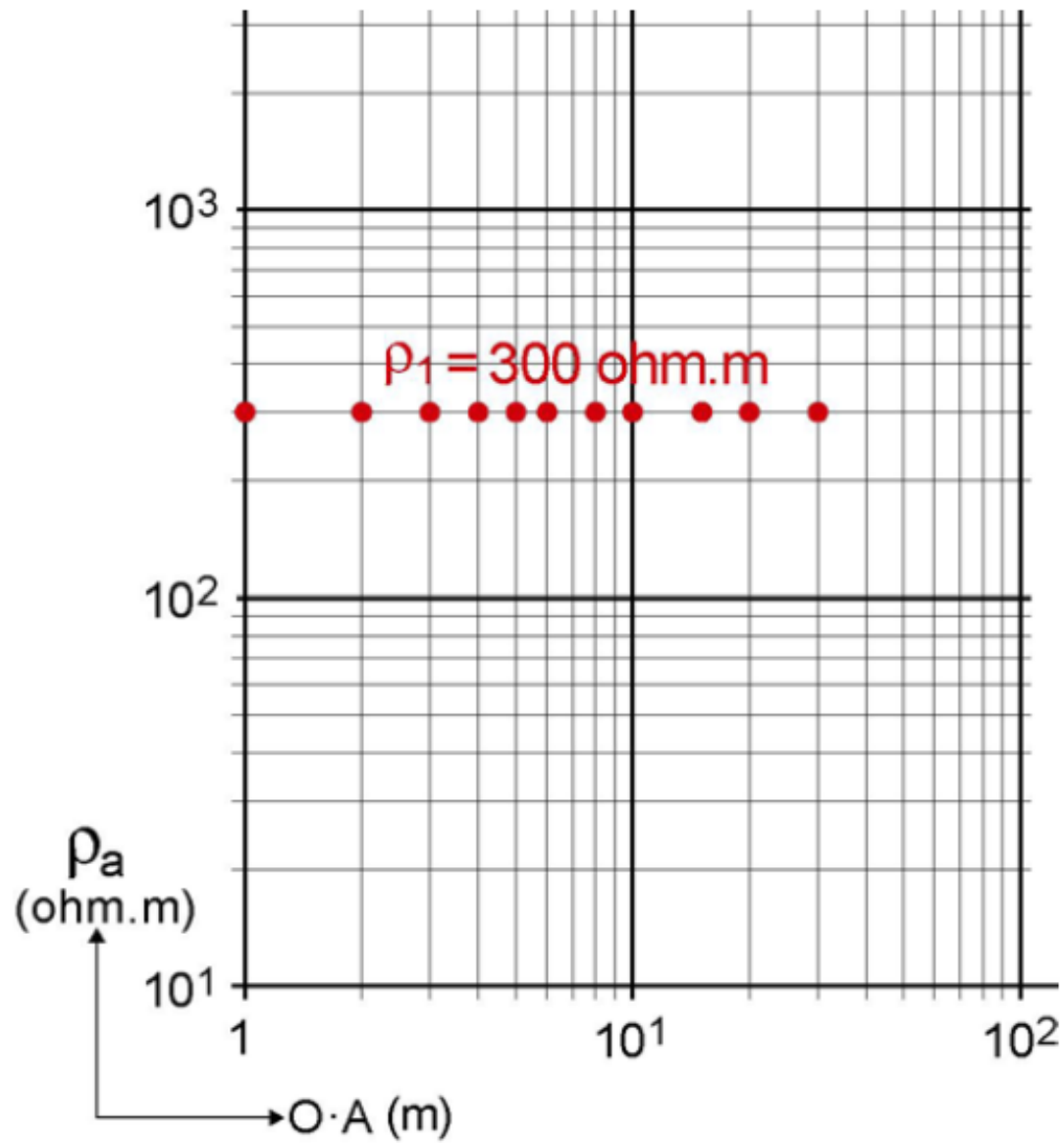
La forme des courbes obtenues par sondage électrique au dessus de milieux stratifiés est une fonction de la résistivité, de l'épaisseur des couches et de la configuration du dispositif de mesure.

### **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.

### **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  $\rho_2$



## Milieu à deux couches

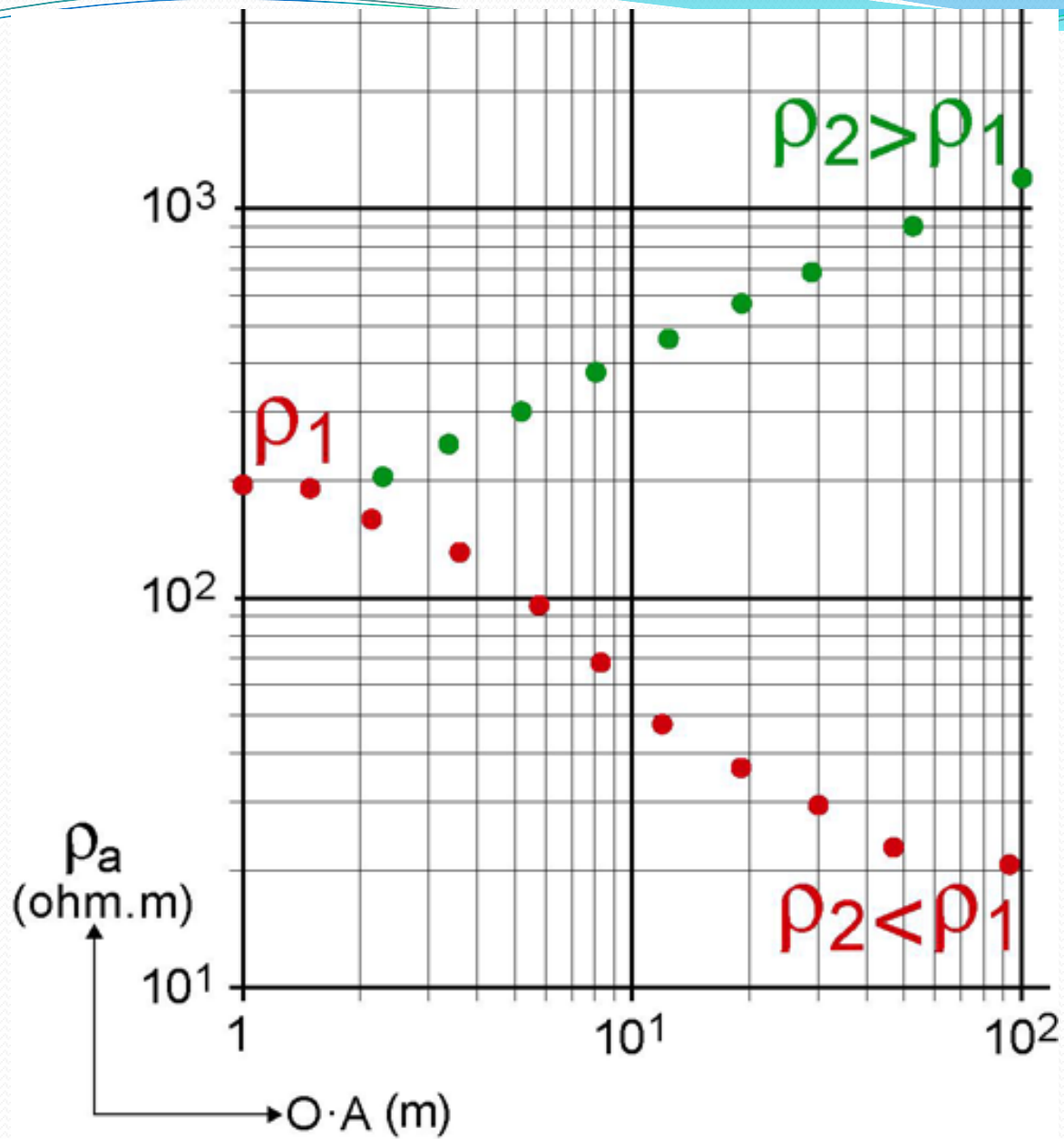
Si le sous-sol est composé de deux couches, une première couche d'épaisseur  $h1$  et de résistivité  $\rho1$  surmontant un substratum d'épaisseur infinie et de résistivité  $\rho2$ , alors le sondage électrique débute, pour les petits espacements, par une portion de ligne droite ou la résistivité apparente  $\rho_a$  est plus ou moins égale à la résistivité  $\rho1$  du premier terrain. Puis, à fur et à mesure que l'espacement augmente, la courbe monte ou descend selon que  $\rho2$  est plus grande ou plus petite que  $\rho1$  et finalement atteint une valeur asymptotique qui est celle de  $\rho2$ .

L'espacement OA auquel on atteint la valeur de  $\rho2$  dépend de trois facteurs:

- L'épaisseur de  $h1$
- 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  $\rho_2 / \rho_1$ .

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 couche à partir des résistivités apparentes mesurées), un programme doit être utilisé



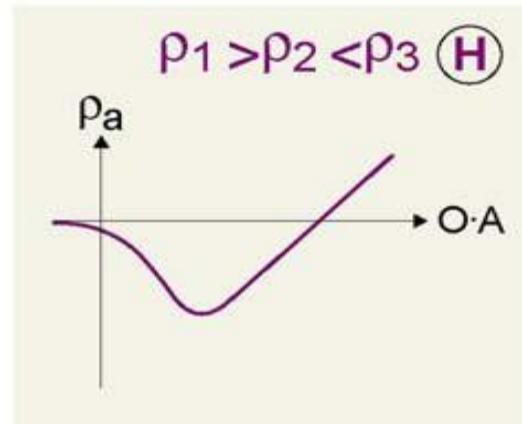
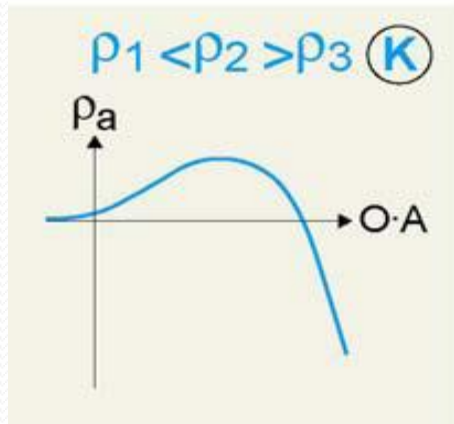
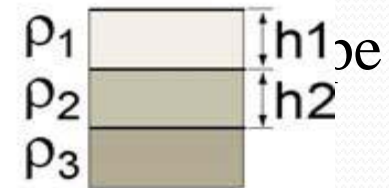
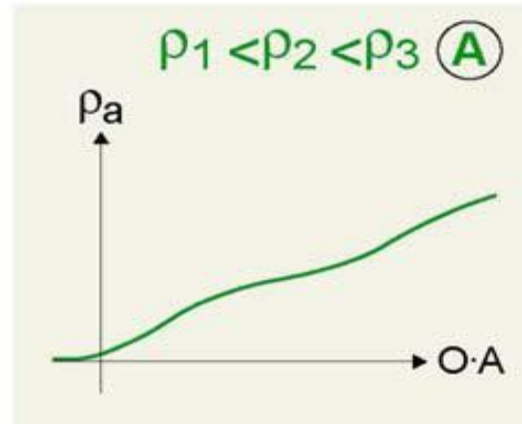
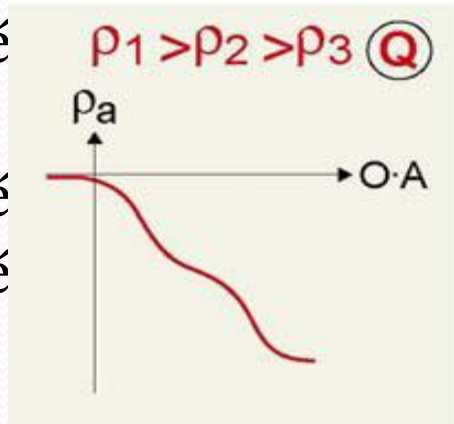
# Milieu à trois couches (et plus...)

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

1. Conducteur compris entre deux résistants, sondage de type **H**

2. Ré  
**K**

3. Ré  
4. Ré





Après avoir déterminé à quel type de courbe correspond notre sondage nous allons interpréter ce sondage afin de trouver  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$ , et  $h_1$ ,  $h_2$ .

*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.*

Remarque:

Une courbe de sondage électrique avec des mesures contenant du bruit peut correspondre à des répartitions très différentes des résistivités et des épaisseurs, ce qui peut conduire à une indétermination.

# Interprétation des sondages électriques

Il y a **plurivocité de l'interprétation (plusieurs solutions possibles)**.

**Cette** indétermination se manifeste sous deux formes particulières qui ont reçu le nom de **principe d'équivalence (impossibilité de déterminer de manière indépendante la résistivité et l'épaisseur d'une couche, sous certaines conditions de contrastes de résistivité) et de suppression (une couche de résistivité intermédiaire peut disparaître)**.

