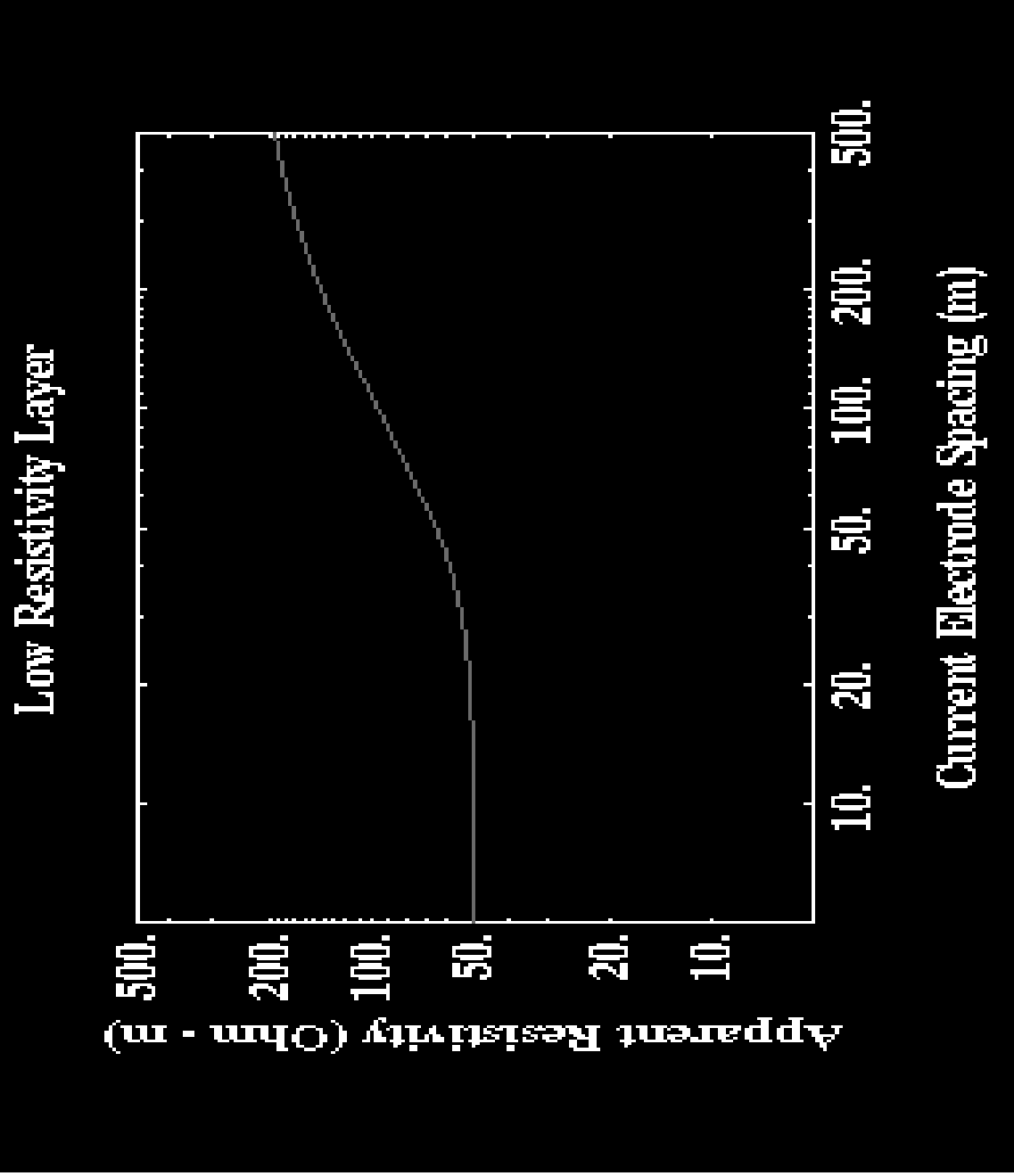
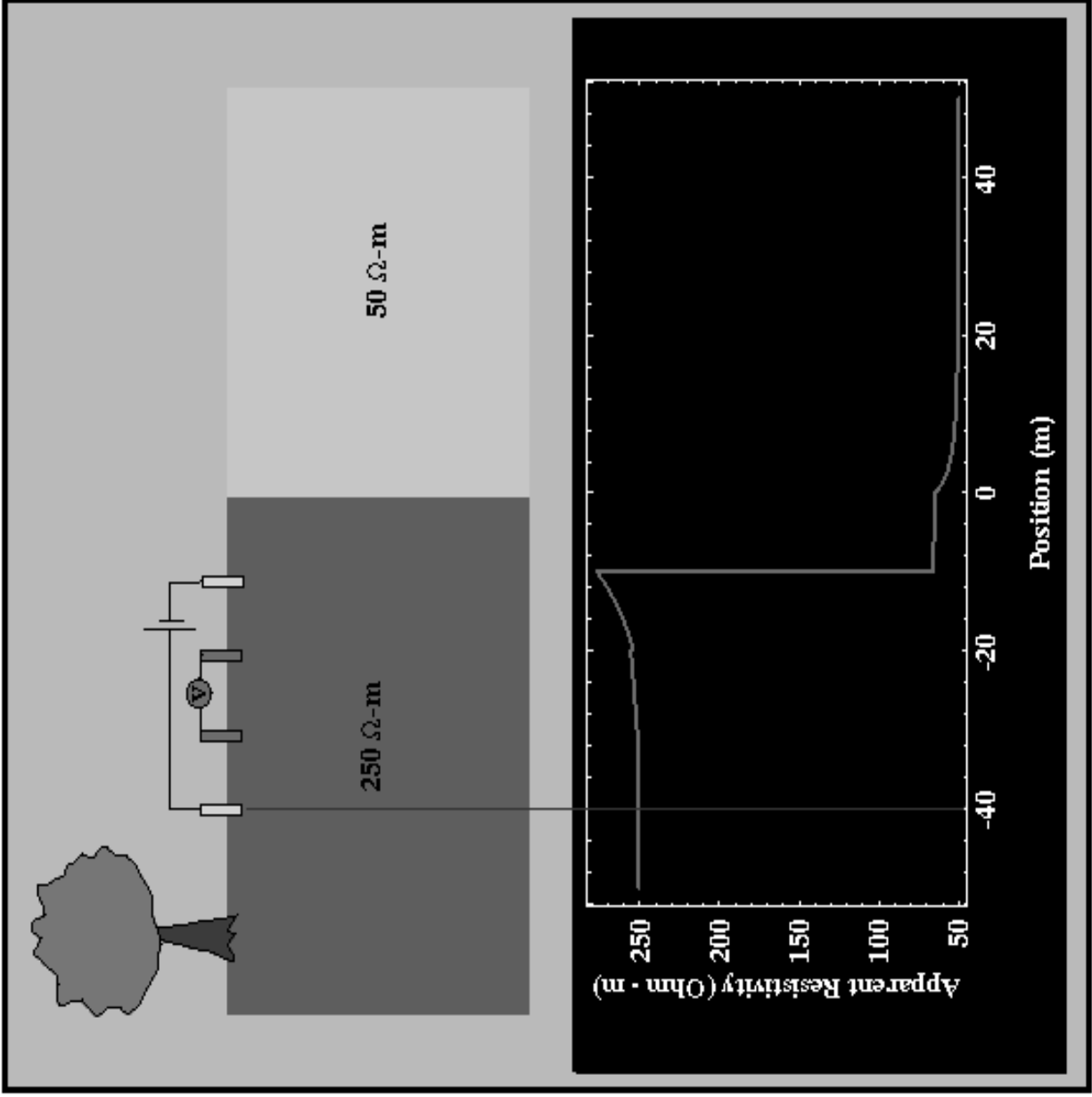
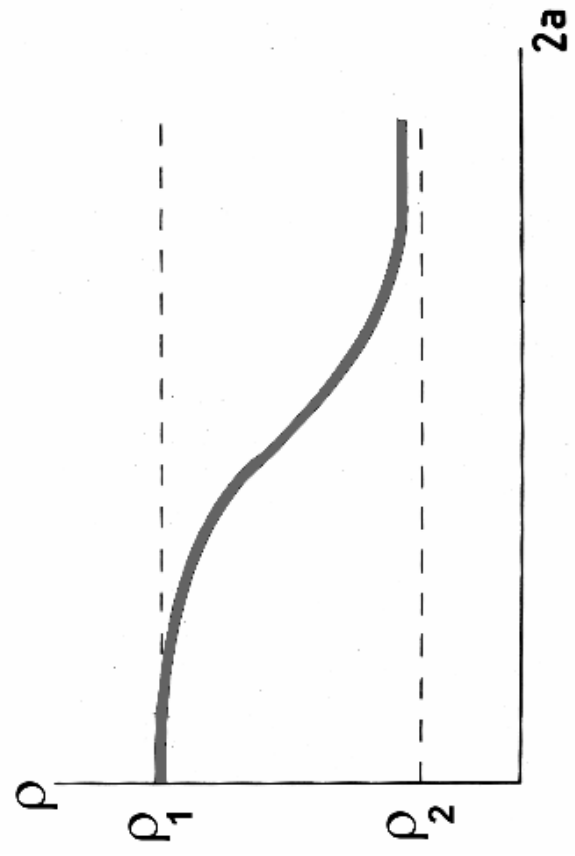
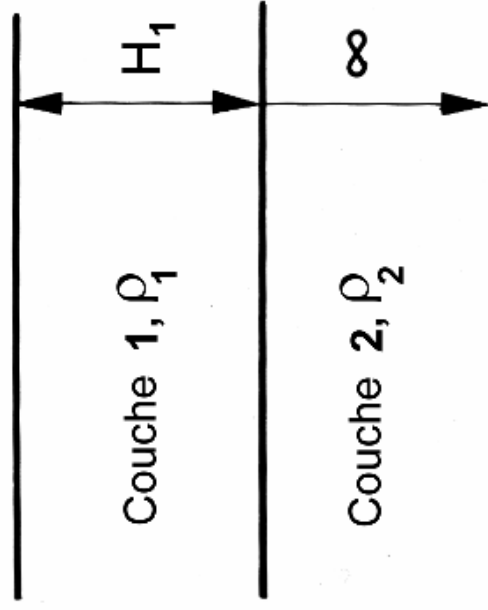
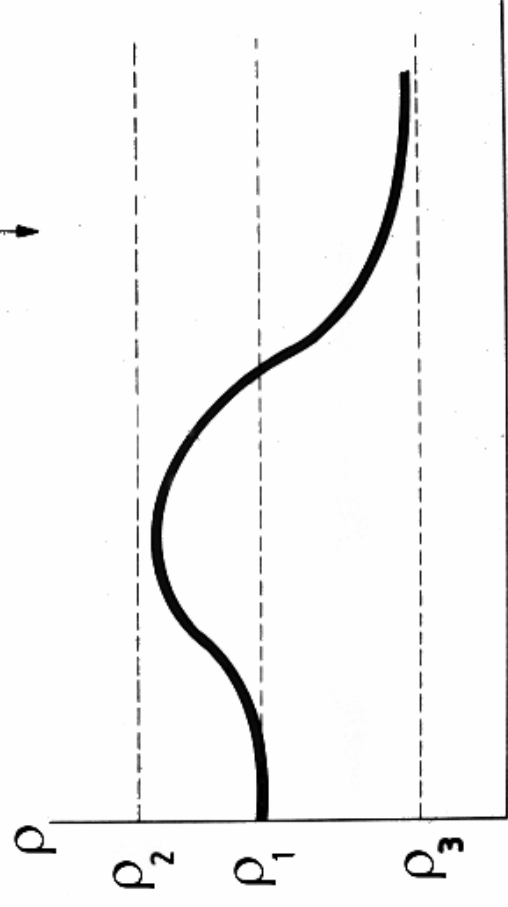
