

## *Méthodes de classifications des sols et des roches.*

---

- **Essai in situ**

Les essais in situ sont plus utilisés que les essais de laboratoire. Les essais in situ testent directement le sol, ne nécessitent pas de prise d'échantillons et fournissent un sondage presque continu de plus, ils sont moins chers que les essais de laboratoire.

Les essais de laboratoire nécessitent un sondage carotté, des prises d'échantillons intacts et des essais au laboratoire avec un remaniement plus ou moins important des échantillons de sol entre le chantier de sondage et le laboratoire.

1. **Les forages**

Les forages peuvent être classés en trois catégories selon la méthode utilisée les forages carottés, les forages semi-destructifs et les forages destructifs. Le choix de cette méthode est conditionné par la nature des formations que l'on doit reconnaître ainsi que par le but recherché.

- **Les forages carottés**

Les forages carottés sont réalisés en découpant le terrain par rotation ou par poinçonnement à l'aide d'un tube creux appelé carottier muni à sa base d'une couronne ou d'une trousse coupante

- **Forages semi-destructifs**

On appelle semi-destructif un procédé qui ne permet pas le prélèvement d'échantillons intacts au sens de la mécanique des sols, mais qui permet d'extraire le sol d'une façon continue sous forme remaniée.

- **Forages destructifs**

Les forages destructifs sont réalisés, en général, par battage, rotation ou par vibration d'un outil spécial, le trépan, qui désorganise le matériau. Un fluide, air, eau ou boue, injecté par le train de tige, permet de remonter les sédiments et de les identifier. Dans le cas contraire, les sédiments sont récupérés à l'aide d'une soupape.

2. **Essai de pénétration statique (Cône pénétration test - CPT)**

- **Domaine d'application**

L'essai de pénétration statique s'applique à tous les sols fins et les sols grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 20 mm La longueur de pénétration est limitée à la force de réaction de l'appareillage (généralement de 100 kN en FRANCE). Il est

surtout utilisé pour le dimensionnement des pieux mais peut également servir à la classification des sols.

- **Principe de l'essai**

L'essai de pénétration statique consiste à enfoncer dans le sol, à vitesse constante, un train de tiges terminé par une pointe munie d'un cône et à mesurer de manière continue la résistance à la pénétration de ce cône

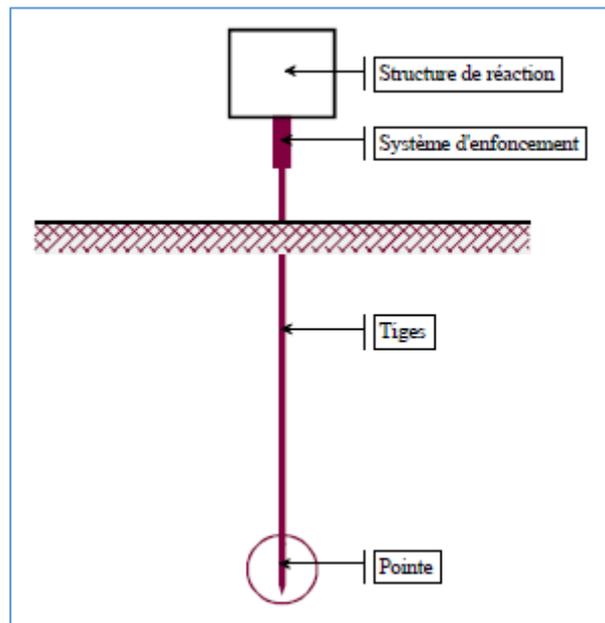


Fig1 Schéma du pénétromètre statique

On peut, en plus, mesurer l'effort total de pénétration et l'effort de frottement latéral local sur un manchon situé au-dessus du cône. L'essai consiste pendant l'enfoncement du train de tiges à enregistrer simultanément, en continu, la résistance à la pénétration du cône en fonction de la profondeur de la pointe. On peut éventuellement enregistrer également l'effort total de fonçage et l'effort de frottement latéral local

Les résultats sont présentés sous forme de graphiques, avec au moins la courbe de résistance à la pénétration du cône en fonction de la profondeur