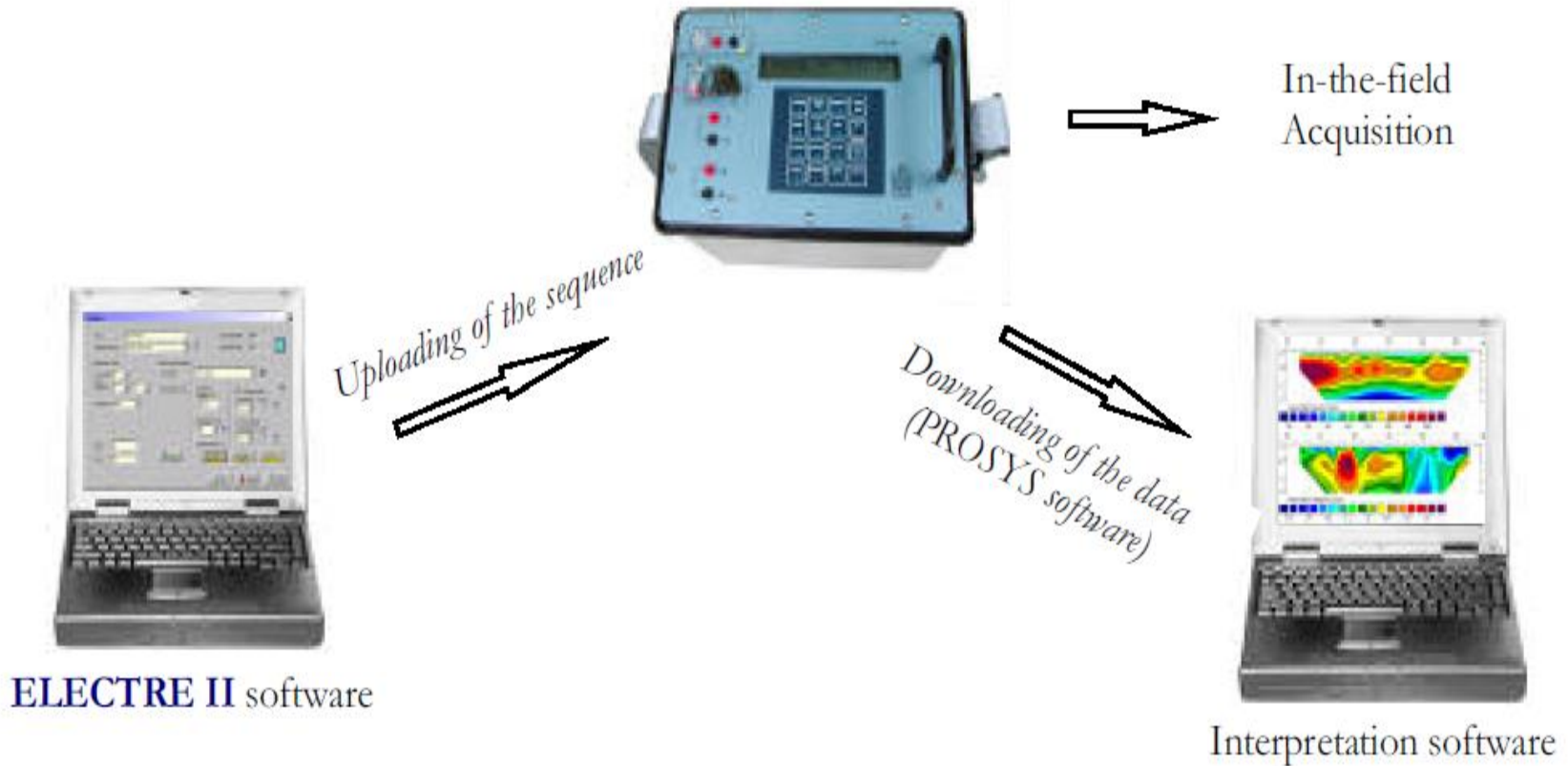
Des informations a priori (mesures sur échantillons par exemple) sont souvent nécessaires pour interpréter correctement les sondages électriques.

Là encore, un programme doit être utilisé pour interpréter ces sondages à plusieurs couches.

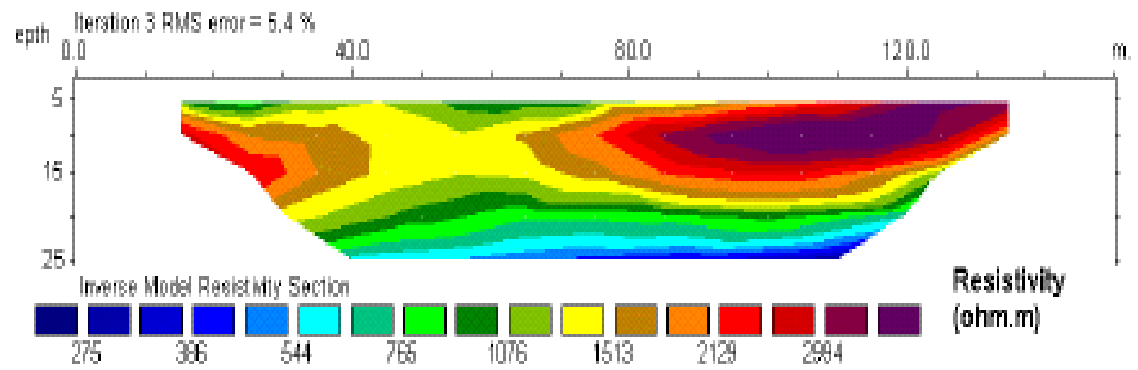
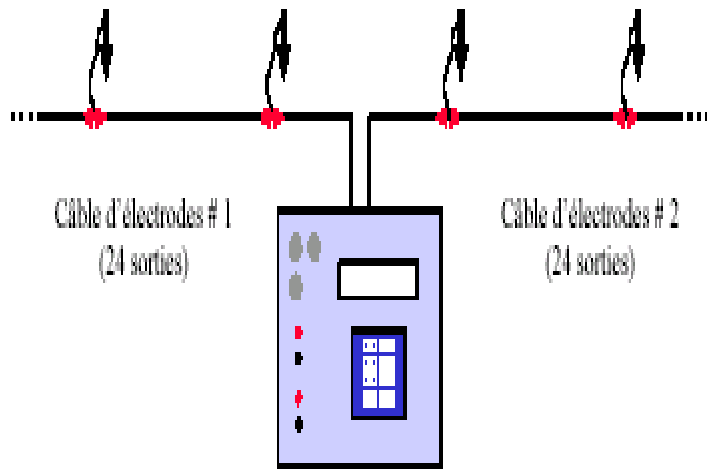
# Tomographie de résistivité (TR)

- Profilage et sondage simultanés
- Représentation : pseudo-section
- Image du modèle de résistivité : inversion des mesures

# Profilage et sondage simultanés

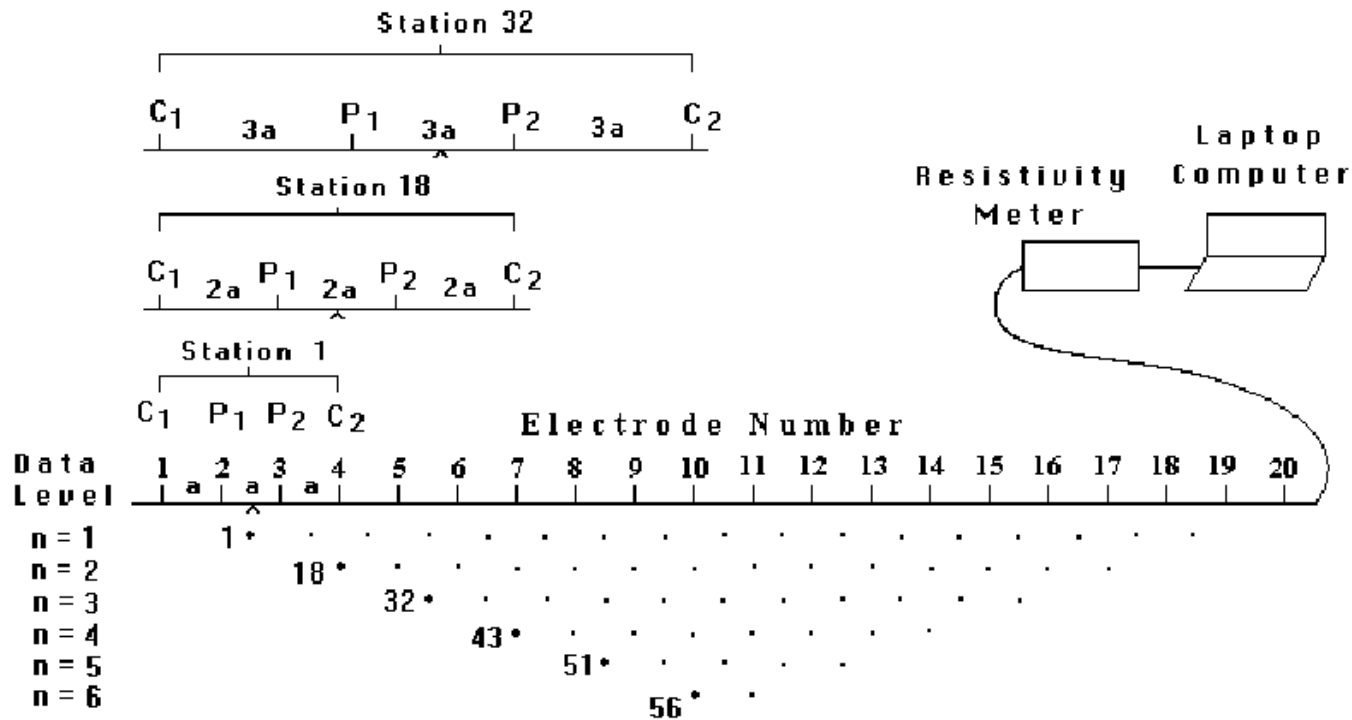


# Profilage et sondage simultanés



*Interprétation en résistivité (section 2D de résistivité vraie)*

# PROCÉDURE DE TERRAIN



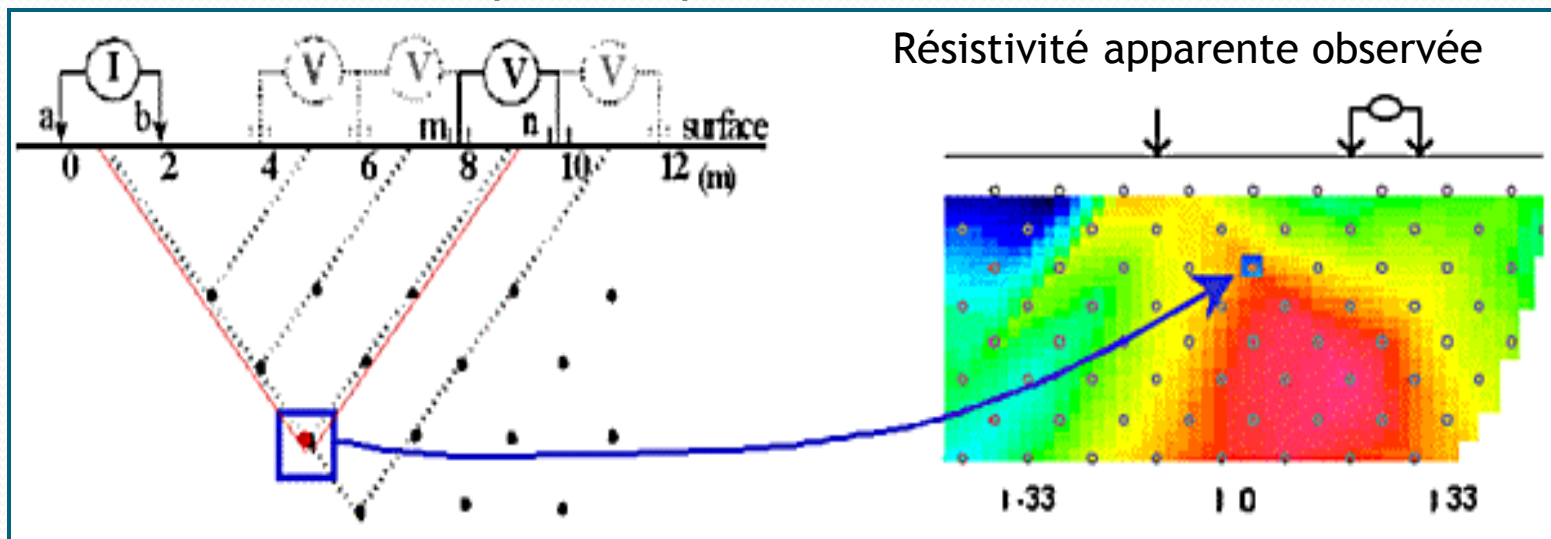
Sequence of measurements to build up a pseudosection

Figure 5. The arrangement of electrodes for a 2-D electrical survey and the sequence of measurements used to build up a pseudosection.

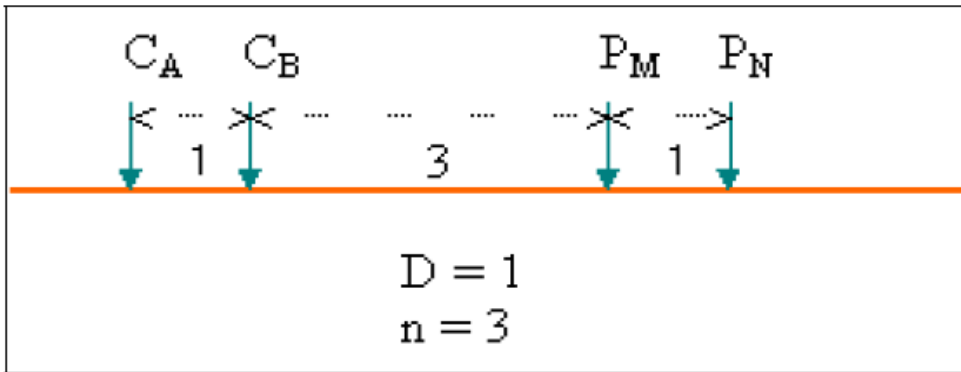
# Représentation : la pseudo-section

Les données mesurées  $\rho_a$  sont présentées en sections de contour ou de couleur. L'axe vertical est une pseudo-profondeur proportionnelle à l'écartement des électrodes. La mesure est reportée au point:

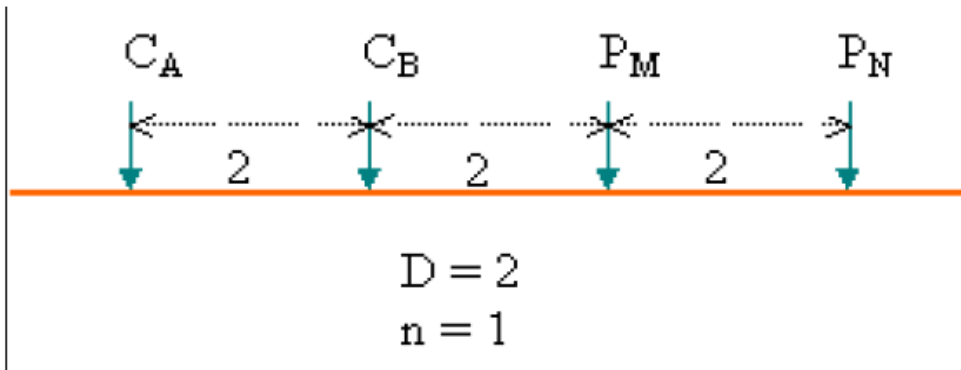
- d'abscisse = milieu du dispositif utilisé
- d'ordonnée = pseudo-profondeur.