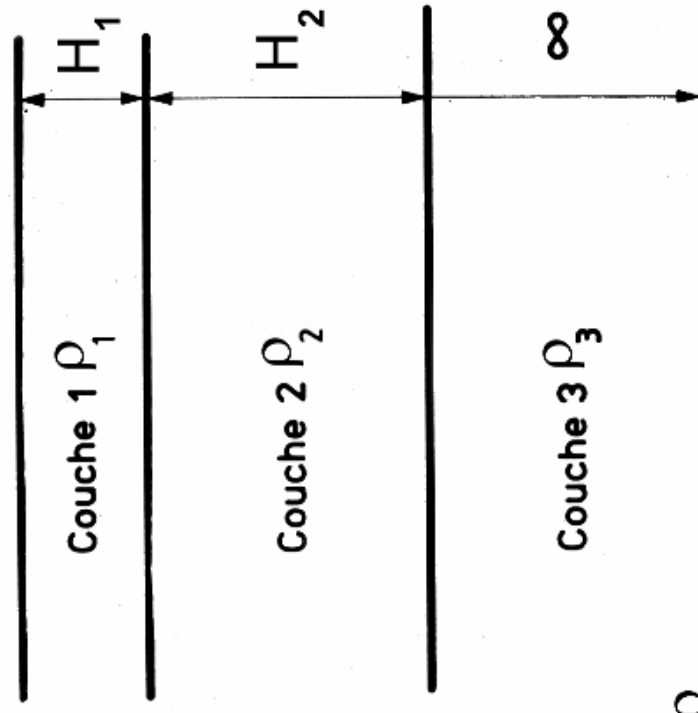
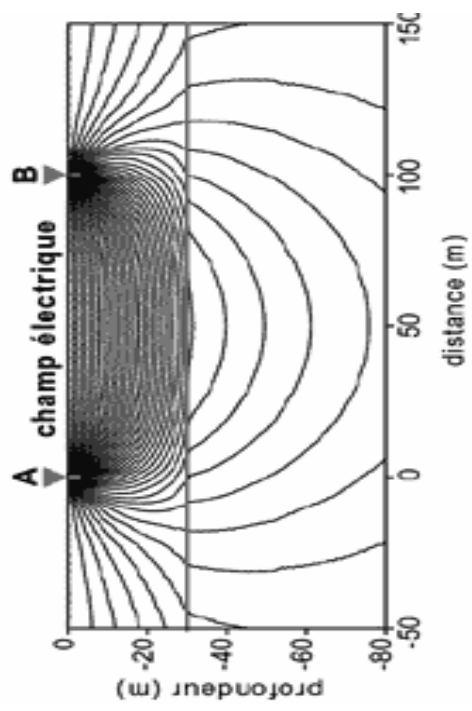
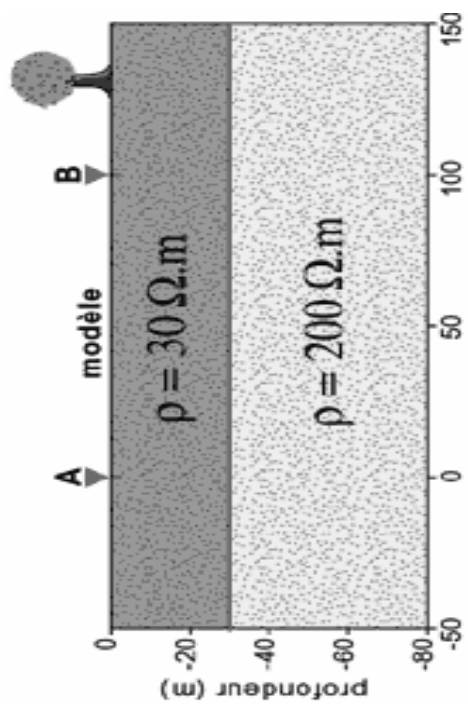
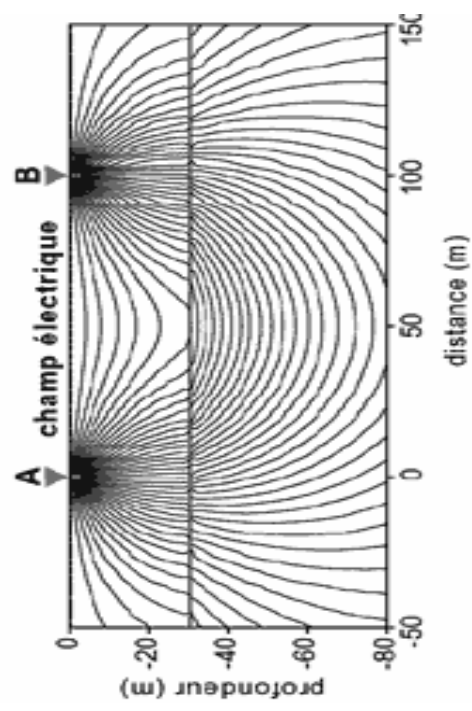
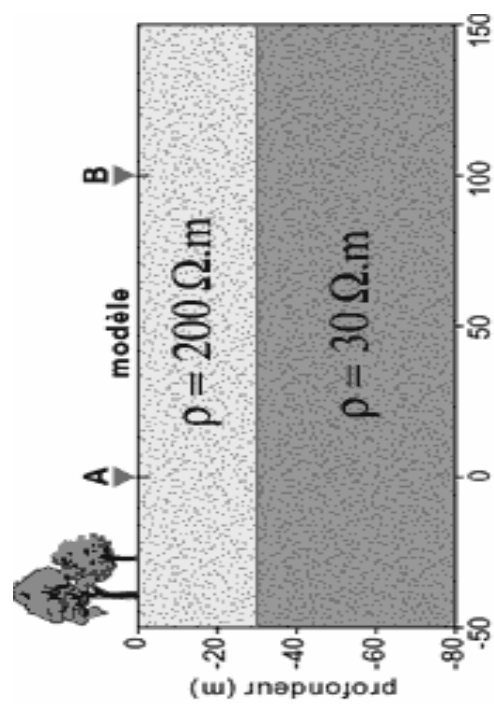


