

Chapitre I : INTRODUCTION A LA GEOPHYSIQUE

Dans son sens le plus large la géophysique est la science qui étudie les propriétés et les phénomènes physiques de la terre qu'ils soient naturels ou artificiels, elle s'intéresse à la physique de la terre et de l'atmosphère qui l'entoure. Autrement dit, l'objectif principal de la géophysique consiste à déduire les propriétés physiques et la constitution du globe terrestre à partir des phénomènes physiques qui leurs sont associés. Par exemple : le champ géomagnétique, le champ de pesanteur, le flux de chaleur, la propagation des ondes sismiques

La géophysique appliquée ou prospection géophysique

La prospection géophysique est l'application des techniques dérivées de la physique à l'étude du sous-sol, elle est fondée sur la mesure à la surface du sol ou de la mer, parfois à partir d'un avion ou d'un hélicoptère, d'une grandeur physique dont la valeur est influencée par la structure du sous – sol et par la nature des roches qui la composent. Les méthodes les plus employées sont les méthodes gravimétriques, magnétiques, électriques, électromagnétiques et sismiques. L'utilisation de chacune de ces méthodes consiste d'abord en missions de terrain, puis en traitement des données acquises et enfin en une interprétation géologique des résultats ainsi obtenus.

Les objectifs habituels de la géophysique appliquée sont :

- La recherche du pétrole, des minerais, des ressources en eau
- Les études des sites de fondations de bâtiments ou d'édification de barrages, d'aménagement des bases aériennes, d'implantation de quai, le tracé des routes et des voies ferrées...

Classification de la géophysique

L'union des géophysiciens américains distingue 14 sections (voir planche)

L'union géodésique et géophysique internationale distingue 7 sections (voir planche).

Les géophysiciens français distinguent 3 sections comprenant :

- La géophysique externe difficile à délimiter, elle s'intéresse à l'étude de l'atmosphère et de la haute atmosphère]
- la géophysique de surface qui comprend (océanographie, glaciologie et la géochimie)
- la géophysique interne dont le domaine s'étend des eaux superficielles jusqu'au centre de la terre (gravimétrie, magnétisme, sismologie, la géophysique appliquée).

La prospection géophysique de grande reconnaissance ou à caractère régional (ou à petite échelle : 1/ 50000 ; 1/100 000)

Les campagnes géophysiques de grande reconnaissance sont souvent utilisées pour couvrir des régions entières, elles sont plus rapides pour le repérage des anomalies.

A cet effet, les méthodes géophysiques aéroportées ou Hélicoptées (aéro magnétisme, aéro électro magnétisme, aéro spectrométrie) semblent être les mieux appropriées pour étudier rapidement et à moindre coût de vastes régions souvent couvertes et d'accès difficile .Elles permettent de détecter des anomalies géophysiques, d'évaluer les potentialités minérales d'une part et la cartographie géologique et structurale d'autre part. Toute anomalie qui se révèle intéressante au cours de cette phase est étudiée ensuite en détail soit par campagne aéroportée soit au sol.A titre d'exemple, citons la couverture aéro magnétique et aéro spectrométrique entreprise par la firme aéro service (USA) pour le compte de la SONAREM, en vue de l'évaluation des potentialités minières que recèle le territoire national

Les méthodes potentielles (gravimétrie et géomagnétisme) permettent de localiser les structures régionales et de repérer les directions majeures des accidents tectoniques (zones de gradient), mise en évidence du socle cristallin. L'anomalie de Bouguer est positive dans le cas ou s'accumulent les éléments de forte densité, elle est négative pour le cas ou l'on observe une très grande quantité de matériaux légers.

Les méthodes magnéto telluriques

La MT est bien adaptée à la reconnaissance géologique des bassins sédimentaires dans lesquels l'horizontalité des couches est satisfaisante pour que la formulation et les méthodes d'interprétation habituelles puissent être appliquées..

La prospection géophysique de détail ou à grande échelle (1/10000, 1/5000, 1/2000)

Sur des surfaces délimitées et reconnues potentielles lors de la phase de grande reconnaissance ,on utilise des méthodes plus précises et plus efficaces ou de détail pour délimiter la structure afin d'évaluer les réserves en place .Il existe une grande variété de méthodes dont l'importance pratique joue un grand rôle dans la reconnaissance d'un bassin sédimentaire ou le développement d'un champ de minéraux utiles (à titre d'exemple citons la sismique réflexion ,la géo électricité, l'électromagnétisme la polarisation provoquée) .