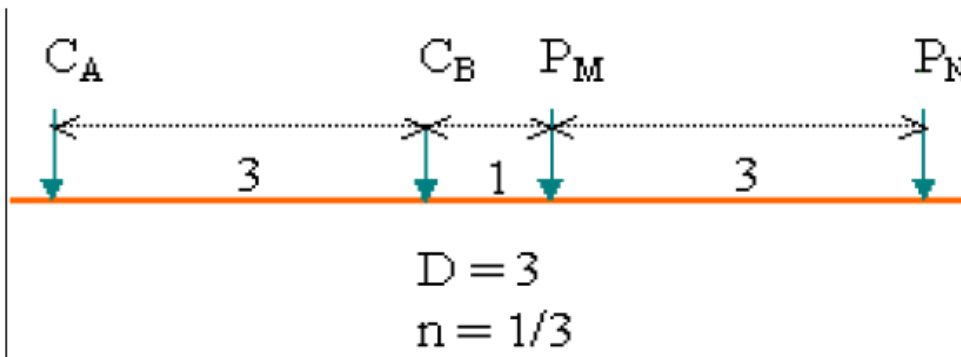
# DISPOSITIF DIPOLE -DIPOLE



first spacing:  $D = 1 \times a$



second spacing:  $D = 2 \times a$



third spacing:  $D = 3 \times a$



## Dipole-Dipole

CA, CB: current electrodes

PM, PN: potential electrodes

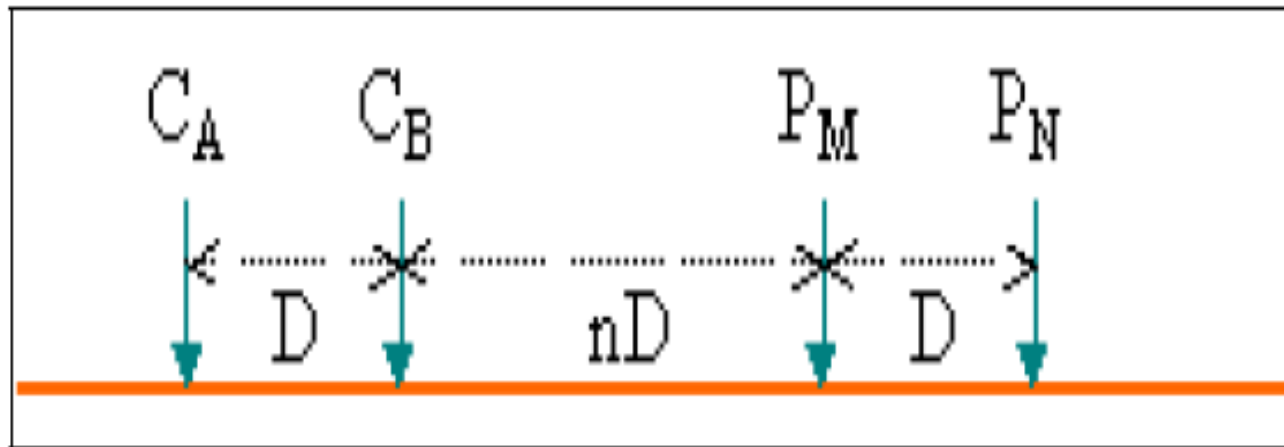
CA CB = PM PN = D (=a for the first spacing)

CB PM = nD

a = minimal distance between the electrodes

n = separation factor between the current and potential electrode pairs (related to the depth level)

For the first spacing "D = a" one



## Pole-Dipole

CA, CB: current electrodes

PM, PN: potential electrodes

CA is the remote electrode (far from the CB, PM and PN electrodes).

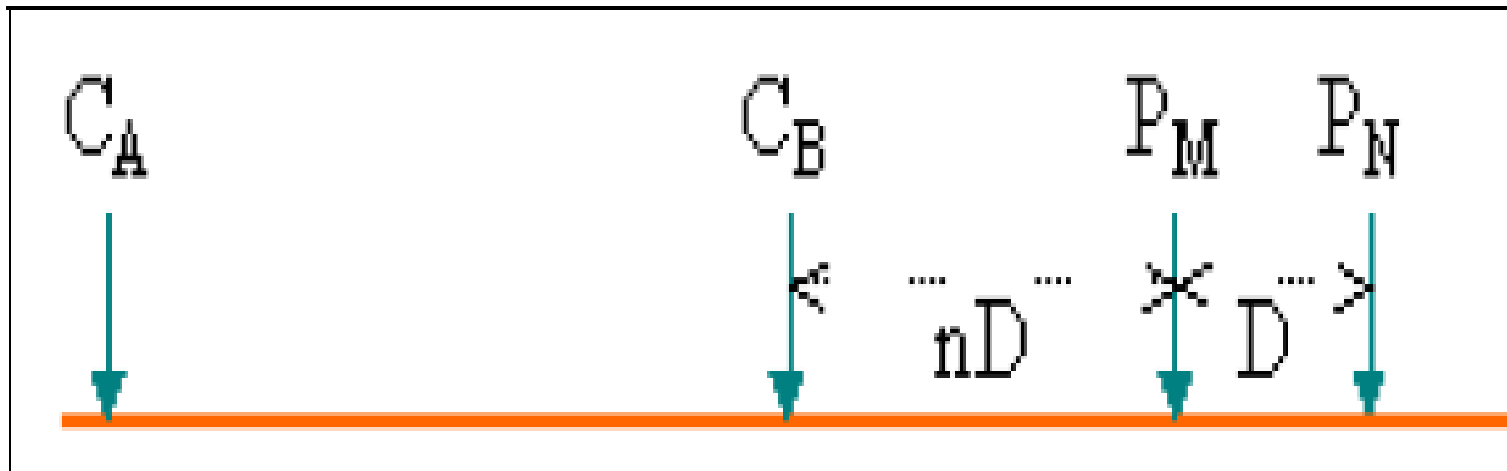
PM PN = D (=a for the first spacing)

CB PM = nD

a = minimal distance between the electrodes

n = ratio of the distances between CB PM and PM PN (related to the depth level)

For the first spacing "D = a"



## Pole-Pole

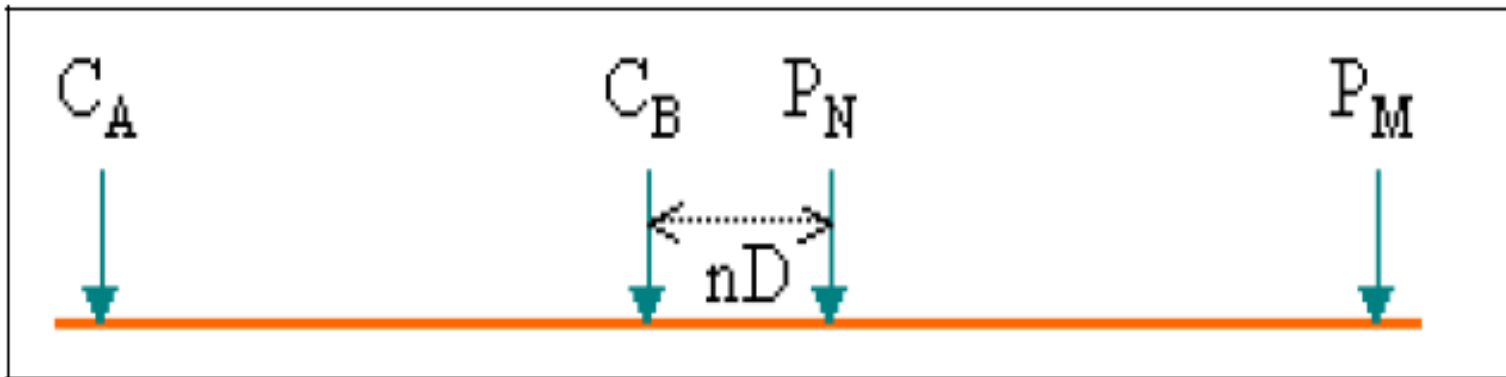
CA, CB: current electrodes

PM, PN: potential electrodes

CA et PM are the remote electrode (far from the CB and PN electrodes).

CB PN =  $nD$

$n$  = separation factor between CB and PN (related to the depth level).



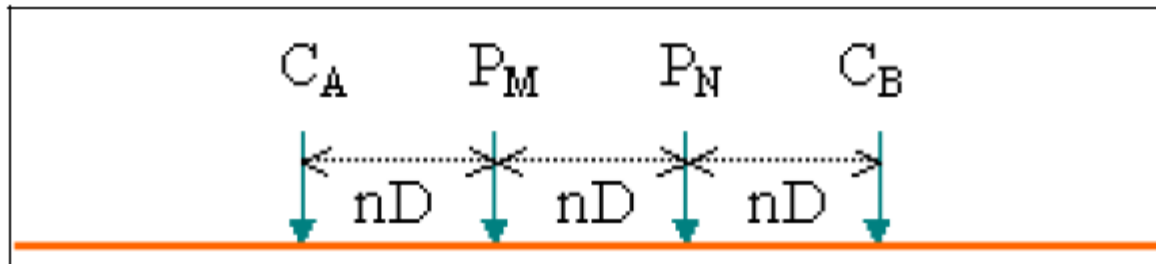
## Wenner

CA, CB: Electrodes de Courant

PM, PN Electrodes de Courant

CA PM / PM PN = 1 (particular case of the **Wenner-Schlumberger array**)

n: depth level

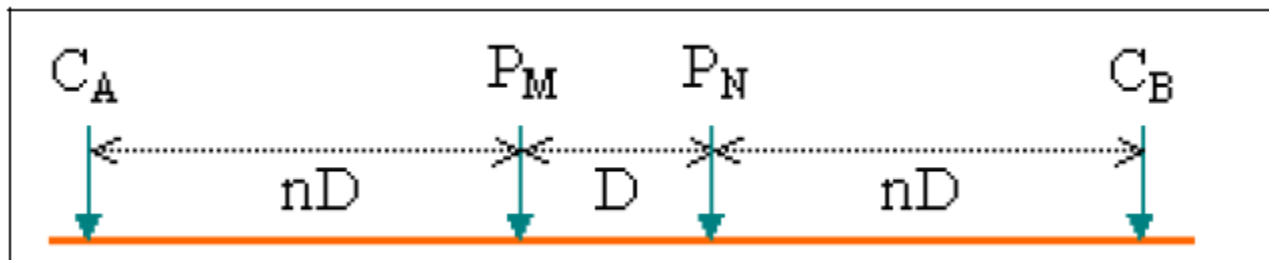


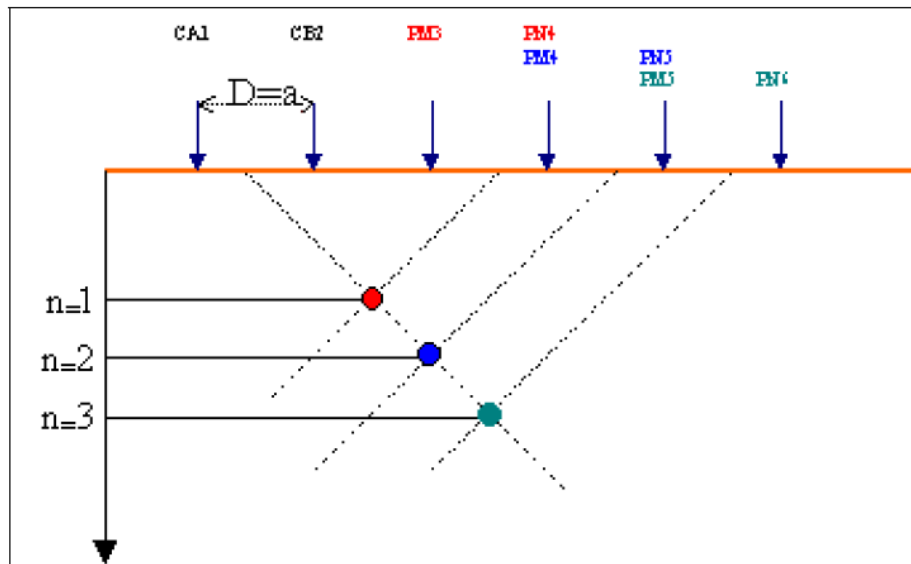
## Dispositif Wenner-Schlumberger

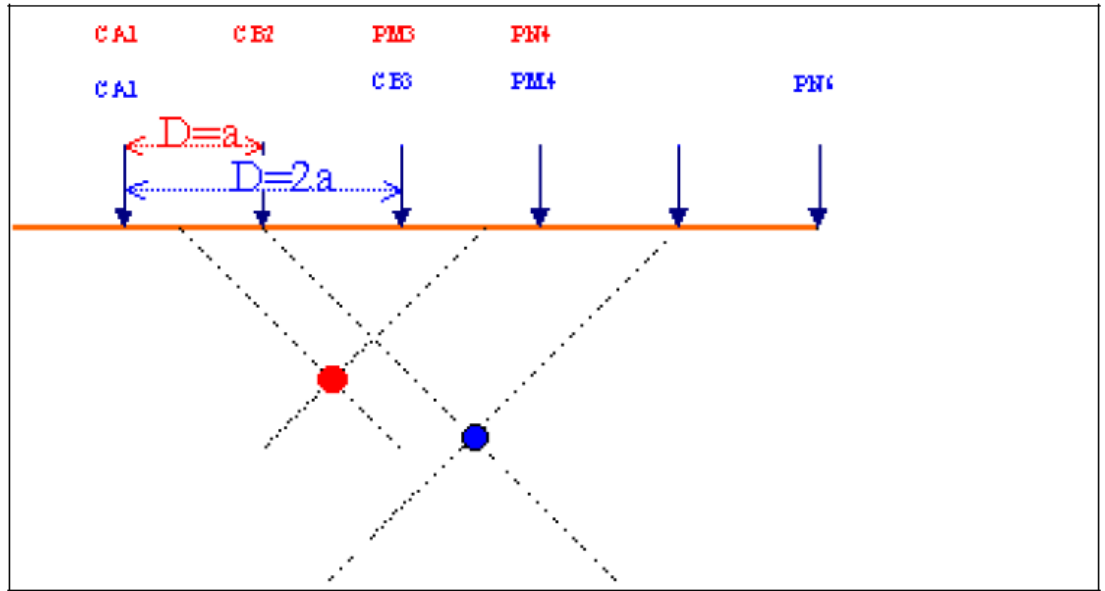
CA, CB: Electrodes de Courant

PM, PN: Electrodes de Potentiels

n = ratio of the distances between CA PM and PM PN (related to the depth level) , For the first spacing "D = a"









Set of sequences

# 1

Sequence

Comments :