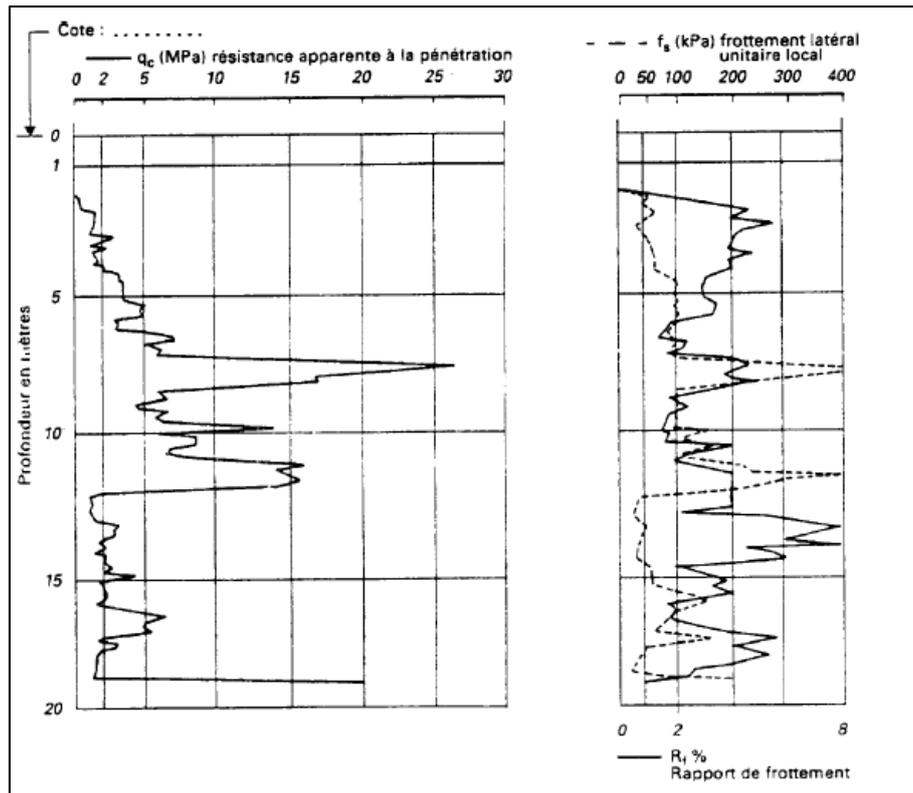


Fig2 Essai de pénétration statique

- **Identification des sols**

*Certains auteurs* ont proposé des abaques de classification des sols développés à partir des mesures effectuées au pénétromètre statique Cette approche nécessite une bonne connaissance de la géologie du site ou l'exécution préalable d'un sondage carotté proche des essais de pénétration statique. Un des abaques souvent utilisé est celui de Robertson et Campanella (1983),