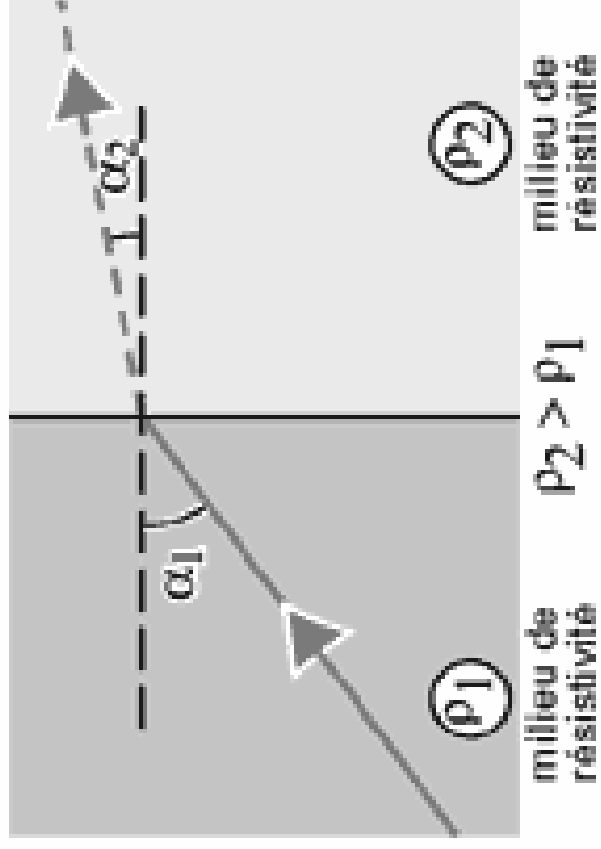










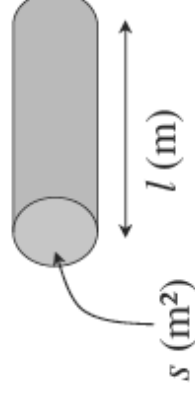


I.1 Rappel - Définitions

- 1. Loi d'Ohm: $U = R.I$
 - ✓ Avec : U différence de potentiel en V, R Résistance en Ω , et I intensité en A.
- 2. Résistivité électrique
 - ✓ La résistivité ρ d'un milieu est la propriété physique qui détermine la capacité de ce milieu à laisser passer le courant électrique

$$✓ R = \rho \frac{l}{s}$$

✓ Avec ρ la résistivité en $\Omega.m$



- 3. Conductivité: $\sigma = \frac{1}{\rho}$
 - ✓ Avec σ la conductivité en S/m

I.2 Loi d'Archie

• 1. Conduction électrolytique $\rho_r = \rho_w \cdot a \cdot \phi^{-m} \cdot S^{-n}$

- ✓ ρ_r la résistivité de la roche
- ✓ ρ_w la résistivité du fluide
- ✓ ϕ la porosité de la roche (en %)
- ✓ S le degré de saturation
- ✓ a, m et n des constantes

a	m	n
<i>Fct ° de la lithologie</i>	<i>Fct ° de la cimentation</i>	-
0.6 à 2 (~ ↑ si ϕ ↓)	1.3 à 2.2 (↑ avec cimentation)	~ 2

➤ Facteur de formation

$$F = a \cdot \phi^{-m} \Rightarrow \rho_r = \rho_w \cdot F \cdot S^{-n}$$

- ✓ Sables, grès $\rightarrow F = 0.62 \cdot \phi^{-2.15}$
- ✓ Roches bien cimentées $\rightarrow F = 1 \cdot \phi^{-2}$