- Sequence 1

New

Open

Modify

Delete

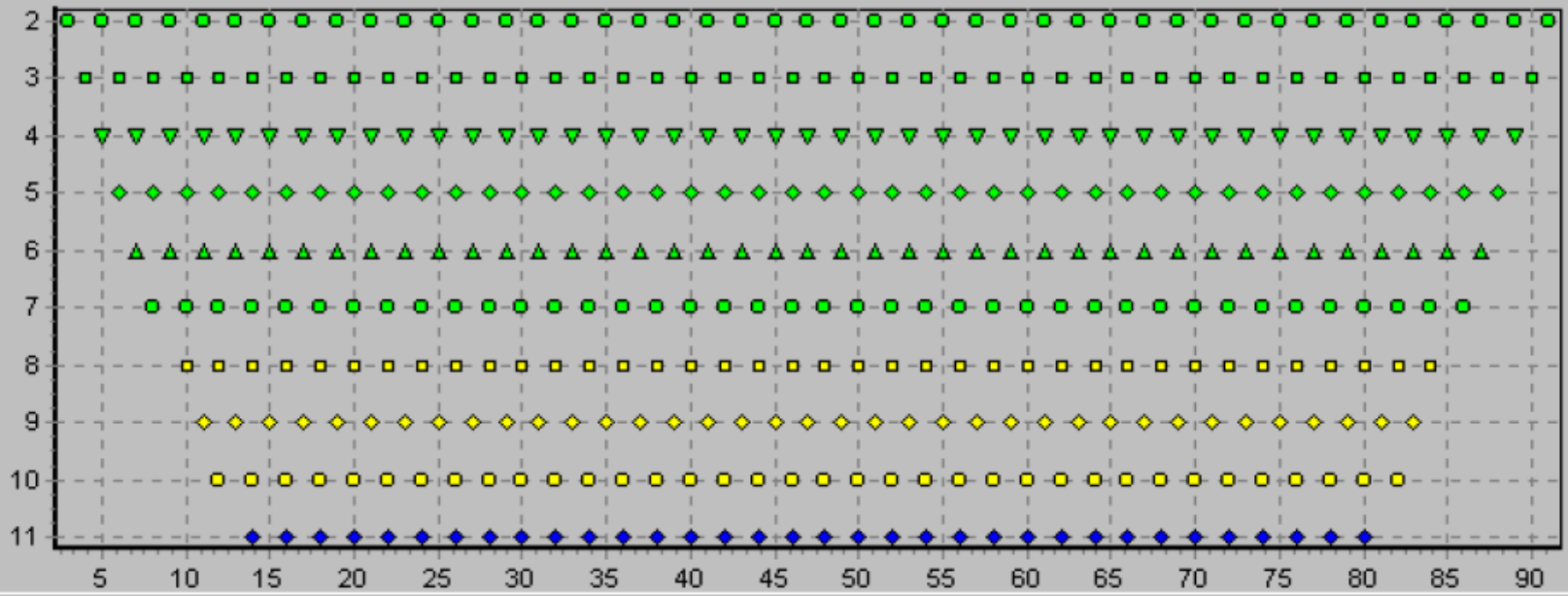
Empty text area for comments

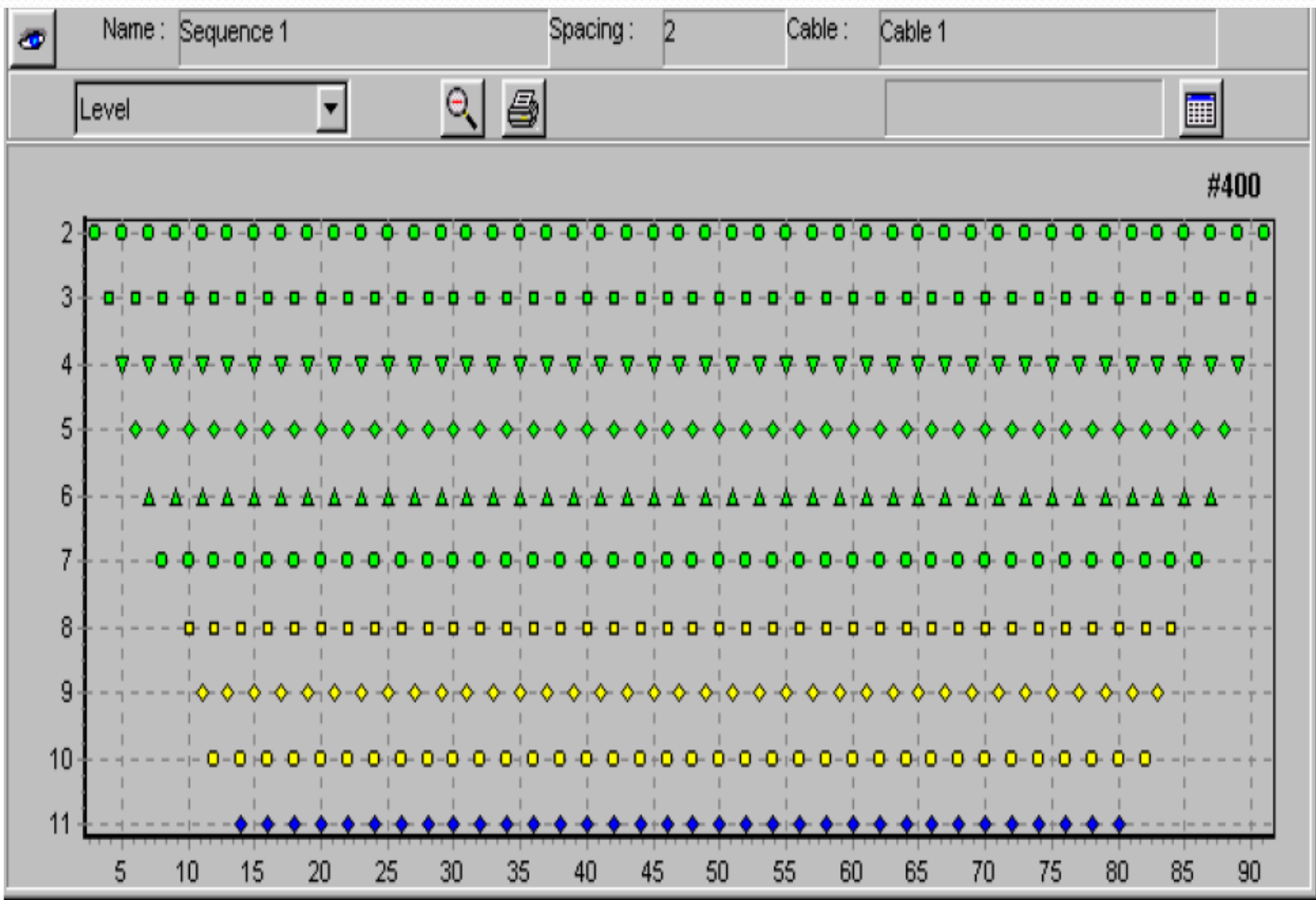


Name : Sequence 1 Spacing : 2 Cable : Cable 1

Level [dropdown] [magnifying glass] [print] [calendar]

#400









Name : Sequence 1 RA

Spacing : 2

Cable : Cable 1

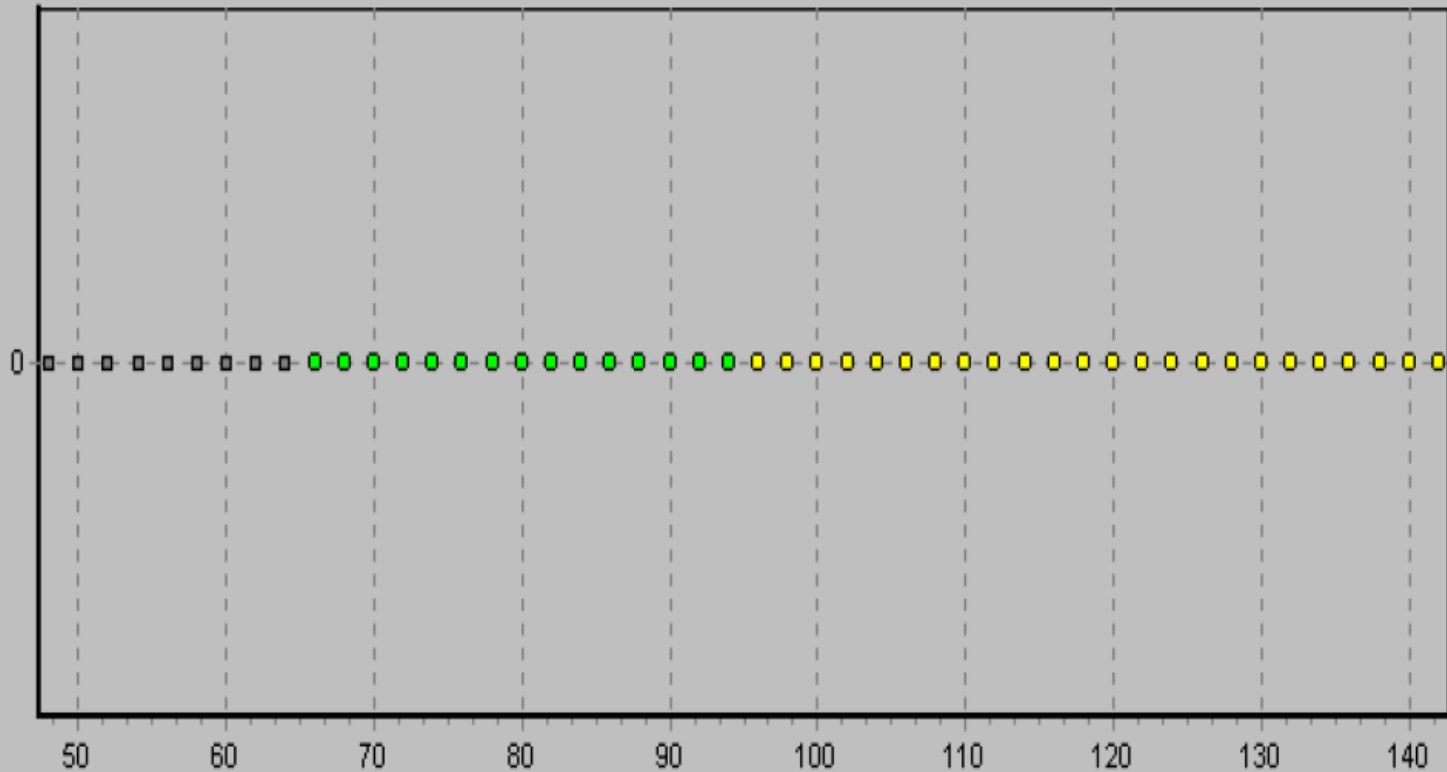
Cable array



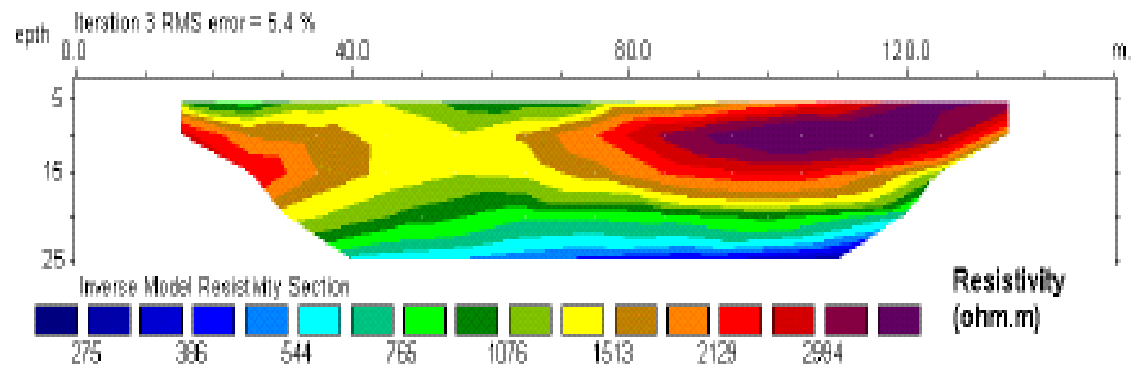
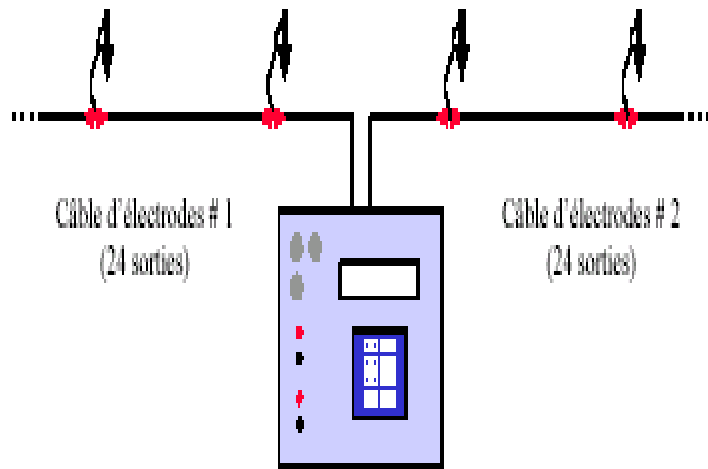
X = 96.0 / Y = 0.0