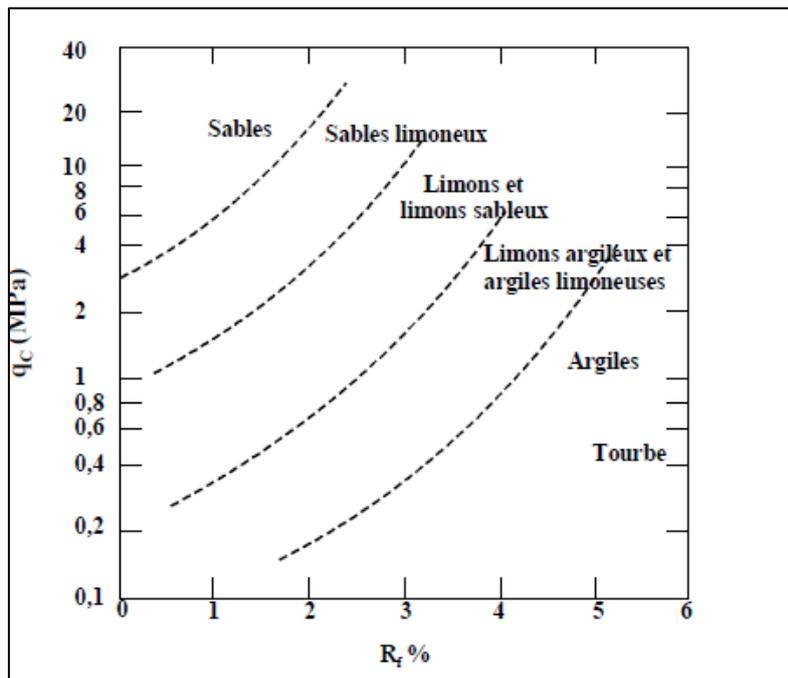


Fig3 Abaque d'identification des sols d'après Robertson & Campanella

### 3. Le pénétromètre dynamique

Le pénétromètre dynamique est un moyen simple, rapide et économique d'investigation des sols *in situ*. Il permet :

- d'apprécier de façon qualitative la résistance des terrains traversés, et de prévoir la réaction du sol à l'enfoncement de pieux.
- de déterminer l'épaisseur et la profondeur des différentes couches de sol.
- d'effectuer des contrôles de compactage
- D'estimer une caractéristique de portance, la « résistance dynamique de pointe »

- **Principe de l'essai:**

On enfonce dans le sol par battage, un train de tiges de faible diamètre muni à son extrémité d'une pointe, et on mesure le nombre de coups *N* nécessaires pour obtenir un enfoncement donné.