I.3 Matériaux anisotropes



- Anisotropie des matériaux

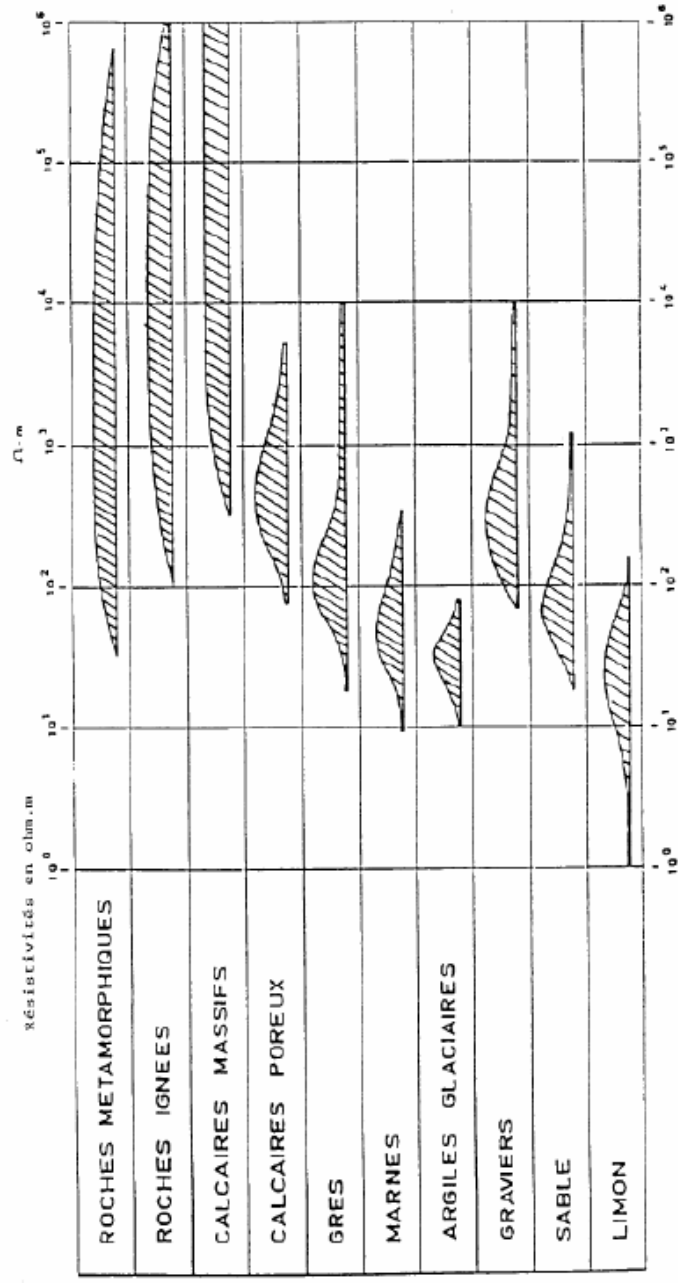
- ✓ Propriétés des matériaux selon les différentes directions considérées
- ✓ Cas des terrains sédimentaires
 - Conductivité transversale = perp. à la stratification (σ_t)
 - Conductivité longitudinale = paral. à la stratification (σ_l)

→ En général $\sigma_l > \sigma_t$

- ✓ Les grandeurs liées:

- Coefficient d'anisotropie: $A = \sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_l}}$
- Conductivité moyenne: $\sigma = \sqrt{\sigma_t \cdot \sigma_l}$

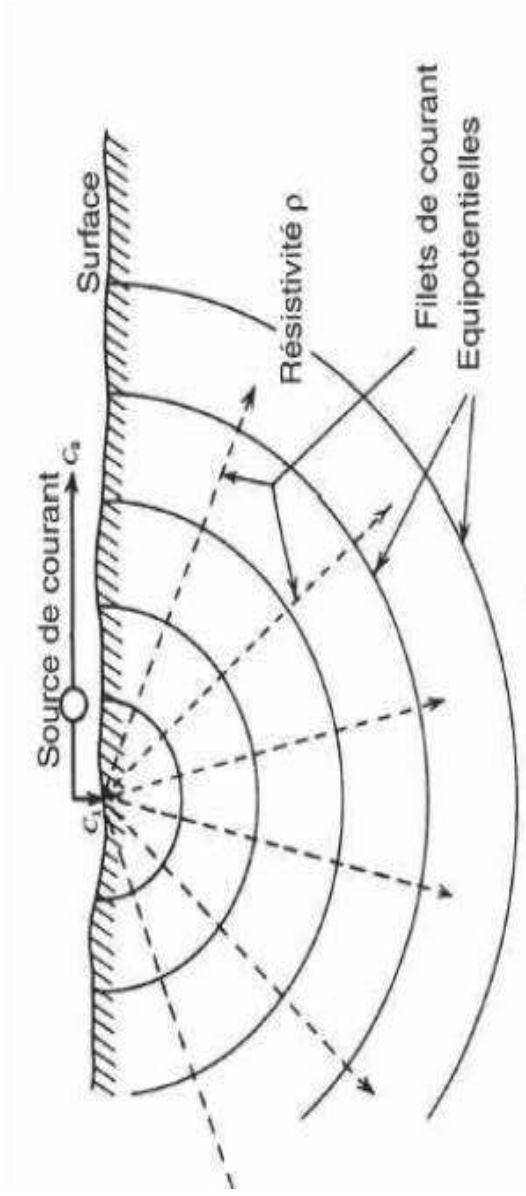
- Gamme des résistivités de matériaux naturels



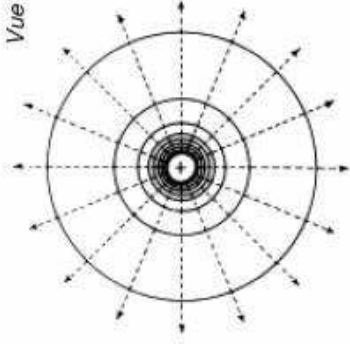
- Gamme des résistivités de matériaux naturels

Type de fluide	Résistivité ($\Omega.m$)
Eau potable	12
Eau non potable	2.8
Eau du robinet	18
Eau de mer	0.2
Eau de pluie	30 → X1000 ^{er}
Fleuve Rhône	80
Fleuve Niger	100
Jus de décharge	5
Hydrocarbure	Infini

Type de roche	Résistivité ($\Omega.m$)
Alluvions - Sables	10 – 800
Grès	30 – 800
Argiles	1 – 100
Argilites	70 – 200
Marnes	3 – 100
Craies	30 – 300
Calcaires	200 – 10 000
Dolomites	200 – 10 000
Métaschistes	300 – 800
Gneiss	1000 – 20 000
Quartzites	1000 – 10 000
Granites	1000 – 15000
Gabbro	6000 – 10 000
Basalte	800 – 15 000
Tufs volcaniques	20 - 300



Vue de dessus

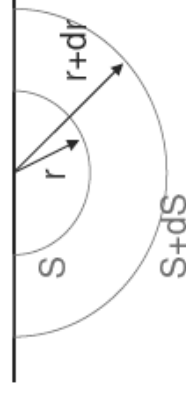


- 2. Détermination du potentiel sur site

- ✓ Milieu semi infini, isotrope, homogène

- ✓ La chute de potentiel engendrée par le passage du courant dans le tronc de cône délimité par les deux $\frac{1}{2}$ sphères:

$$dV = \rho I \frac{dl}{dS}$$



⇒ Pour toute la $\frac{1}{2}$ sphère: $dV = -\frac{\rho I}{2\pi \cdot r^2} \cdot dr$

⇒ En intégrant sur le rayon r: $V = \frac{\rho I}{2\pi \cdot r} + Cste$

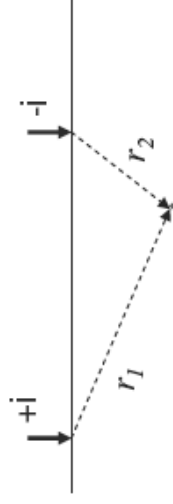
- 3. Principe de superposition

- ✓ Dans le cas de plusieurs injections simultanées:
Le potentiel mesuré en un point peut être considéré comme la somme de chacun des potentiels dus à chaque injection.

En d'autres termes on va additionner les effets de chacune des injections de courant pour déterminer le potentiel en chaque point du sol.