#48

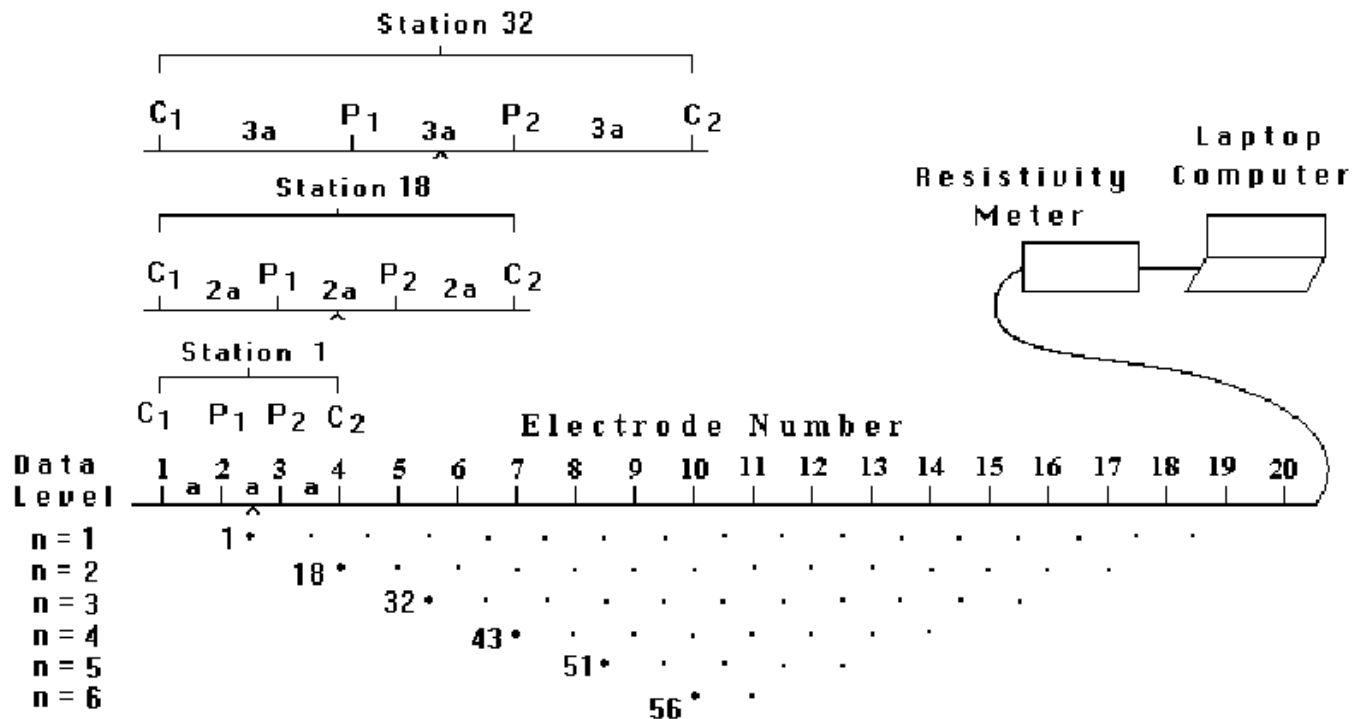


# Profilage et sondage simultanés



*Interprétation en résistivité (section 2D de résistivité vraie)*

# PROCÉDURE DE TERRAIN



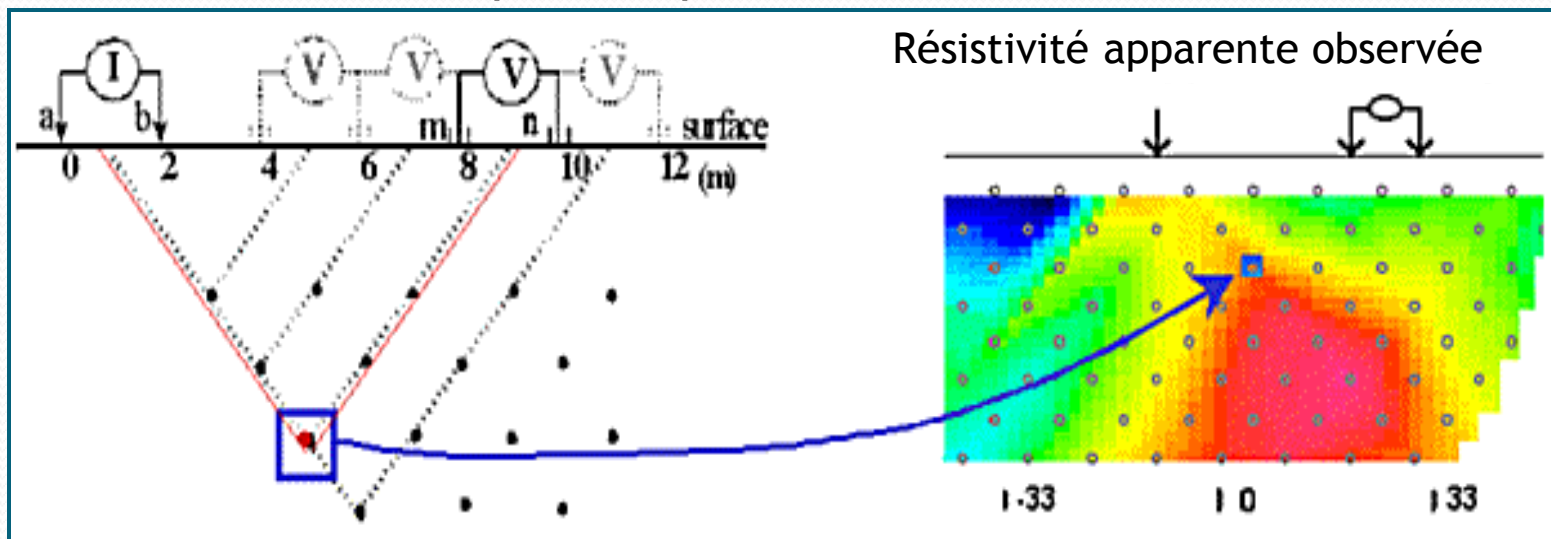
Sequence of measurements to build up a pseudosection

Figure 5. The arrangement of electrodes for a 2-D electrical survey and the sequence of measurements used to build up a pseudosection.

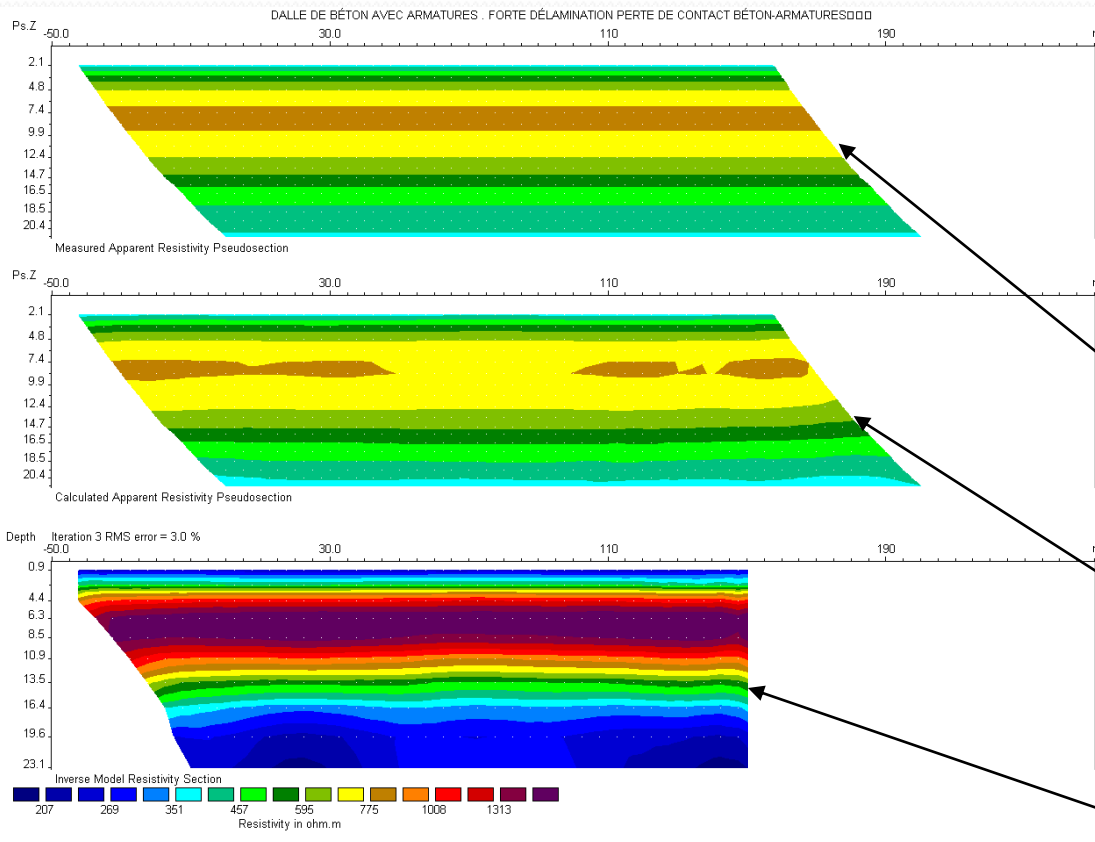
# Représentation : la pseudo-section

Les données mesurées  $\rho_a$  sont présentées en sections de contour ou de couleur. L'axe vertical est une pseudo-profondeur proportionnelle à l'écartement des électrodes. La mesure est reportée au point:

- d'abscisse = milieu du dispositif utilisé
- d'ordonnée = pseudo-profondeur.

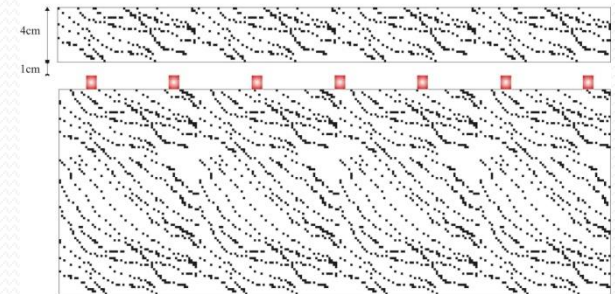


# Image du modèle de résistivité: inversion des mesures



## Modèle de dalle

Délamination prononcée : perte de contact des armatures

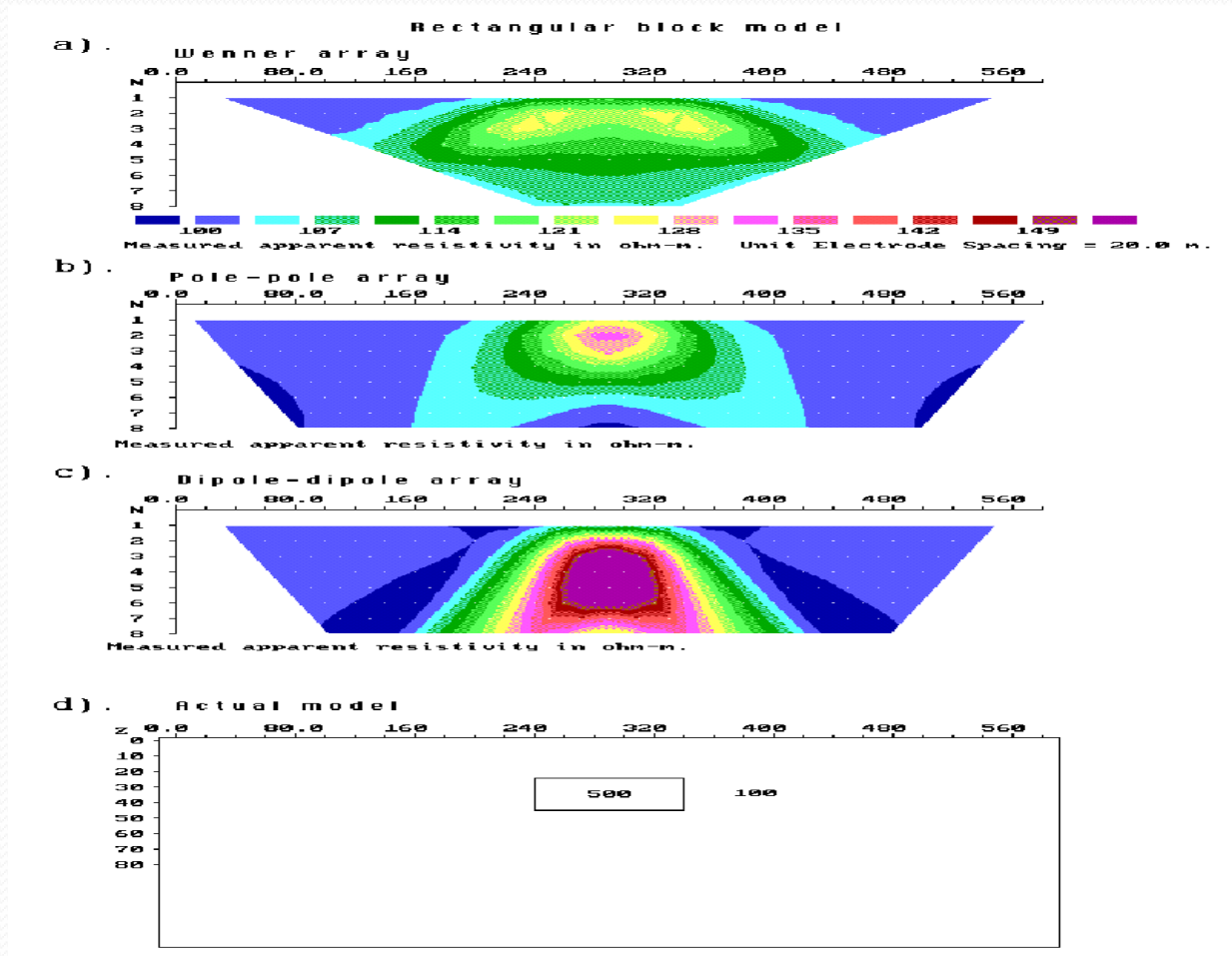


Données observées

Données calculées à partir du modèle final (res2dinv (Loke, 1993))

Modèle final

# PSEUDO-SECTIONS D'UN BLOC



# PLAQUE HORIZONTALE EN DIPÔLE-DIPÔLE

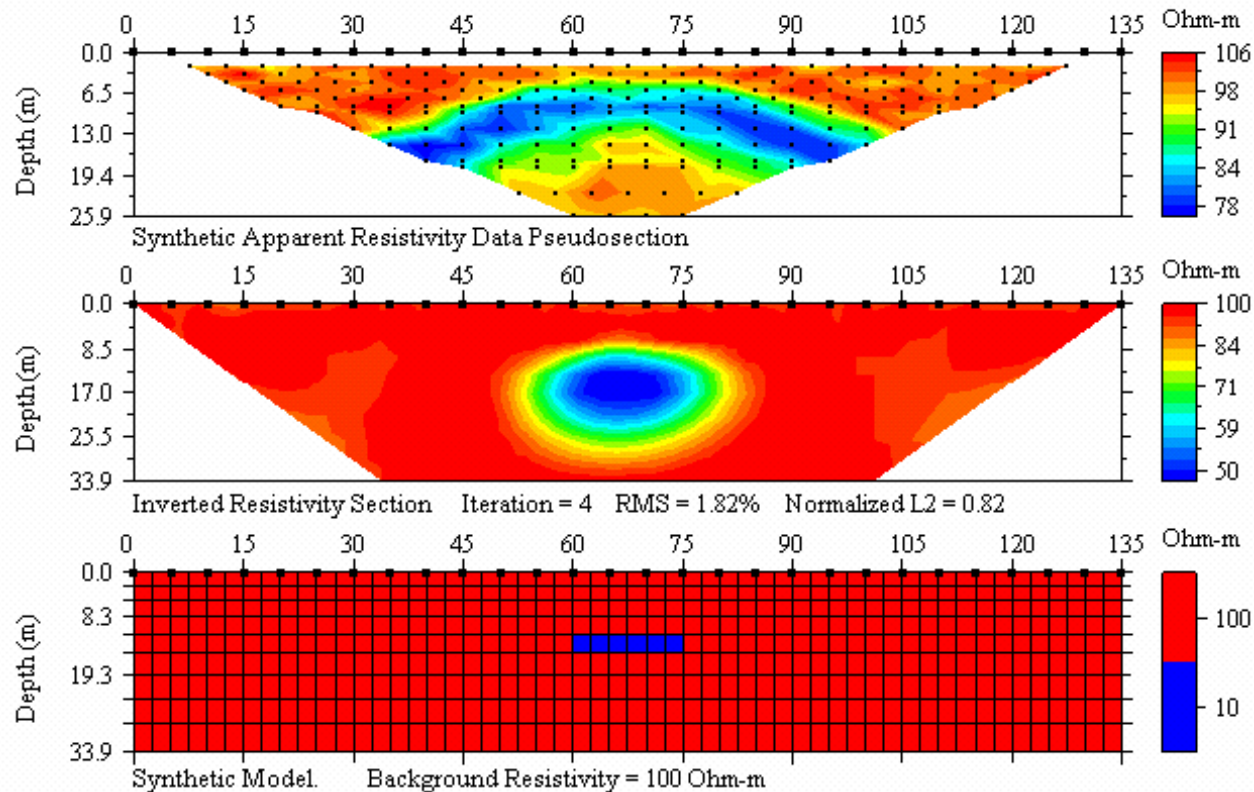


Figure 1. Numerical simulation results of a horizontal conductive lens in a homogenous half-space with a dipole-dipole array.