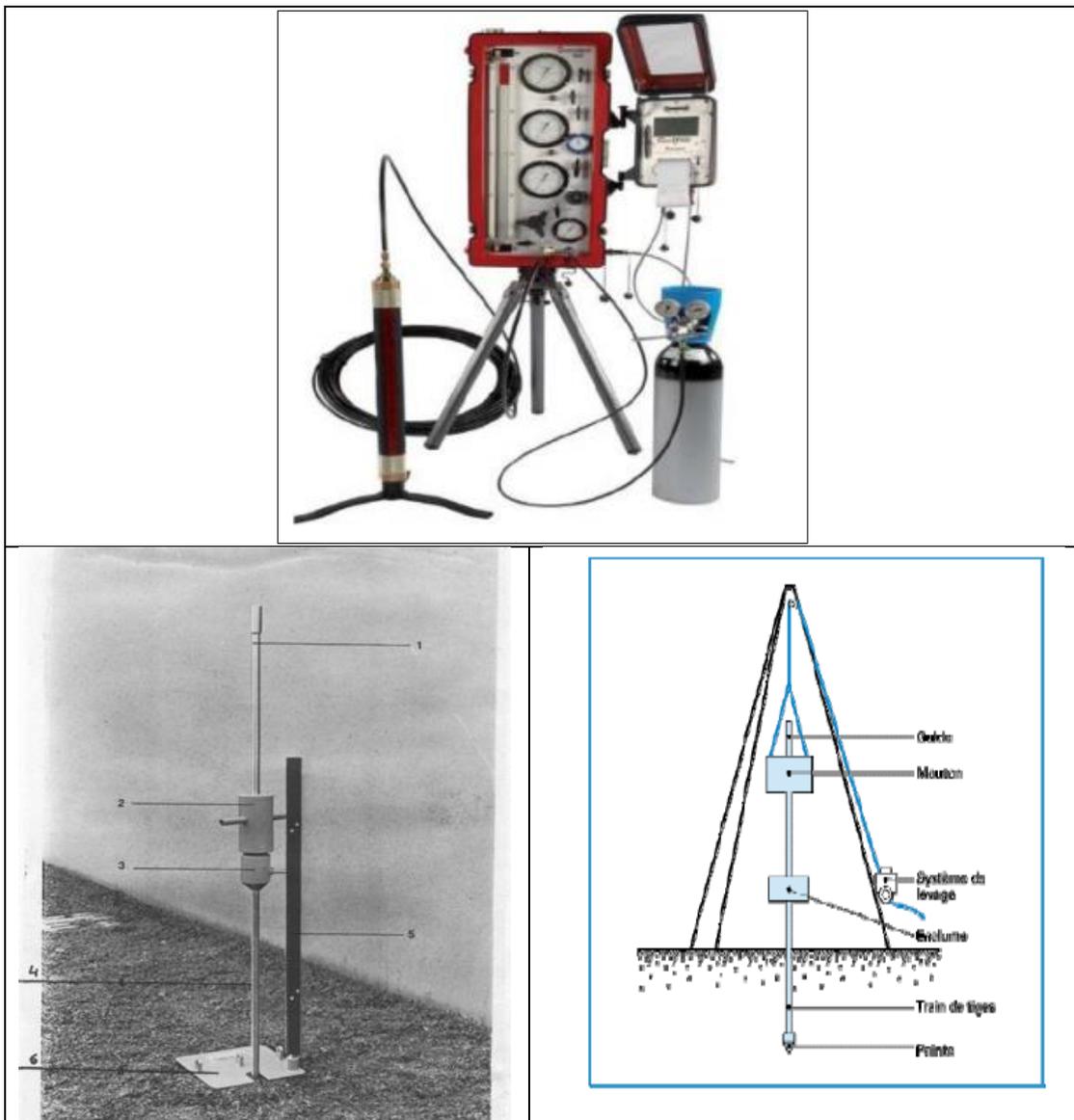


Fig4 Pénétromètre dynamique

#### 4. Essai pressiométrique MENARD (Ménard pressumeter test) PMT

L'essai pressiométrique peut être réalisé dans tous les types de sols saturés ou non, y compris dans le rocher (avec plus d'incertitude) et les remblais.

- **Principe de l'essai**

L'essai pressiométrique consiste à **dilater radialement** dans le sol **une sonde cylindrique** et à déterminer la relation entre la pression  $p$  appliquée sur le sol et le déplacement de la paroi de la sonde

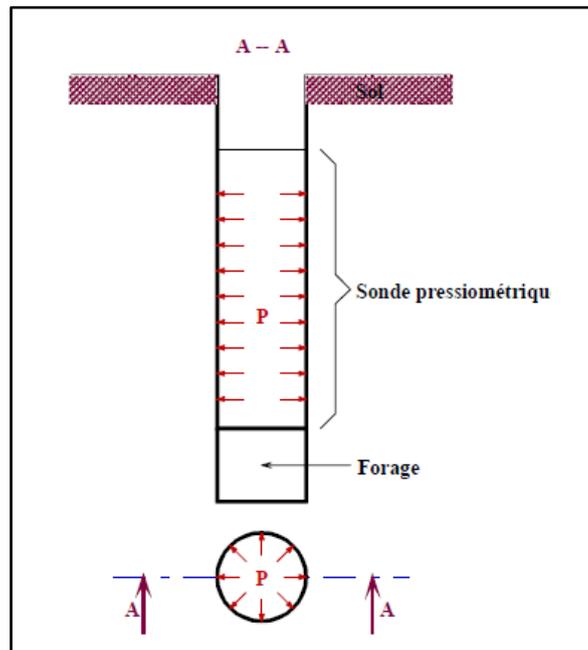


Fig5 Schéma d'un sondage pressiométrique

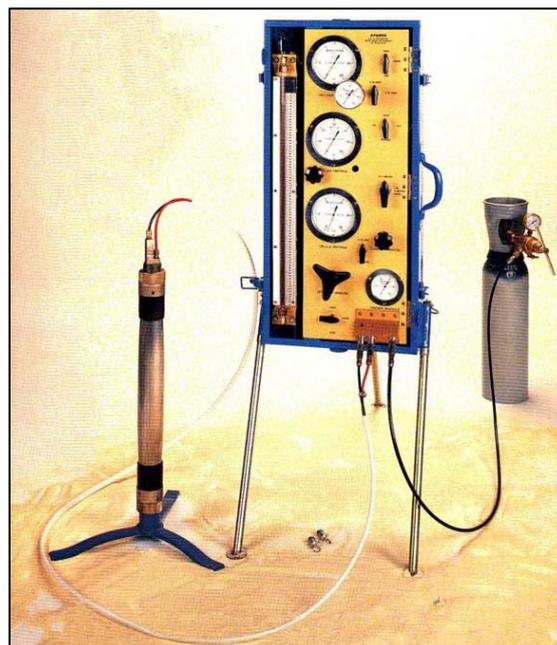


Fig6 Contrôleur Pression Volume (CPV) et Sonde (doc. APAGEO)