- ✓ En pratique on injecte le courant par deux électrodes (+I et -I).
Ainsi le potentiel en un point sera :

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

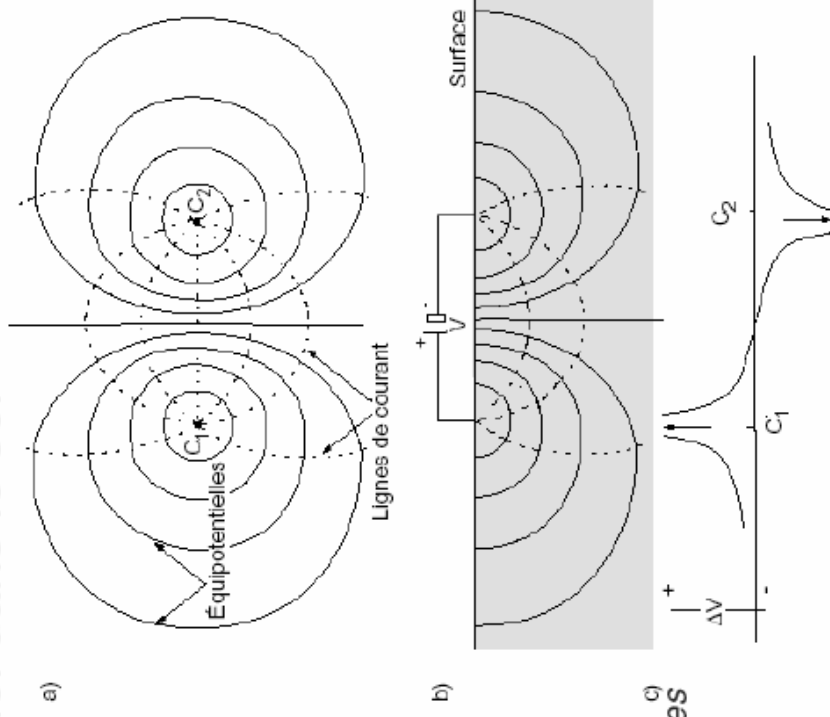


- 4. Variation du potentiel dans le sol

On observe que l'essentiel de la variation de potentiel est située au voisinage immédiat des électrodes.

Cela signifie que l'essentiel de la résistance du terrain provient du voisinage des électrodes A et B.

=> d'où l'intérêt de travailler avec des dispositifs 4 électrodes ^{c)}
 (2 électrodes de mesures distinctes des électrodes d'injection)
 pour limiter les effets de contact sur les résultats mesurés

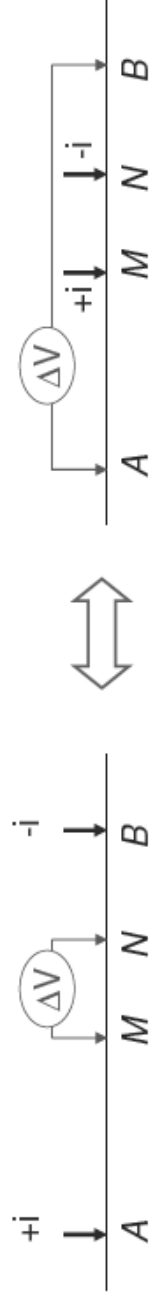


• 5. Principe de réciprocité

- ✓ Le potentiel créé en M par un courant injecté en A est égal à celui mesuré en A si on injecte le courant en M

En pratique, lorsqu'on travaille avec des dispositifs à 4 électrodes Le courant est injecté entre A et B, et on mesure la différence de potentiel entre M et N.

- ✓ Les principes de superposition et de réciprocité indiquent qu'en injectant le courant entre M et N on mesure entre A et B la même différence de potentiel que le cas de référence.

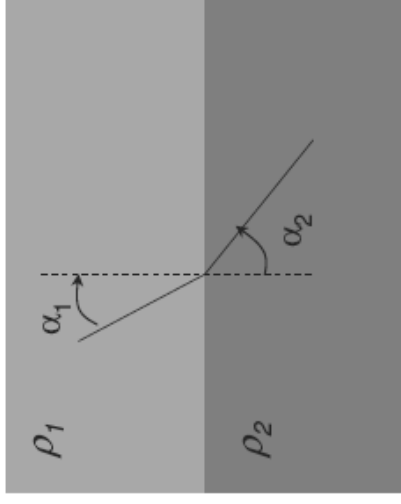


- 3. Réfraction aux interfaces

- ✓ Au passage d'une interface les lignes de courant sont réfractées

- ✓ Loi des tangentes:

$$\rho_1 \cdot \tan(\alpha_1) = \rho_2 \cdot \tan(\alpha_2)$$



II.3 Les méthodes des résistivités

- 1. Principe

- ✓ Injection d'un courant électrique entre deux électrodes
- ✓ Mesure de la DDP entre deux autres électrodes

- ✓ Différentes géométries (configurations)

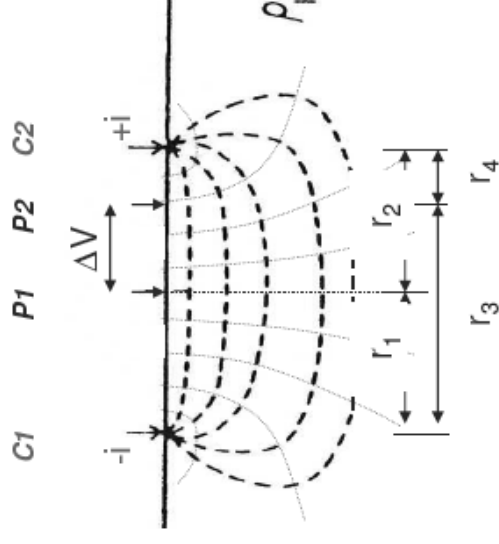
- 2. Le facteur géométrique : k

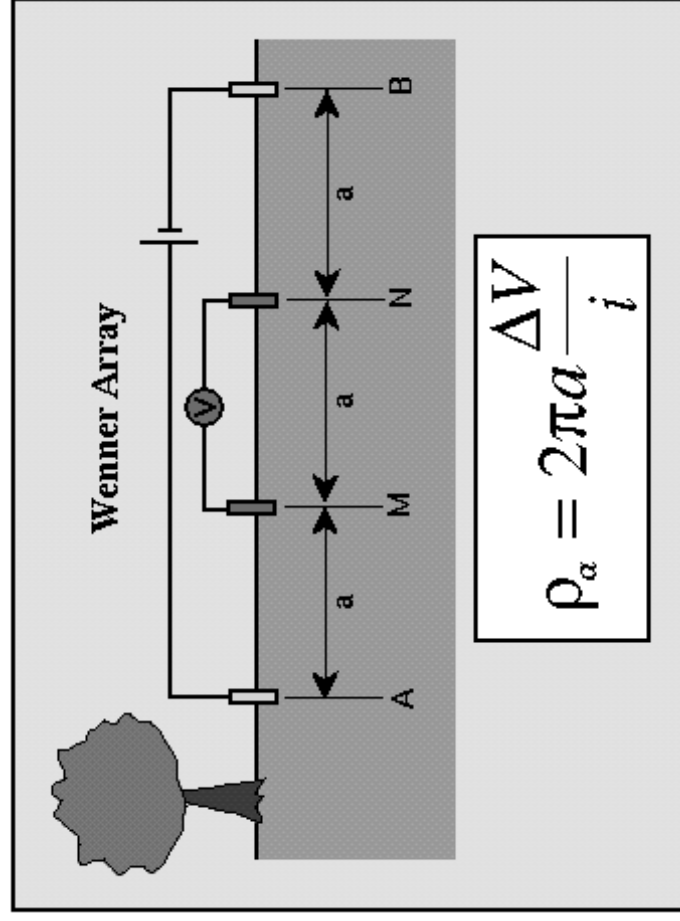
Dimension d'une longueur

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) + \left(\frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)}$$