Les méthodes géophysiques sont en général indirectes (excepté, la magnétométrie et la radioactivité).

Chap. IV : Dispositifs d'électrodes utilisés en prospection électriques par cc

Le dispositif Schlumberger (1912)

Ce dispositif doit sa découverte à Conrad Schlumberger qui l'avait essayé en 1912, c'est le dispositif le plus utilisé en prospection électrique, dans cette configuration les électrodes d'injection de courant A et B et de mesure de potentiel M et N sont alignées et disposées symétriquement par rapport au centre O du montage ($AO = BO = AB/2$; $MO = NO = MN/2$). La distance MN est très petite devant AB. En général $MN \leq AB/5$ mais elle ne doit en aucun cas être $< AB/10$.

En général, la formule utilisée pour le calcul de la résistivité électrique s'écrit :

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \left[\frac{2\pi}{\underbrace{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}_K} \right]$$

Dans la pratique, La formule la plus couramment utilisée s'écrit

$$\rho_{a,S} = K \Delta V / I \quad \text{Avec } K = \pi AM \cdot AN / MN$$

K- est le facteur géométrique, il s'exprime en m

ΔV . différence de potentiel en mV

I - Intensité de courant en mA

la mesure de la résistivité apparente est affectée au centre (O), milieu de AB.

La différence de potentiel ΔV mesurée est faible et décroît très vite quand l'écartement entre A et B augmente.

Avantages : Ce l'avantage de déplacer seulement une paire d'électrodes et de maintenir les deux autres fixes à chaque mesure.

Ce dispositif présente le double avantage de placer les mesures dans la zone où le champ électrique est le plus uniforme et d'être peu sensible aux hétérogénéités proches des prises de terre. En outre, l'effet des variations de la résistance superficielle est constant puisque les électrodes de potentiel sont fixes. La profondeur d'investigation est d'autant plus grande que l'écartement entre les électrodes d'émission est grand. Ce dispositif est recommandé pour la méthode du sondage électrique vertical.

Le dispositif de Wenner (1916)

Ce dispositif a été proposé pour la première fois en 1916 par le savant allemand Wenner.

Dans cette configuration les électrodes d'injection de courant A et B et de mesure de potentiel M et N sont alignées et régulièrement espacées : $AM = MN = NB = a = AB/3$

Pour ce dispositif, la formule utilisée pour le calcul de la résistivité apparente s'écrit :

$$\rho_{a,W} = K \cdot \Delta V / I \quad \text{avec } K = 2\pi \cdot a$$

K- est le facteur géométrique, il s'exprime en m

ΔV - différence de potentiel en mV

I -Intensité de courant en mA

Avantages: Ce dispositif conserve une sensibilité à peu près constante quel que soit la longueur de la ligne d'émission. Les mesures sont plus précises en raison des ΔV plus grands entre les électrodes de potentiel M et N. Il est recommandé pour le traîné électrique

Inconvénients : Le fait de déplacer toutes les électrodes à chaque station rend les mesures sensibles aux hétérogénéités locales de sorte que les diagrammes de sondage électriques soient affectés par les à-coups de prises. La profondeur d'investigation est faible en comparaison avec les autres dispositifs.

La géophysique appliquée ou prospection géophysique

La prospection géophysique est l'application des techniques dérivées de la physique à l'étude du sous-sol, elle est fondée sur la mesure à la surface du sol ou de la mer, parfois à partir d'un hélicoptère, d'une grandeur physique dont la valeur est influencée par la structure du sous-sol et par la nature des roches qui la composent. Les méthodes les plus employées sont les méthodes gravimétriques, magnétiques, électriques, électromagnétiques et sismiques. Elles sont caractérisées par leur pouvoir de pénétration (à quelles distances les roches font-elles sentir leurs effets sur les instruments de mesure?), leur pouvoir de résolution (Quelles sont les dimensions minimales des matériaux terrestres dont on peut estimer les propriétés?), leur spécificité (Que peut-on dire sur la nature des roches étudiées) et leur mode d'interprétation. Aucune méthode n'étant parfaite on est souvent amené à utiliser plusieurs successivement. On fait d'abord une étude de reconnaissance pour dégrossir le problème, puis des travaux de détail utilisant des méthodes de plus en plus puissantes et efficaces.