# PLAQUE HORIZONTALE EN SCHLUMBERGER

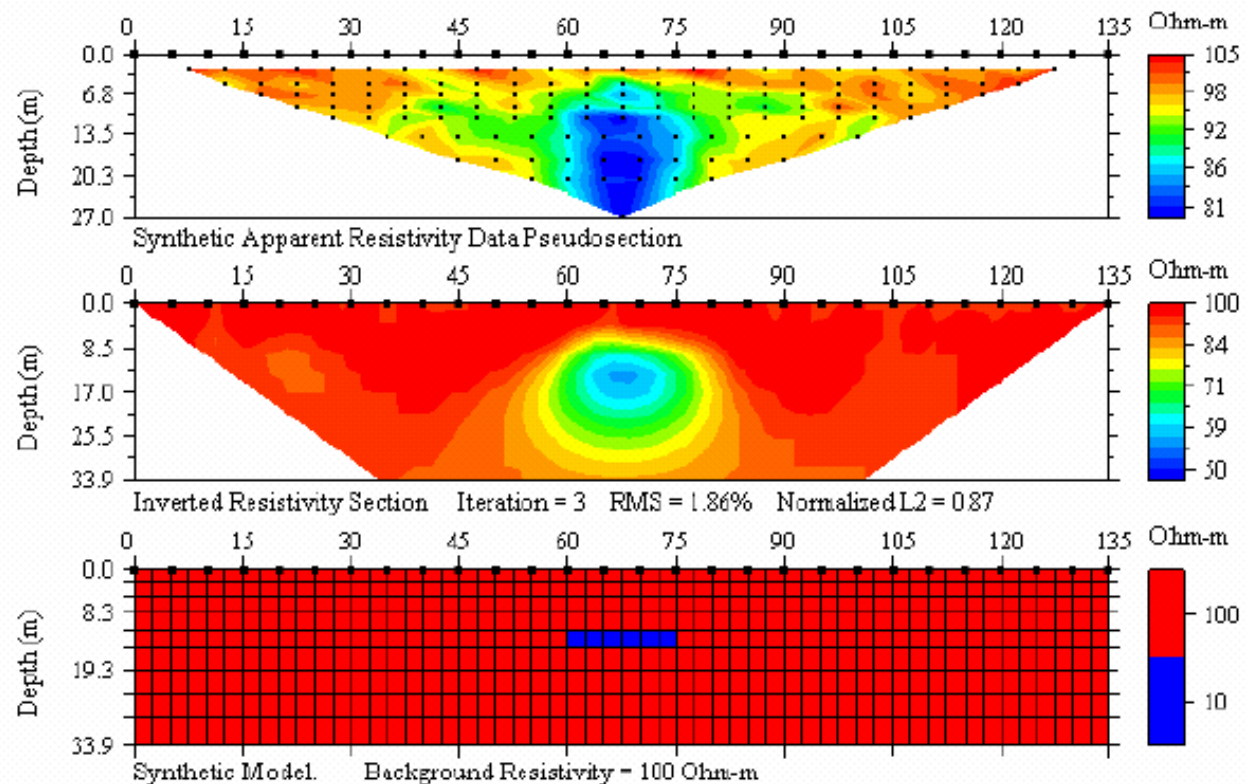
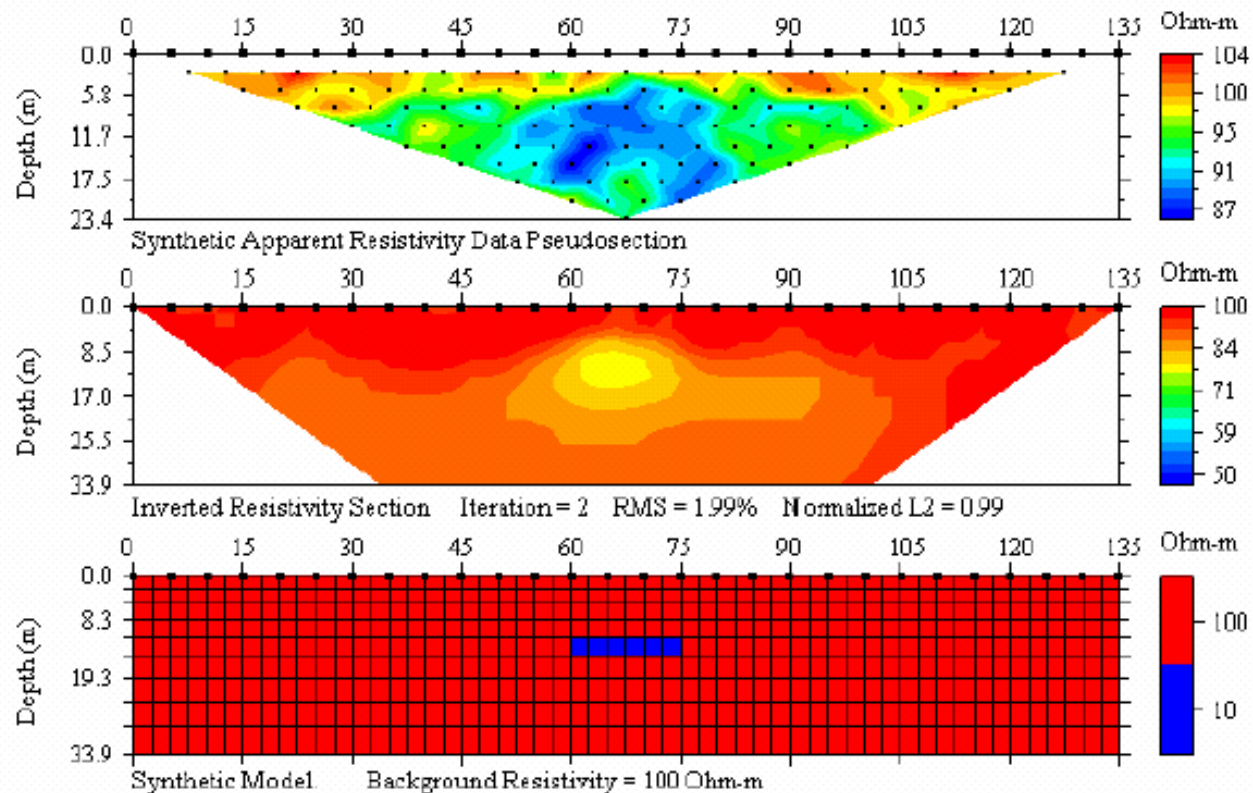


Figure 2. Numerical simulation results of a horizontal conductive lens in a homogenous half-space with a Schlumberger array.

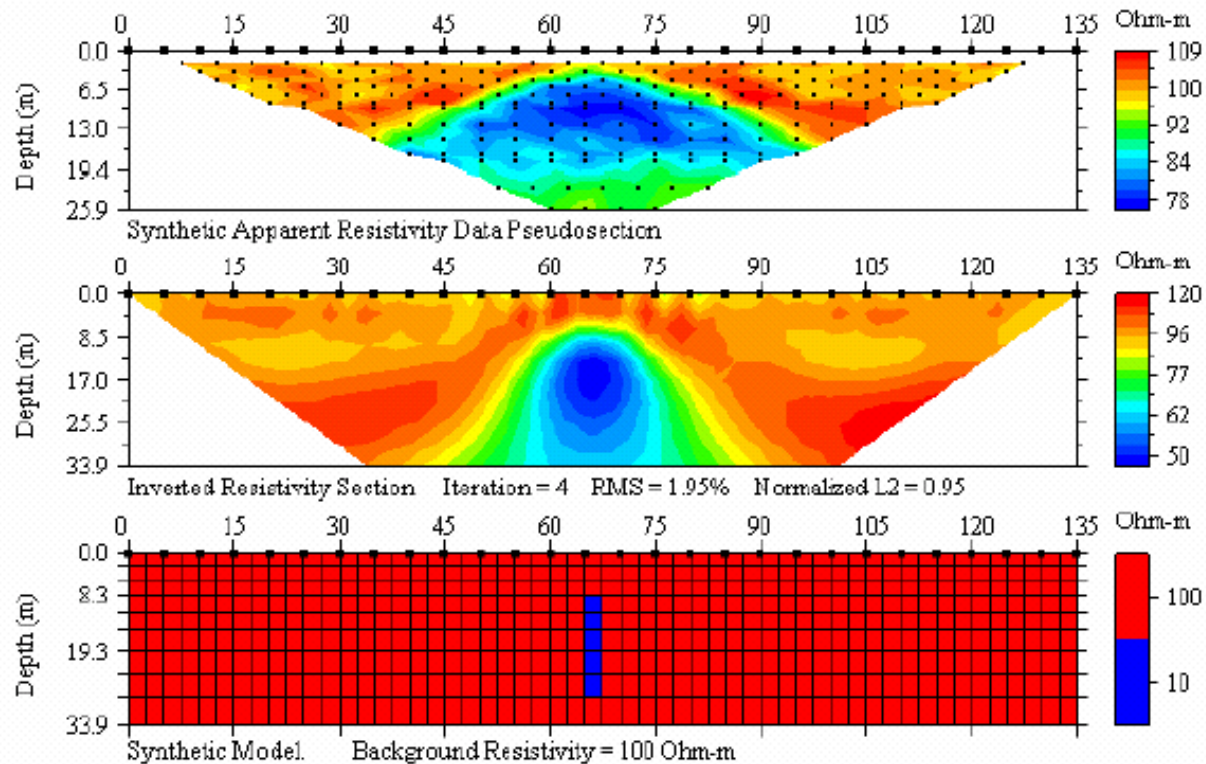


# PLAQUE HORIZONTALE EN WENNER



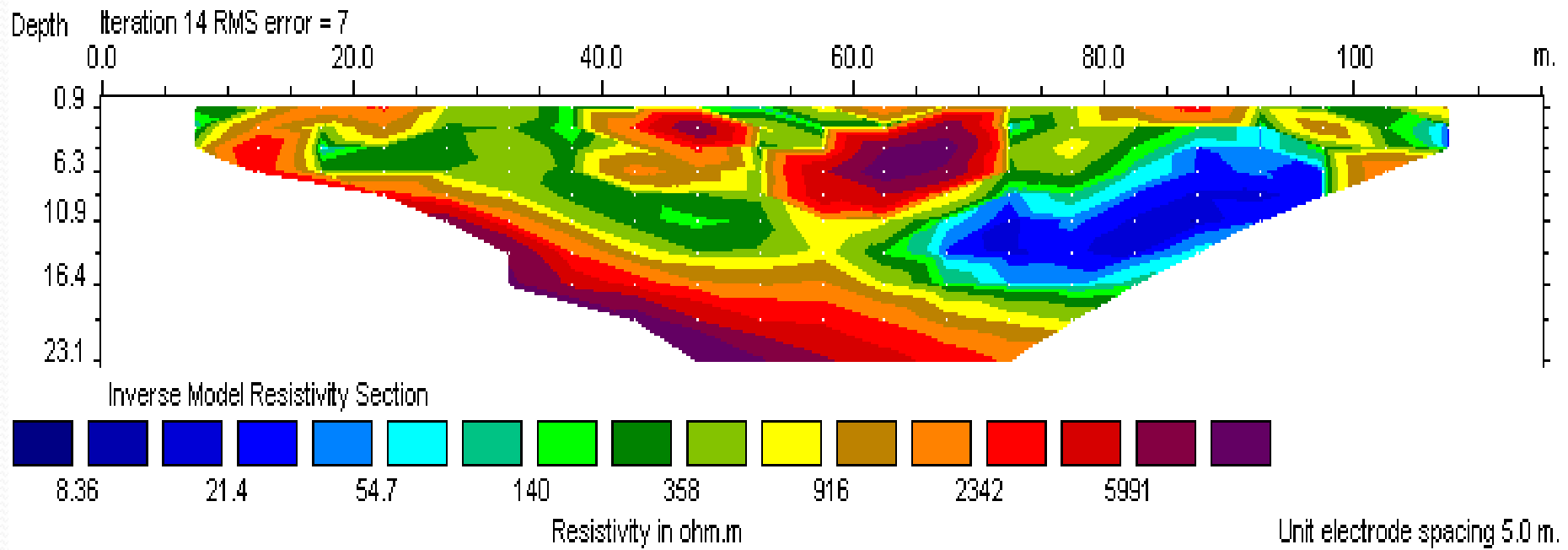
**Figure 3. Numerical simulation results of a horizontal conductive lens in a homogeneous half-space with a Wenner array.**