- ✓ La résistivité apparente est alors:

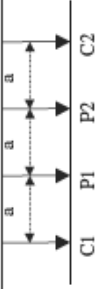
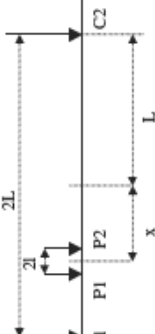
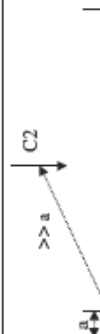
$$\rho_a = k \cdot \frac{\Delta V}{I}$$





II.4 Les méthodes des résistivités

• 3. Les dispositifs

Configurations	Fact. Géom. (k)	Prof. D'invest.	Remarques - commentaires
	$2 \cdot \pi \cdot a$	0.11 x 3a	Dispositif classique de trainé Sensible aux structures horizontales et verticales.
	$\frac{\pi \cdot (L^2 - l^2)}{2 \cdot l}$	0.125 x 2L	Dispositif pour le SEV (en pratique classiquement $x=0$, et on doit vérifier que $L > 5.l$)
	$\pi \cdot an(n+1)(n+2)$	0.195 x (n+2)a	Bonne résolution, 'faible' profondeur d'investigation, sensible aux bruits de mesure
	$\frac{2 \cdot \pi \cdot ab}{b - a}$		Intermédiaire aux pôle-pôle et dipôle-dipôle
	$2 \cdot \pi \cdot a$	0.35 x a	Résolution 'moyenne', bonne profondeur d'investigation.

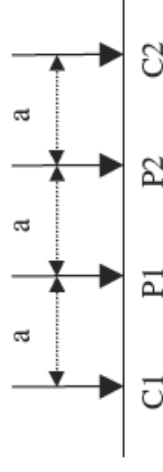
III. Trainé électrique

« Exploration horizontale »

- Prospection à profondeur constante (*)

- Dispositif Wenner

- ✓ Prof. d'invest # 0.125 largeur du dipôle d'injection



- Taille dispo / pas de mesure

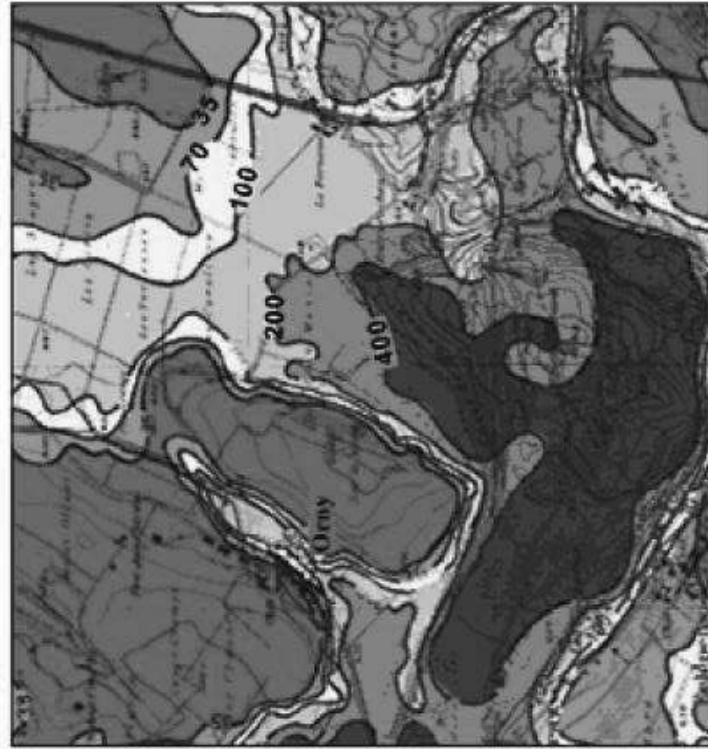
- Résolution / vitesse

- Variations latérales de résistivités apparentes

- ✓ Interfaces des formations, variations des épaisseurs, ...

CARTE DES ÉQUIRÉSISTIVITÉS ÉLECTRIQUES APPARENTES

TRAINÉ A-B = 100m



En ohms-m

Moins de 35

De 35 à 70

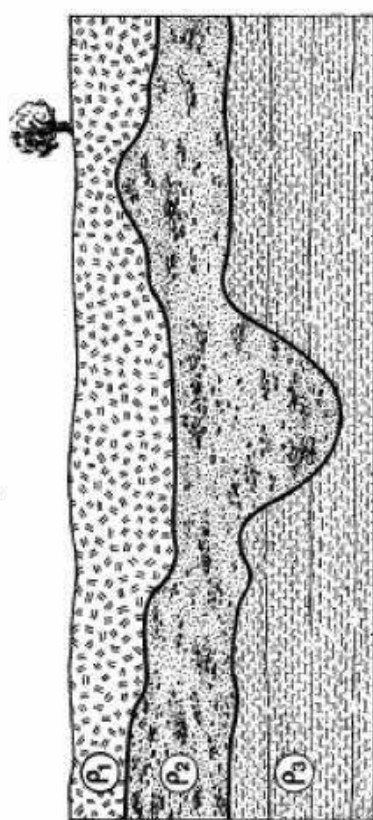
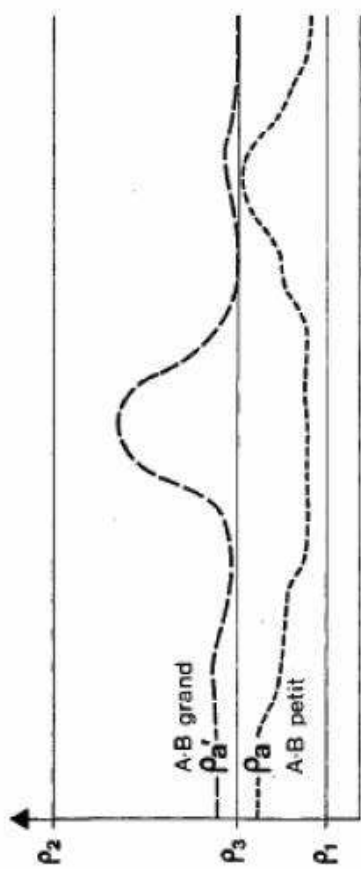
De 70 à 100