L'utilisation de chacune des méthodes géophysiques consiste d'abord en missions de terrain, puis en traitement des données et enfin en une interprétation géologique des résultats ainsi obtenus.

Les objectifs habituels de la géophysique appliquée sont :

- La recherche du pétrole, des minerais, des ressources en eau

Les études des sites de fondations de bâtiments ou d'édification de barrage, d'aménagement des bases aériennes,

L'utilisation de chacune des méthodes géophysiques consiste d'abord en missions de terrain, puis en traitement des données et enfin en une interprétation géologique des résultats ainsi obtenus.

Aucune méthode n'étant parfaite on est souvent amené à utiliser plusieurs successivement. On fait d'abord une étude de reconnaissance pour dégrossir le problème, puis des travaux de détail utilisant des méthodes de plus en plus puissantes et efficaces.

Classification de la géophysique

L'union des géophysiciens américains distingue 14 sections (voir planche)

L'union géodésique et géophysique internationale distingue 7 sections (voir planche).

Les géophysiciens français distinguent 3 sections comprenant :

La géophysique externe (atmosphère et haute atmosphère)

la géophysique de surface (océanographie, glaciologie, géochimie)

la géophysique interne (gravimétrie, magnétisme, sismologie, la géophysique appliquée).

Dispositif de dipôle-dipôle polaire ou axial :

est une configuration dans laquelle les dipôles d'injection de courant (A et B) et de mesure de potentiel (M et N) sont alignés. Les distances séparant les électrodes d'émission et de mesure de potentiel sont égales à la longueur (l) du dipôle, cette dernière est très petite devant l'écartement (L) entre les électrodes intérieures B et M. Cet écartement est généralement égal à nl (n = 1, 2, 3, 4, 5). Ce dispositif est le plus utilisé en pratique pour l'acquisition et la représentation des données de résistivité et de chargeabilité en pseudo sections. Documents représentant les paramètres précités en deux dimensions. L'avantage principal de ce dispositif réside dans le fait d'utiliser de courtes longueurs de lignes pour atteindre de grandes profondeurs d'investigation.

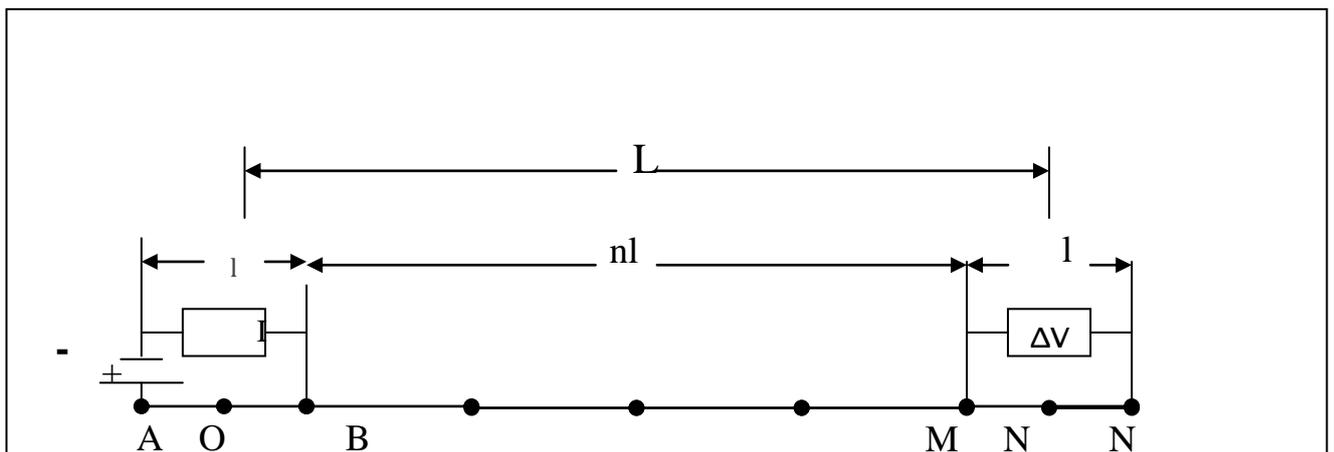


Schéma de principe du dispositif de dipôle dipôle polaire

Pour un dispositif à 4 électrodes comme celui de la figure ci-dessus, la résistivité apparente est calculée par la relation suivante

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \left[\frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \right]$$

K

Où K est appelé le facteur géométrique du dispositif d'électrodes, et où les unités sont :

- $I = \text{mA}$,
- $V = \text{mV}$,
- $\rho_a = \Omega \cdot \text{m}$,
- distance s en m.