# DYKE EN DIPÔLE-DIPÔLE

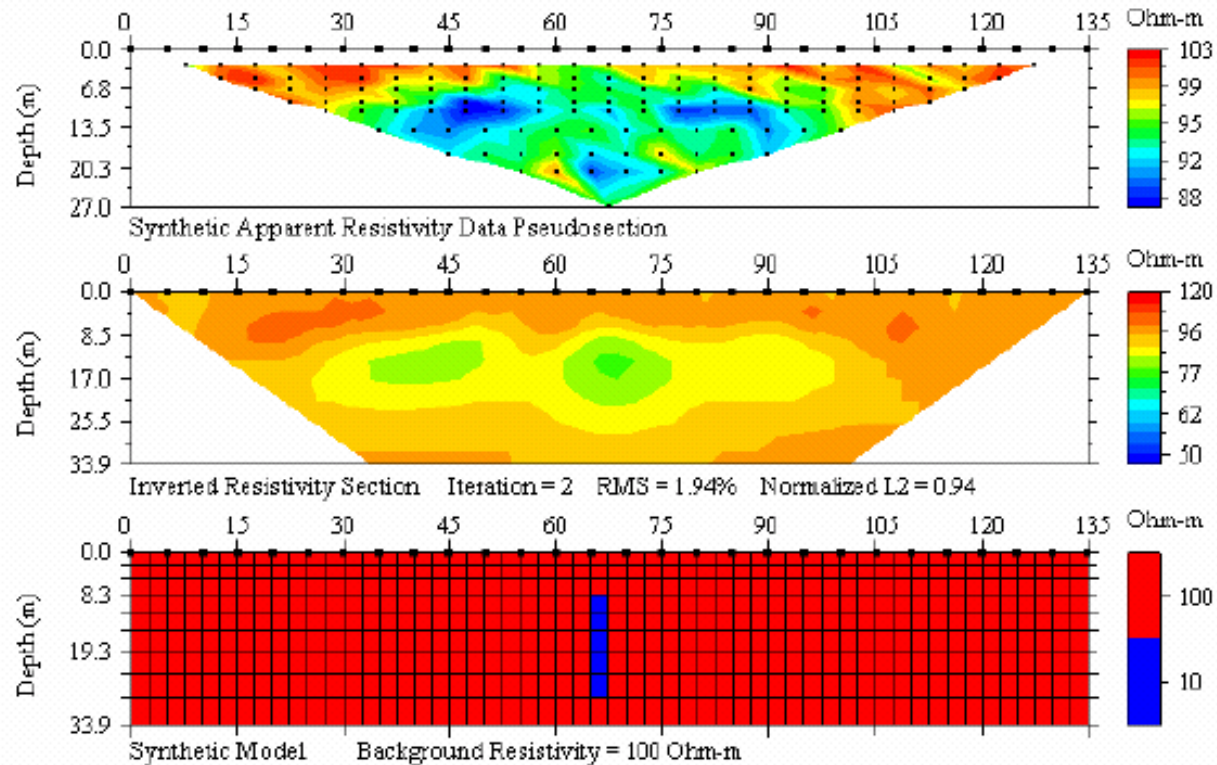


**Figure 4. Numerical simulation results of a vertical conductive dyke in a homogenous half-space with a dipole-dipole array.**

# GALERIE EN DIPÔLE-DIPÔLE

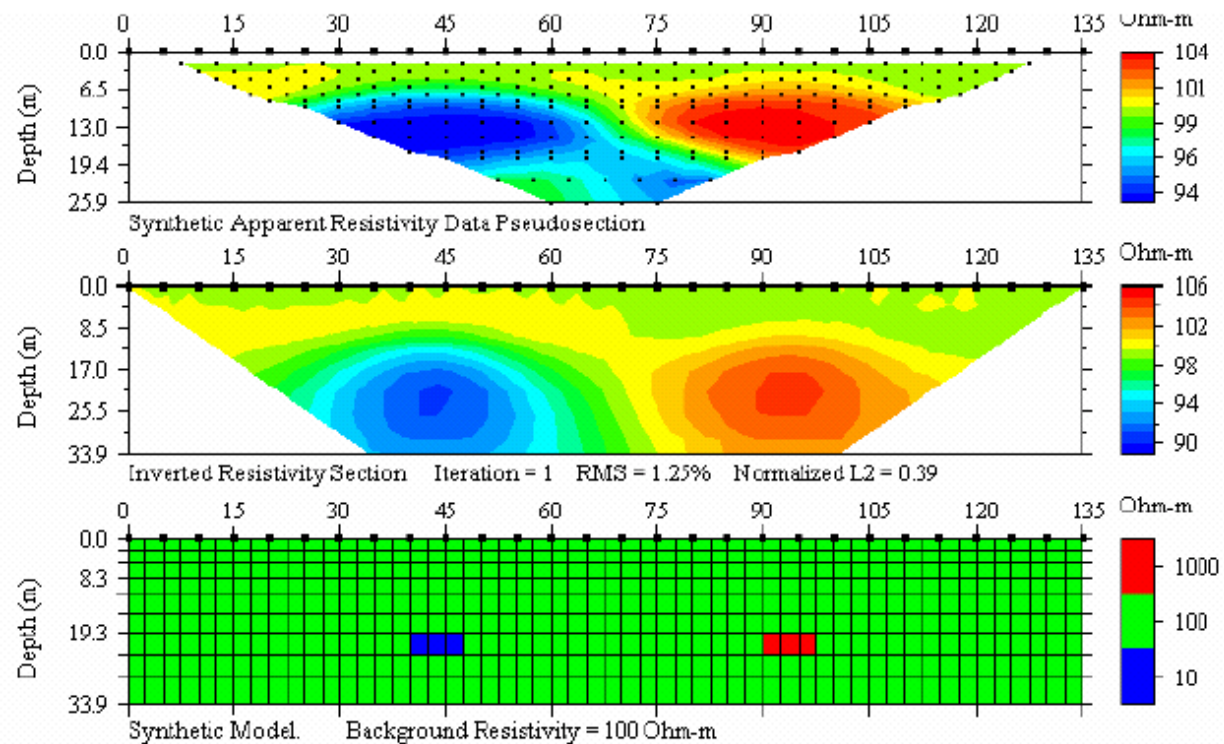


# DYKE EN SCHLUMBERGER



**Figure 5. Numerical simulation results of a vertical conductive dyke in a homogenous half-space with a Schlumberger array.**

# DEUX BLOCS EN DIPÔLE-DIPÔLE



**Figure 7. Numerical simulation results of a noise-free synthetic data set with a dipole-dipole array.**

# CONTACT

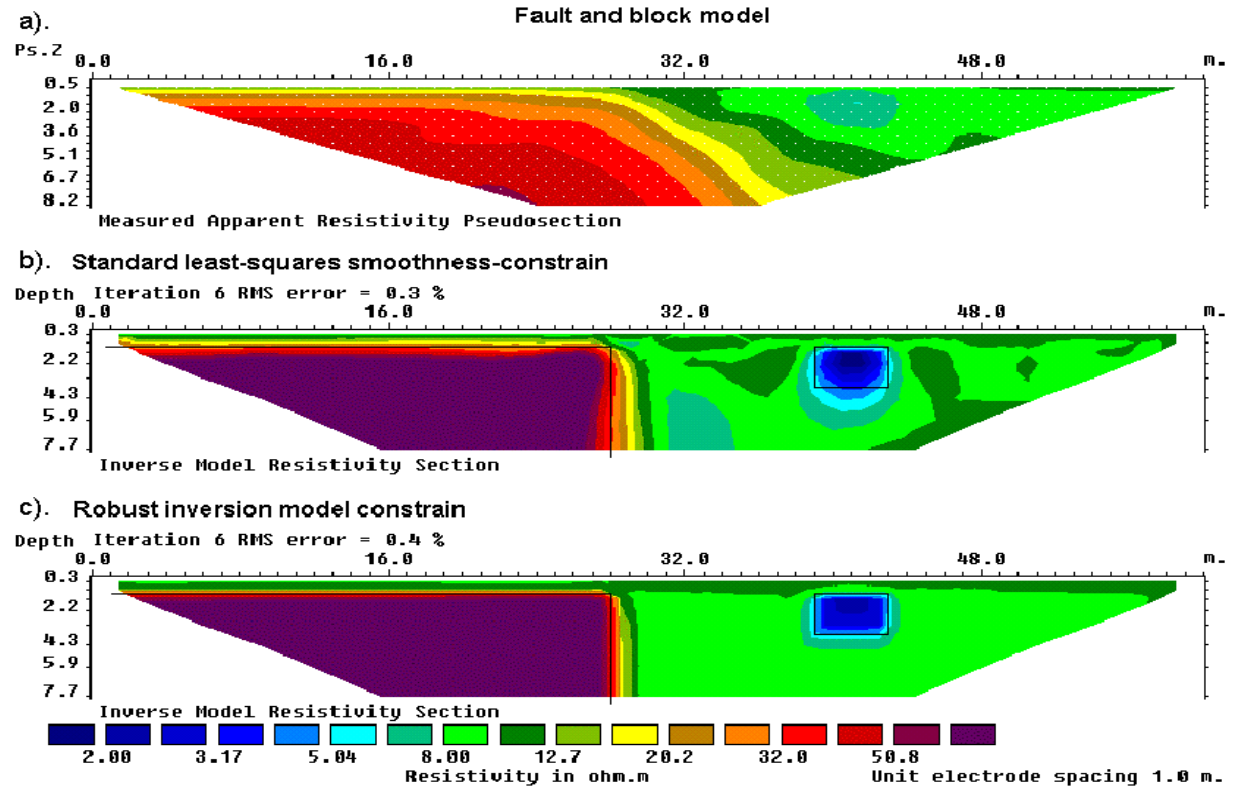


Figure 13. Example of inversion results using the smoothness-constrain and robust inversion model constrains. (a) Apparent resistivity pseudosection (Wenner array) for a synthetic test model with a faulted block (100 ohm.m) in the bottom-left side and a small rectangular block (2 ohm.m) on the right side with a surrounding medium of 10 ohm.m. The inversion models produced by (b) the conventional least-squares smoothness-constrained method and (c) the robust inversion method.

# CAS 1

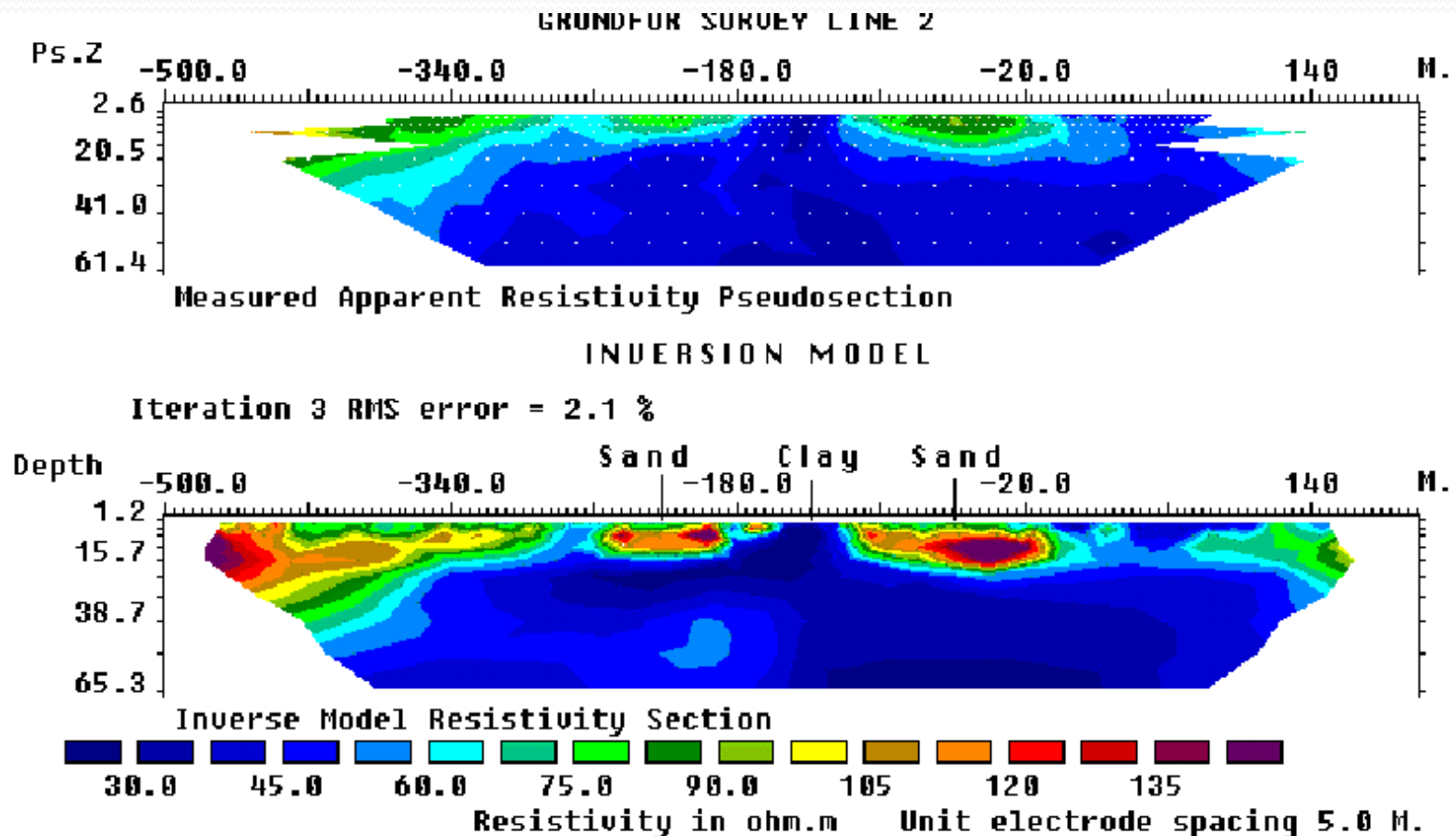


Figure 16. (a) The apparent resistivity pseudosection for the Grundfor Line 2 survey with (b) the interpretation model section.

# CAS 2: DYKE

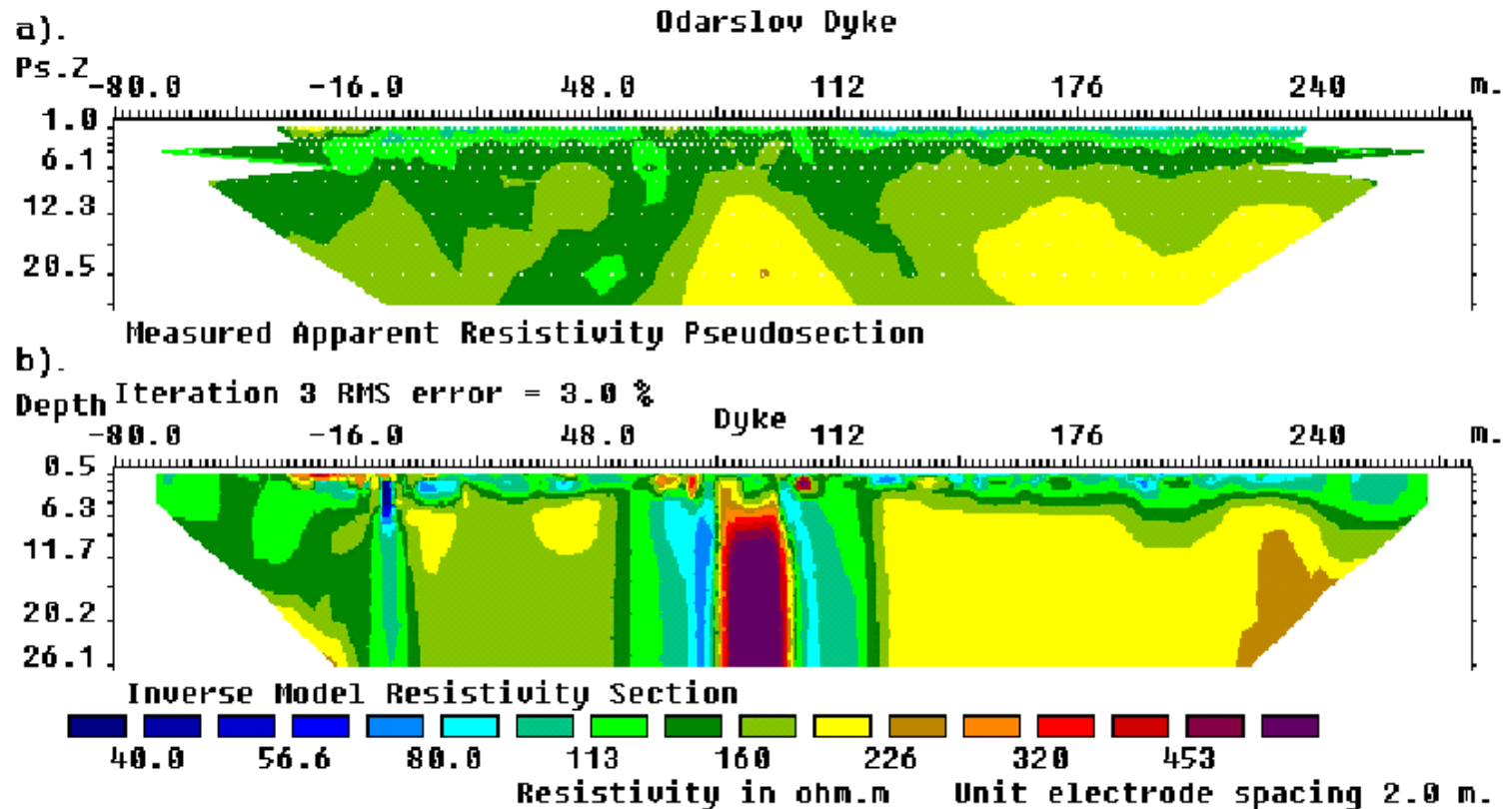


Figure 17. The observed apparent resistivity pseudosection for the Odarslov dyke survey together with an inversion model.