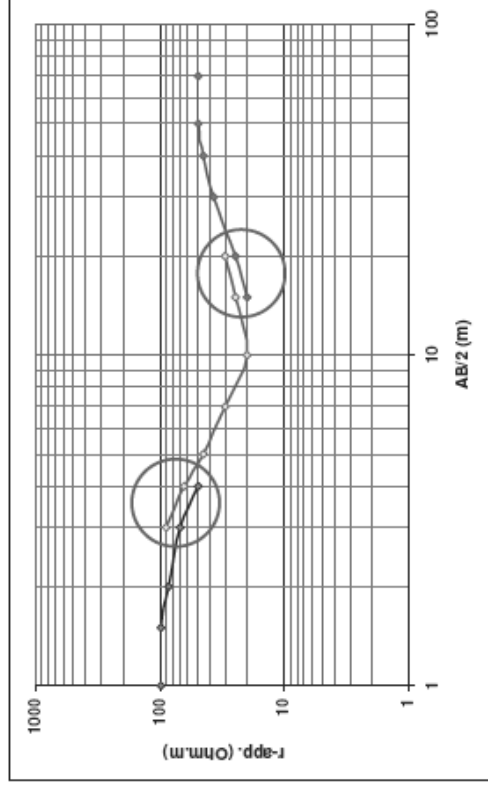
De 100 à 200

De 200 à 400

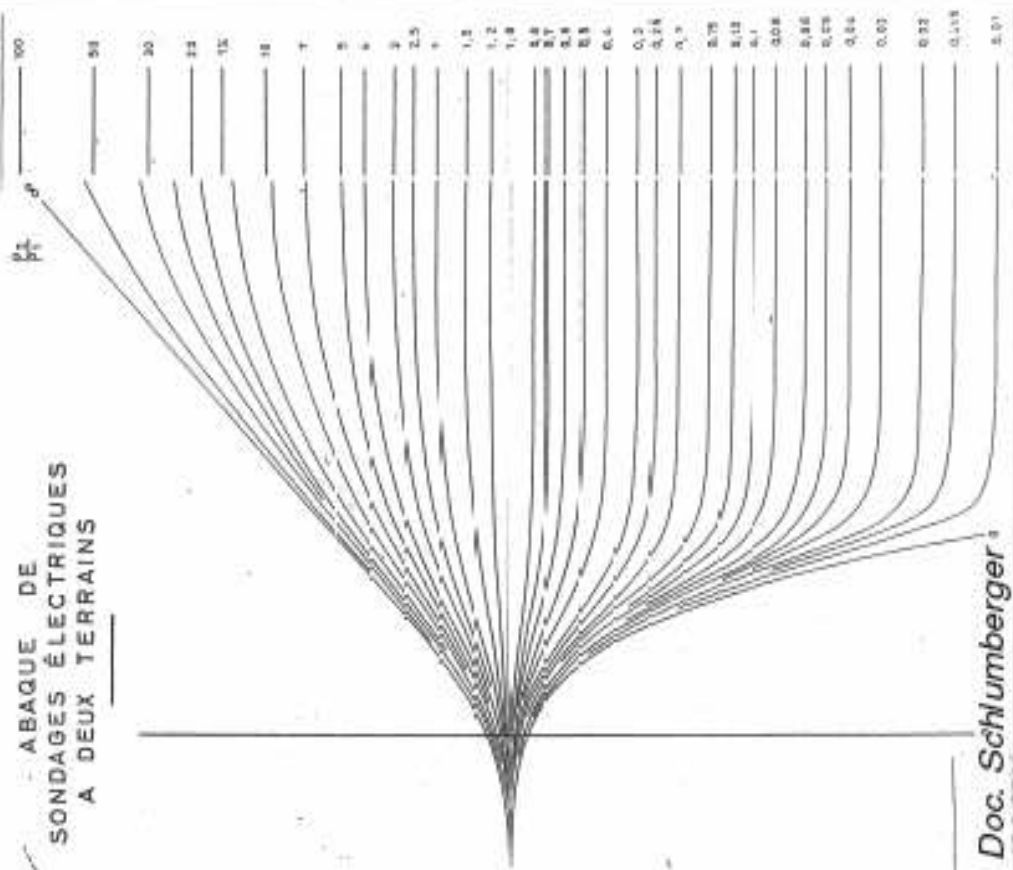
Plus de 400

1 km





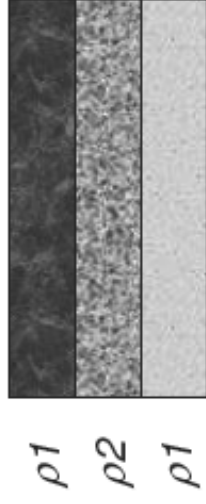
ABAQUE DE
SONDAGES ÉLECTRIQUES
A DEUX TERRAINS



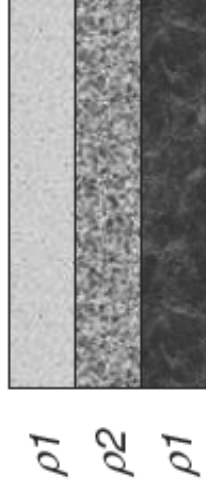
Doc. Schlumberger

- Principe de suppression

- Concerne les couches dont les résistivités sont intermédiaires au niveaux encaissants



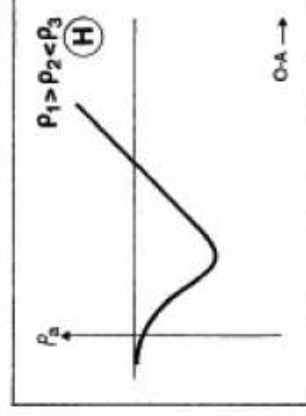
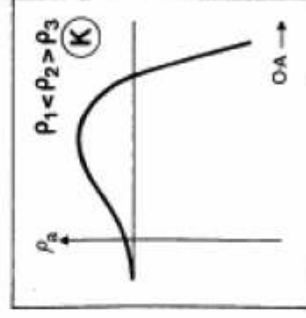
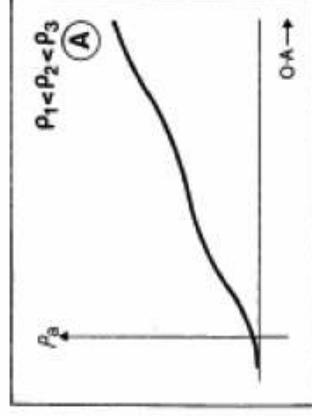
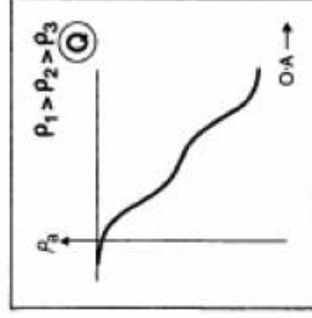
$$\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$$



$$\rho_3 > \rho_2 > \rho_1$$

- La couche intermédiaire n'a pratiquement pas d'importance tant que son épaisseur n'est pas très importante
- C'est le cas :
 - ✓ Alluvions sèches – Alluvions saturée – substrat argileux
=> Difficulté pour déterminer la position de la nappe
 - ✓ Limons – sables et graviers – substrat calcaire
=> Difficulté pour déterminer la profondeur du substrat

• Terrains à 3 couches



- Type Q : décroissante par palier (escalier descendant)
- Type A : croissante par palier (escalier montant)
- Type K : résistant entre deux conducteurs (en cloche)
- Type H : conducteur entre deux résistants (en fond de bateau)

- Principe d'équivalence

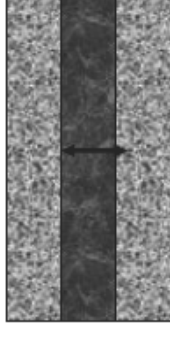
- Résistant entre conducteurs

Le résistante se manifeste essentiellement par sa résistance transversale (R_T ou T)

$$R_T = h \cdot \rho = h / \sigma \quad \text{en } \Omega \cdot \text{m}^2$$

Tous les couples $h\rho$ ont un effet comparables sur le calcul direct tant que R_T reste constant