- **Réalisation du sondage pressiométrique**

Il comporte les deux opérations suivantes :

- ✓ Un forage destructif, opération la plus délicate, la qualité du forage dépend la fiabilité des résultats ;
- ✓ La réalisation de l'essai lui-même : essai pressiométrique ;

Deux techniques peuvent être employées :

- ✓ Le forage préalable **avec enregistrement des paramètres de forage**
- ✓ l'introduction par battage de la sonde placée dans un tube fendu.

- **Exemple de sondage pressiométrique**

La figure 7 montre l'ensemble d'un sondage pressiométrique dans un sable de Fontainebleau. Le forage a été exécuté à la tarière hélicoïdale THC, conformément à la norme. Quand le mode de forage le permet, ce qui est le cas pour cet exemple, le sondage donne une coupe litho-stratigraphique indicative des terrains traversés, dont il ne faut pas attendre évidemment la précision d'un sondage carotté. Les diagrammes indiquent respectivement le module, la pression de fluage et la pression limites nettes tous les mètres depuis la surface du sol.

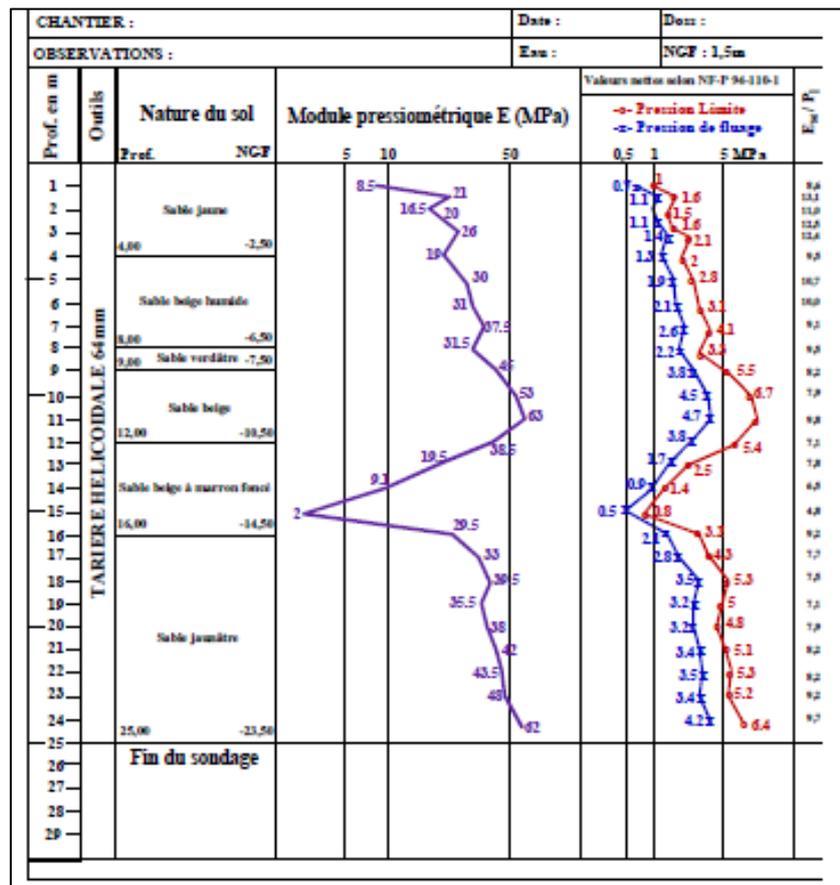


Fig7 Exemple de courbe pressiométrique (sable)

## 5. Essai de cisaillement (sur site) au phicomètre XP P 94-120

- **Domaine d'application**

L'essai de cisaillement au phicomètre s'applique à tous les types de sol saturés ou non, à l'exception des sols mous ou très lâches, aux roches peu altérées, aux sols contenant des gros blocs.