# CAS 3: CONTAMINATION

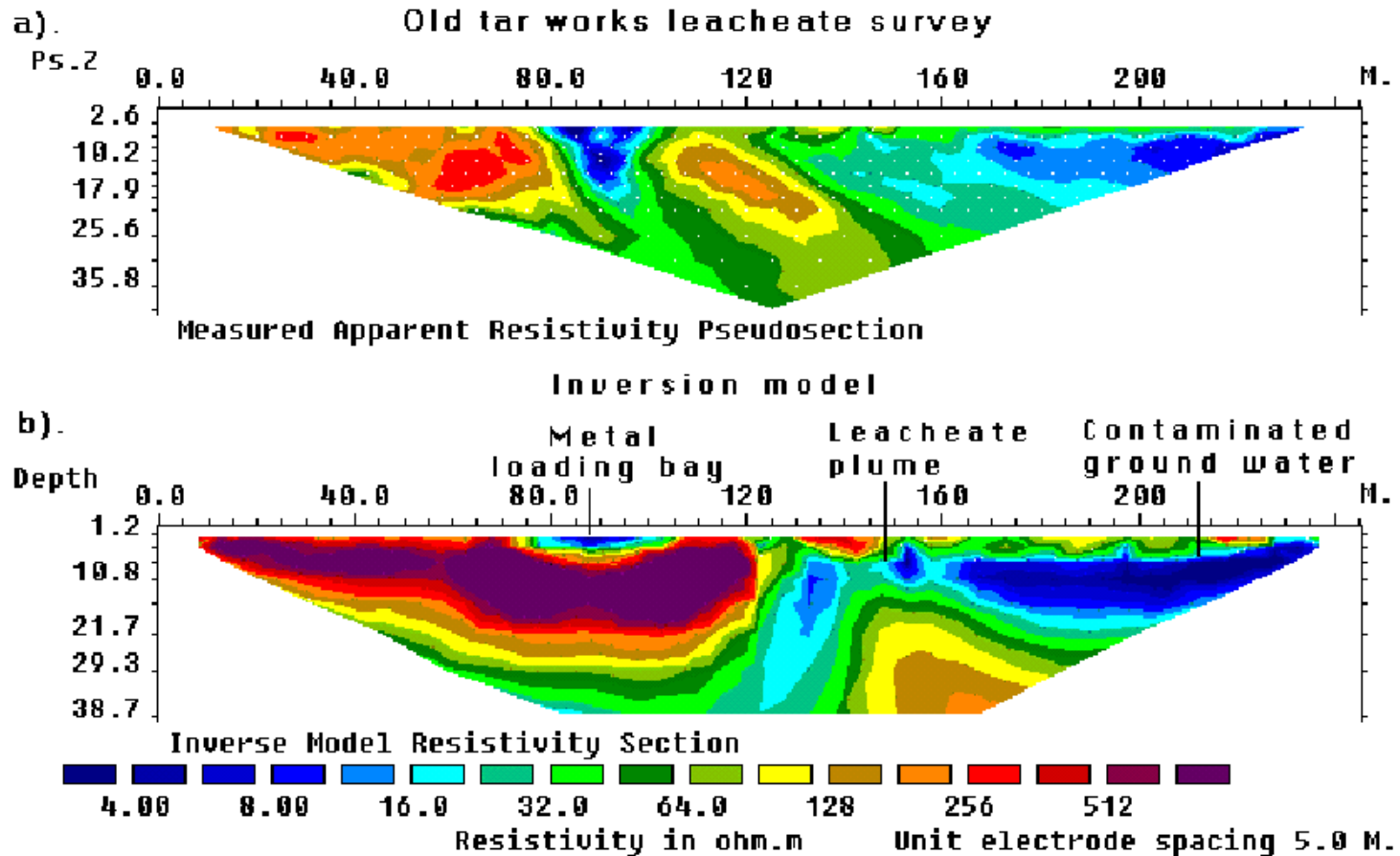


Figure 20. (a) The apparent resistivity pseudosection from a survey over a derelict industrial site, and the (b) computer model for the subsurface.

# CAS 4: MONITORING (INFILTRATION)

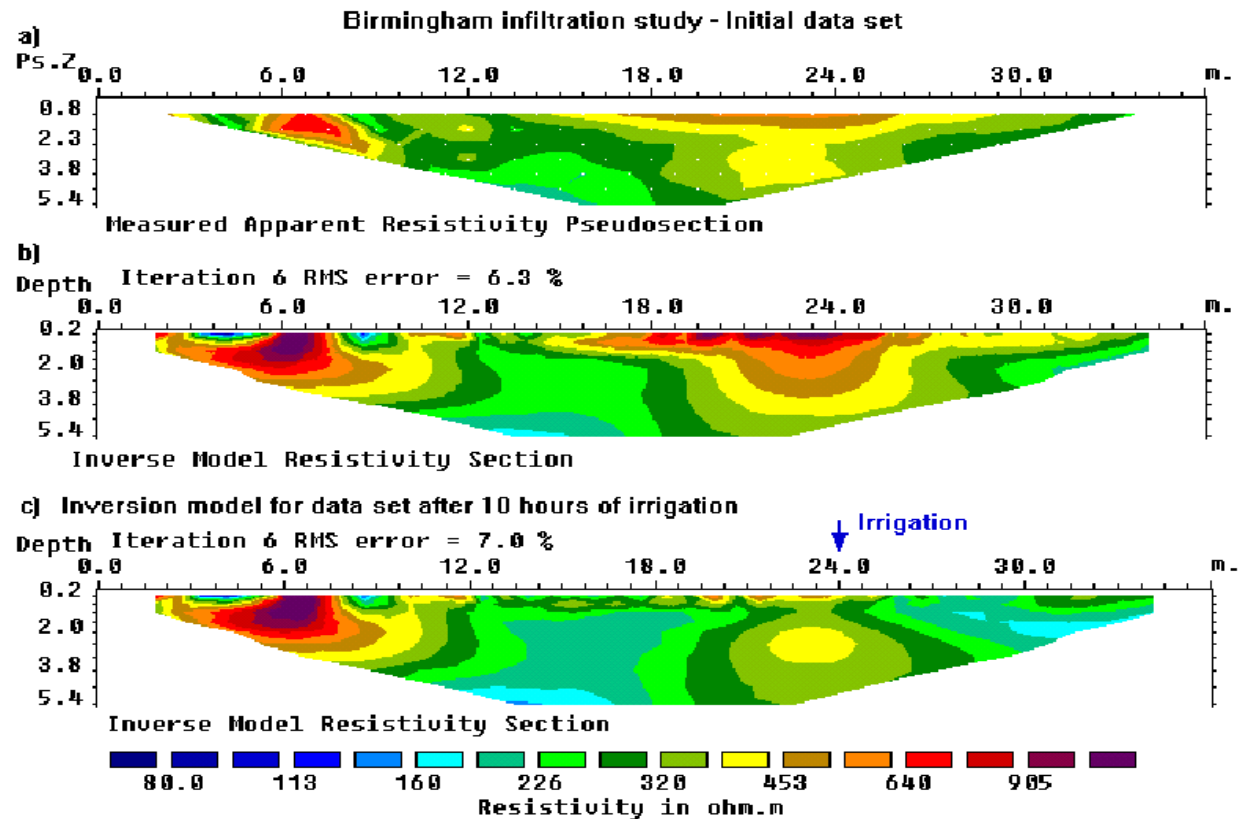


Figure 24. (a) The apparent resistivity and (b) inversion model sections from the survey conducted at the beginning of the Birmingham infiltration study. This shows the results from the initial data set that forms the base model in the joint inversion with the later time data sets. As a comparison, the model obtained from the inversion of the data set collected after 10 hours of irrigation is shown in (c).

# CORRECTION TOPOGRAPHIQUE

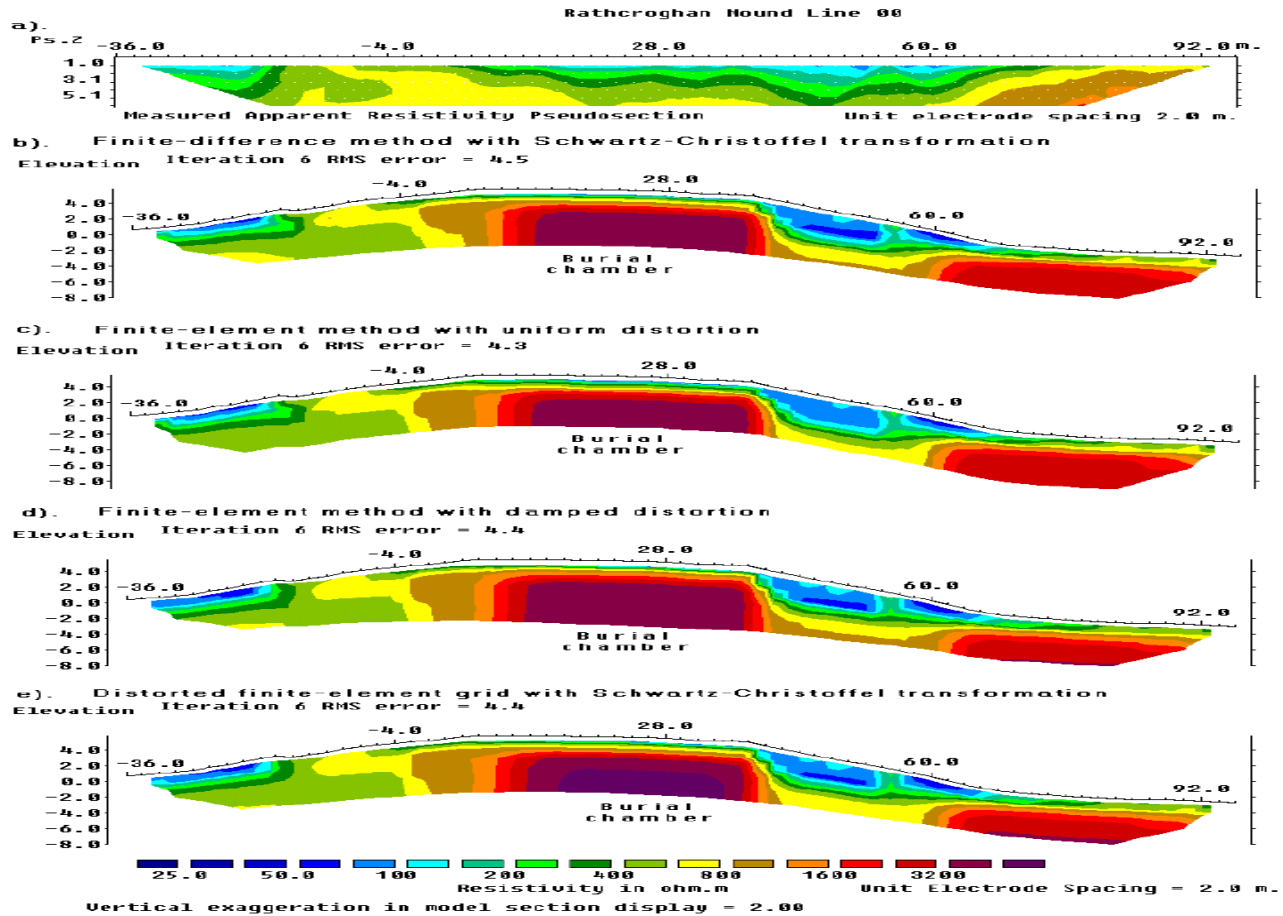
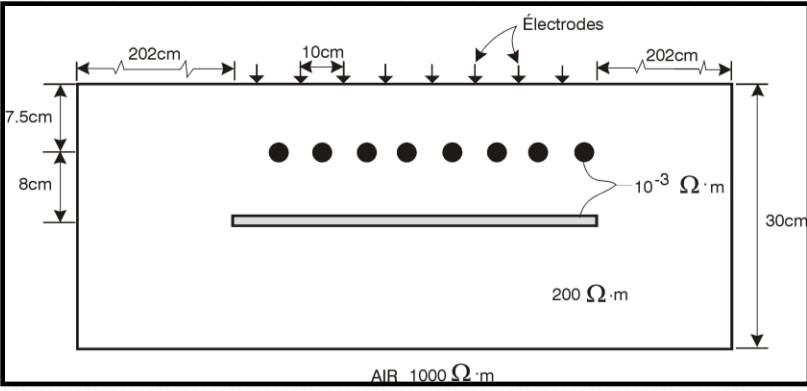


Figure 40. Inversion models for the Rathcroghan Mound data set. (a) Measured apparent resistivity data set. Models obtained using (a) the Schwartz-Christoffel transformation method using a finite-difference mesh (b) finite-element method with uniform distortion (c) finite-element method with damped distortion (d) finite-element method with the distorted grid calculated using Schwartz-Christoffel transformation for the topography modelling.



# Coupes horizontales de l'image 3D