En remplaçant

- $AM = BN = (n+1)l$;

- $BM = nl$;

- $AN = (n+2)l$

-

Il vient $\rho_{a,D} = \pi nl(n+1)(n+2)\Delta V/I$

$n=1, 2, 3, \dots$

Chap. V : Méthodes (ou techniques) de terrain utilisées en prospection électrique par courant continu

L'exploration du sol par la méthode de résistivité utilisant le courant continu se fait de deux façons distinctes :

1- Traîné ou profilage électrique (exploration horizontale)

Cette méthode consiste à mesurer la résistivité apparente du sous-sol à l'aide d'un quadripôle ABMN symétrique de dimension constante, traîné le long d'un profil piqueté au préalable avec un pas régulier et à déplacer le dispositif d'une station à l'autre en gardant les distances qui séparent les électrodes fixes. Le dispositif de Wenner est à préférer dans cette méthode. Lorsqu'on utilise les configurations Schlumberger et de Wenner, on garde la ligne AB fixe en grandeur et en orientation. Un traîné de résistivité groupe donc les informations correspondant à une même profondeur d'investigation et reflète bien les anomalies à l'intérieur d'une tranche de terrain intéressée par la mesure.

En mesurant la résistivité apparente avec un dispositif de dimensions fixes en des stations différentes, on obtient des profils de résistivités apparentes pour une certaine profondeur d'investigation. La couverture en résistivité de plusieurs profils suivant une maille donnée permet l'élaboration des cartes de résistivité apparente (document primordial en exploration électrique) Ces cartes sont interprétées qualitativement et permettent de localiser les structures pouvant être attribuées à des anomalies.

Conséquence : La longueur du dispositif étant fixe cela implique une profondeur d'investigation sensiblement constante. On obtient ainsi une image du sous-sol pour la profondeur d'investigation le long de la ligne suivie par le traîné.

2-Sondage électrique (exploration verticale du sous-sol)

Les sondages électriques fournissent des indications sur la répartition verticale des résistivités et des épaisseurs des couches, ils permettent de déterminer la coupe géo électrique du sous-sol. Le diagramme d'un sondage électrique $\rho_a = f(AB/2)$ traduit les variations de la résistivité apparente (ρ_a) à la verticale de la station de mesure piquetée au préalable le long d'un profil d'observation à l'aide d'une configuration à quatre électrodes A, M, N, B, le dispositif le mieux approprié pour cette technique est le SCHLUMBERGER,

Le mode opératoire consiste à allonger progressivement par pas successifs la ligne AB en maintenant la distance MN fixe jusqu'à ce que la différence de potentiel devienne difficile à mesurer, on procède ainsi à un ambrayage, les mesures peuvent se poursuivre jusqu'à un deuxième, troisième, ..., nième ambrayage.

Les résultats d'un sondage électrique sont représentés sous forme d'un diagramme où l'on porte en abscisse la demi-longueur AB/2, exprimée en mètre, et en ordonnée la résistivité apparente correspondante $\rho_{a,s}$ exprimée en $[\Omega \cdot m]$ sur un papier bi-log de module 6.25 cm.

La profondeur d'investigation dépend de la longueur de la ligne AB déroulée, elle est empirique et varie dans un rapport approximatif estimé entre AB/4 et AB/10

La courbe de sondage est un diagramme des variations de la ρ_a en fonction de la profondeur dont l'interprétation permet d'en déduire à partir des abaques théoriques et de logiciels appropriés les résistivités vraies et les épaisseurs des différents terrains.