Il est destiné à mesurer in situ les caractéristiques de cisaillement in situ  $\phi_i$  et  $C_i$ . Il est principalement utilisé pour des sols grenus non prélevables.

- **Principe de l'essai.**

L'essai consiste à placer dans un forage préalable d'environ 63 mm une sonde munie de dents annulaires horizontales puis d'exercer sur les coquilles une pression radiale afin de faire pénétrer les dents dans le sol environnant. Un effort de traction est ensuite appliqué à vitesse contrôlée à partir de la surface du sol. L'effort limite mobilisable  $T$  sous la contrainte constante donne la contrainte de cisaillement correspondante  $\tau = T/S$ ,  $S$  représentant la surface latérale cisailée.

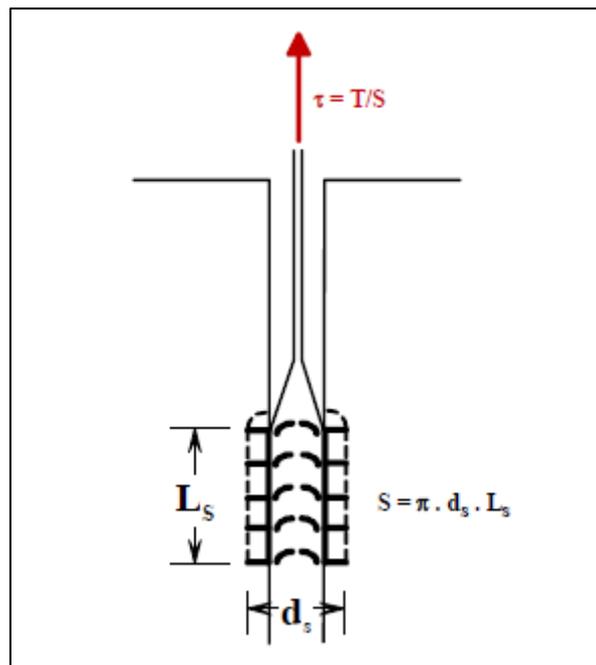


Fig8 Principe de l'essai au phicomètre

## 6. Les méthodes géophysiques

### 1. La gravimétrie

Le champ de gravité est la résultante de deux forces :

- L'attraction universelle, directement en rapport avec la masse des corps (densité)

- La force centrifuge, due a la rotation de la Terre (maximale à l'équateur et nulle aux pôles)

La gravimétrie, technique permettant **de détecter les variations de densité** des roches sous-jacente (selon la composition des terrains) à partir de la mesure de l'intensité du champ de gravité  $g$  comparée a une valeur de référence, se base donc sur les Lois d'attraction universelle (Lois de Newton), le potentiel gravitationnel et le champ gravitationnel.

- **Inconvénients:**

Quel que soit le gravimètre utilisé, il y a de nombreuses corrections à apporter aux mesures pour obtenir la valeur de la gravité.

## 2. Le sondage électrique : la méthode de Schlumberger

Il permet d'obtenir la succession verticale des résistivités. Les géométries sont très variées, la plus connue étant celle de Schlumberger.

Pour mesurer la résistivité des terrains, qui donne des indications sur la porosité et la teneur en eau des roches ; les sables et les graviers sont facilement identifiés

on injecte un courant électrique dans le sol avec une intensité ( $I$ ) connue comprise entre 1 et 5 A entre deux électrodes A, B. On mesure la différence de potentiel créée entre deux électrodes M, N.

Le matériel utilisé comprend :

- une batterie (pour l'alimentation de tout le système),
- un émetteur (pour contrôler les paramètres de l'injection de courant),
- un récepteur ou résistivimètre (pour enregistrer les données),
- un système de 4 électrodes (deux pour l'intensité et deux pour le potentiel ou réception),
- l'ensemble est complété par un réseau important de câbles électriques reliant les éléments.