(sous réserve de conserver les résistivités électriques bien contrastées)



$$\rho_2 > \rho_1 \text{ et } \rho_3$$

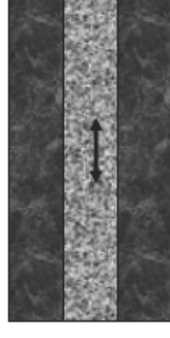
- Conducteur entre résistants

Le conducteur se manifeste essentiellement par sa conductance longitudinale (C_L ou S)

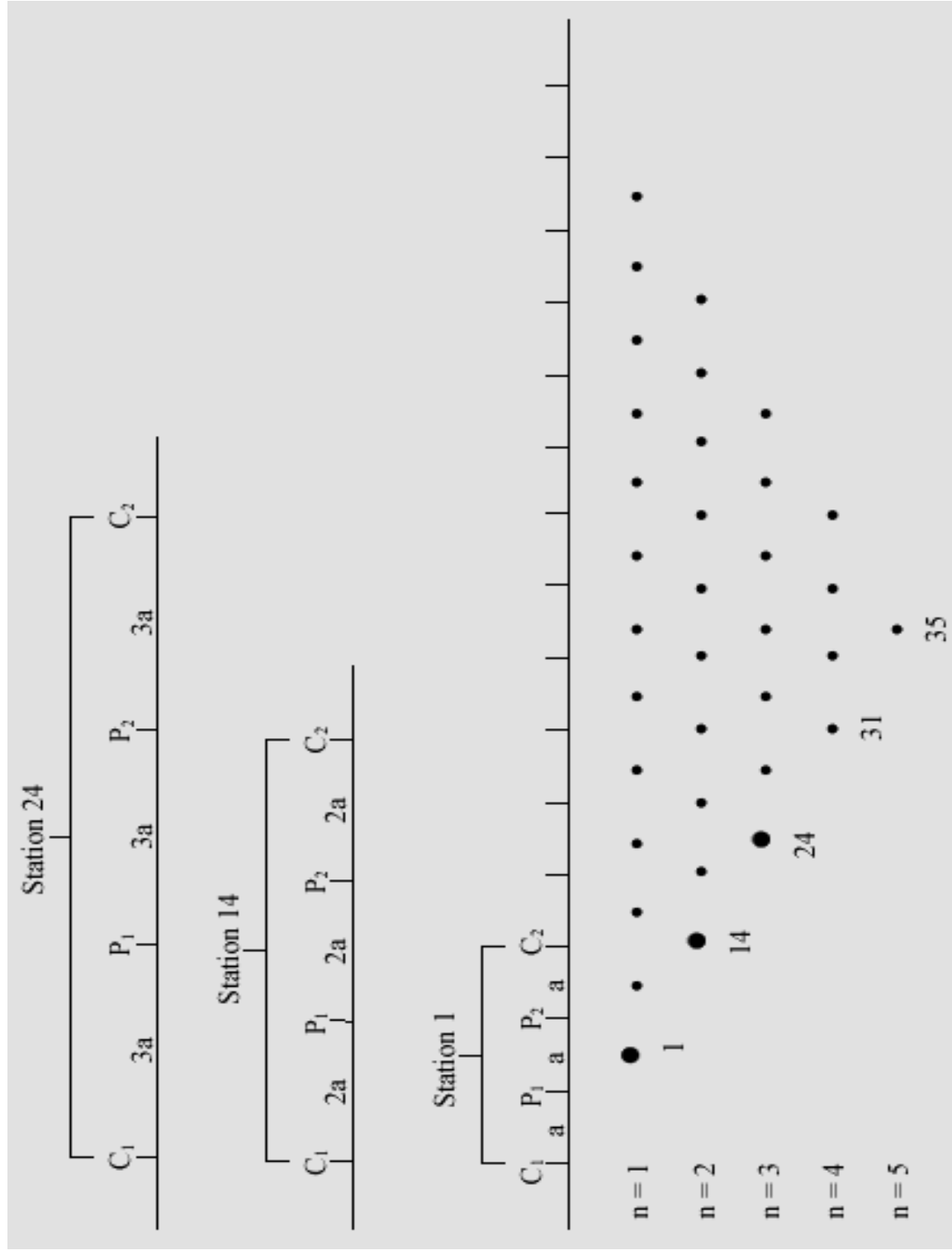
$$C_L = h / \rho = h \cdot \sigma \quad \text{en } S$$

Tous les couples $h\rho$ ont un effet comparables sur le calcul direct tant que C_L reste constant

(sous réserve de conserver les résistivités électriques bien contrastées)



$$\rho_2 < \rho_1 \text{ et } \rho_3$$



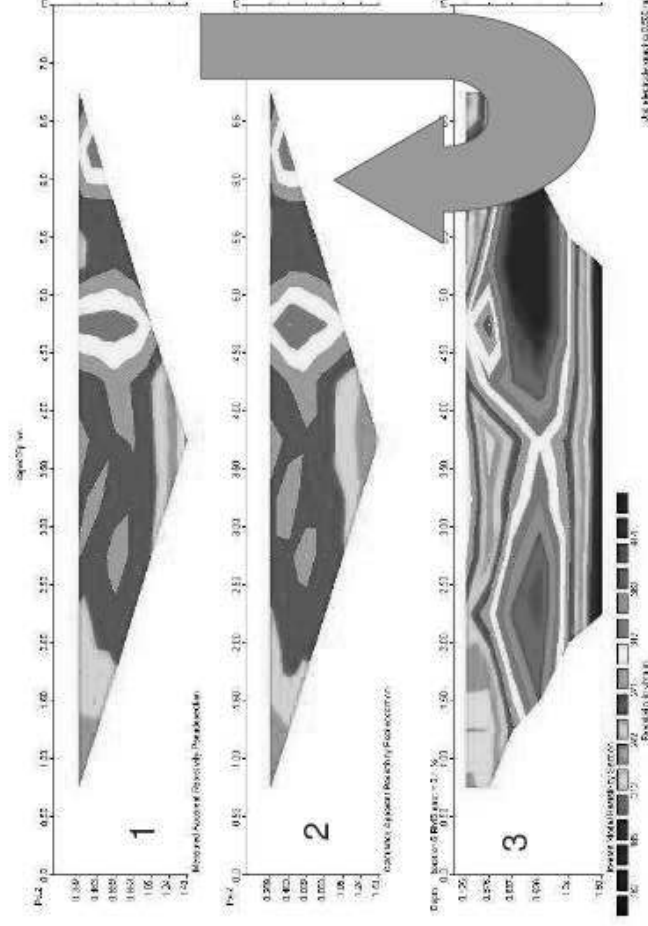
V.4 T.R.E.

• INVERSION

Pseudo-section (1):
Résistivité mesurée =
Résistivité apparente
($\rho_a = f(z_{\text{estime}})$)

Pseudo-section (2):
résistivité calculée (ρ_a
calculée) et comparée aux
résistivités mesurées (ρ_a) RMS

**Inversion des pseudo
sections (3)**
= fournir un modèle de
résistivité (ρ_{vrai}) de terrain
réaliste en terme de géométrie des
formations en comparant ρ_a
mesurée et ρ_a calculée



VI. CONCLUSION

Les techniques de mesure des résistivités électriques

- Adaptées à la description de la géologie
 - Gamme des résistivités étendue qui permet de discriminer les matériaux
- Sensible aux paramètres porosité, saturation, nature des roches
- Pas cher et rapide
- ATTENTION
 - interprétation non Univoque !!
 - difficulté de passer de l'interprétation physique (résistivité) à l'interprétation géol.