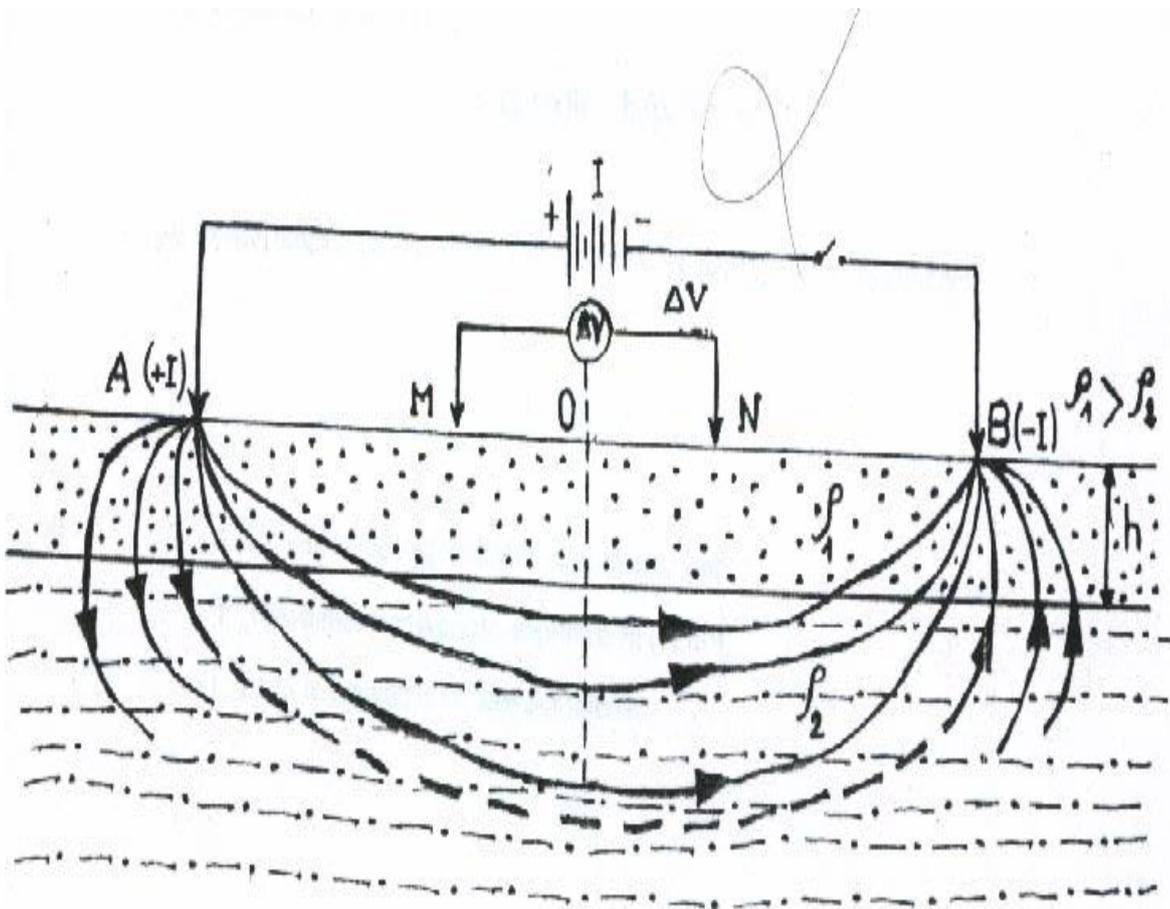


FIG. 10 SCHEMA DE PRINCIPE DU SONDAGE ELECTRIQUE

Interprétation des courbes de sondage électrique

L'interprétation d'une courbe de sondage électrique vertical se fait en deux étapes

1°)-Etape qualitative

Au cours de cette étape, on essaye de déterminer le type de courbe auquel on a affaire (A, H, K, Q), le nombre de terrains que comporte la courbe expérimentale et leur nature (résistant ou conducteur), les conditions auxquelles doivent satisfaire les résistivités des différents terrains et la structure hypothétique prospectée

2°)- Etape quantitative :

L'interprétation quantitative vise à déterminer les résistivités vraies (ρ_i), et les épaisseurs (h_i) des différentes couches, mises en évidence dans la première étape (un exemple d'interprétation détaillée sera traité dans les séances de TP).

Chap. IV : Dispositifs d'électrodes utilisés en prospection électriques par cc

Le dispositif Schlumberger (1912)

Ce dispositif doit sa découverte à Conrad Schlumberger qui l'avait essayé en 1912, c'est le dispositif le plus utilisé en prospection électrique, dans cette configuration les électrodes d'injection de courant A et B et de mesure de potentiel M et N sont alignées et disposées symétriquement par rapport au centre O du montage ($AO = BO = AB/2$; $MO = NO = MN/2$). La distance MN est très petite devant AB. En général $MN \leq AB/5$ mais elle ne doit en aucun cas être $< AB/10$.