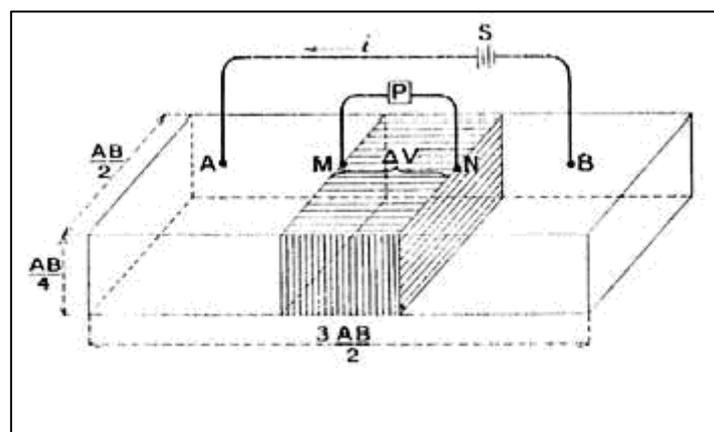


Fig9 Schéma du principe de la méthode de Schlumberger (Annales des Mines, 1989)

$$\rho = k (\Delta V / I)$$

Avec :  $\rho$  = résistivité du sous-sol en Ohm/m

$\Delta V$  = différence de potentiel entre les 2 électrodes M et N en volts

I = intensité du courant en ampères

k = facteur géométrique dépendant de la configuration du quadripôle (cette configuration se retrouvant dans des abaques)

Comme le sol n'est en général pas homogène, la valeur donnée par la formule ne correspond pas à la résistivité vraie d'une roche déterminée, mais à une moyenne des résistivités des diverses roches intéressées par la mesure. Cette moyenne est appelée la résistivité apparente du sol entre M et N.

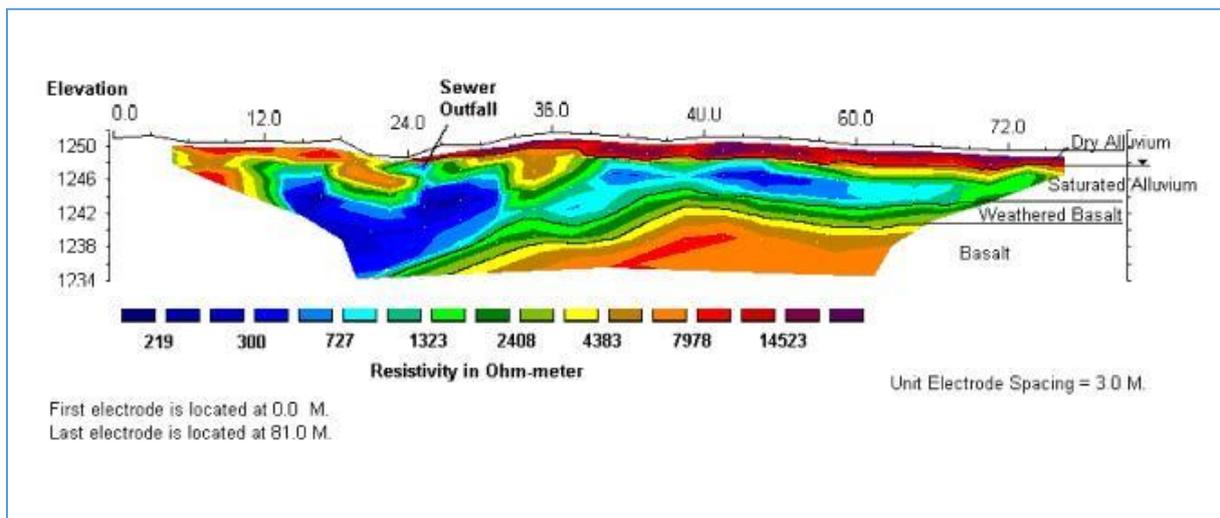


Fig10 Exemple de profil de résistivité en 2 dimensions  
(Earth Dynamics, 2005)

### Domaines d'applications :

- Détermination de l'épaisseur des couches sédimentaires de sables, de graviers et de gisements de minerais.
- Localisation de failles.
- Détermination de la profondeur d'une nappe phréatique.

### Avantage :

- Flexibilité des géométries possibles.
- Bonne résolution des terrains superficiels.