En général, la formule utilisée pour le calcul de la résistivité électrique s'écrit :

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \underbrace{\left[\frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \right]}_K$$

Dans la pratique, La formule la plus couramment utilisée s'écrit

$$\rho_{a,S} = K \cdot \Delta V / I \quad \text{Avec } K = \pi \cdot AM \cdot AN / MN$$

Ce dispositif est rectiligne et symétrique par rapport au centre O (milieu d'AB) ; la mesure de résistivité apparente est affectée au centre (O), milieu de AB.

La différence de potentiel ΔV mesurée est faible et décroît très vite quand l'écartement entre A et B augmente. Ce dispositif présente l'avantage de déplacer seulement une paire d'électrodes et de maintenir les deux autres fixes à chaque mesure.

Ce dispositif présente le double avantage de placer les mesures dans la zone où le champ électrique est le plus uniforme et d'être peu sensible aux hétérogénéités proches des prises de terre. En outre, l'effet des variations de la résistance superficielle est constant puisque les électrodes de potentiel sont fixes. La profondeur d'investigation est d'autant plus grande que l'écartement entre les électrodes d'émission est grand.

Ce dispositif est recommandé pour la méthode du sondage électrique vertical.

Le dispositif de Wenner (1916)

Ce dispositif a été proposé pour la première fois en 1916 par le savant allemand Wenner.

Dans cette configuration les électrodes d'injection de courant A et B et de mesure de potentiel

M et N sont alignées et régulièrement espacées : $AM = MN = NB = a = AB/3$

Pour ce dispositif, la formule utilisée pour le calcul de la résistivité s'écrit :

$$\rho_{a,W} = K \cdot \Delta V / I \quad \text{avec } K = 2\pi \cdot a$$

Avantages: Ce dispositif conserve une sensibilité à peu près constante quel que soit la longueur de la ligne d'émission. Les mesures sont plus précises en raison des ΔV plus grands entre les électrodes de potentiel M et N. Il est recommandé pour le traîné électrique

Inconvénients : Le fait de déplacer toutes les électrodes à chaque station rend les mesures sensibles aux hétérogénéités locales de sorte que les diagrammes de sondage électriques soient affectés par les à-coups de prises. La profondeur d'investigation est faible en comparaison avec les autres dispositifs

Chap V : Méthodes (ou techniques) de terrain utilisées en prospection

électrique par courant continu

L'exploration du sol par la méthode de résistivité utilisant le courant continu se fait de deux façons distinctes :

1- Traîné ou profilage électrique (exploration horizontale)

Cette méthode consiste à mesurer la résistivité apparente du sous-sol à l'aide d'un quadripôle ABMN symétrique de dimension constante, traîné le long d'un profil piqueté au préalable avec un pas régulier et à déplacer le dispositif d'une station à l'autre en gardant les distances qui séparent les électrodes fixes. Le dispositif de Wenner est à préférer dans cette méthode. Lorsqu'on utilise les configurations Schlumberger et de Wenner, on garde la ligne AB fixe en grandeur et en orientation. Un traîné de résistivité groupe donc les informations correspondant à une même profondeur d'investigation et reflète bien les anomalies à l'intérieur d'une tranche de terrain intéressée par la mesure.

En mesurant la résistivité apparente avec un dispositif de dimensions fixes en des stations différentes, on obtient des profils de résistivités apparentes pour une certaine profondeur d'investigation. La couverture en résistivité de plusieurs profils suivant une maille donnée permet l'élaboration des cartes de résistivité apparente (document primordial en exploration électrique) Ces cartes sont interprétées qualitativement et permettent de localiser les structures pouvant être attribuées à des anomalies et donnent leur position.

Conséquence : La longueur du dispositif étant fixe cela implique une profondeur d'investigation sensiblement constante. On obtient ainsi une image du sous-sol pour la profondeur d'investigation le long de la ligne suivie par le traîné.

2-Sondage électrique (exploration verticale du sous-sol)

Les sondages électriques fournissent des indications sur la répartition verticale des résistivités et des épaisseurs des couches, ils permettent de déterminer la coupe géo électrique du sous-sol

Le diagramme d'un sondage électrique $\rho_a = f(AB/2)$ traduit les variations de la résistivité apparente (ρ_a) à la verticale de la station de mesure piquetée au préalable le long d'un profil d'observation à l'aide d'une configuration a quatre électrodes A, M, N, B, le dispositif le mieux approprié pour cette technique est le SCHLUMBERGER,

Le mode opératoire consiste à allonger progressivement par pas successifs la ligne AB en maintenant la distance MN fixe jusqu'à ce que la différence de potentiel devienne difficile à

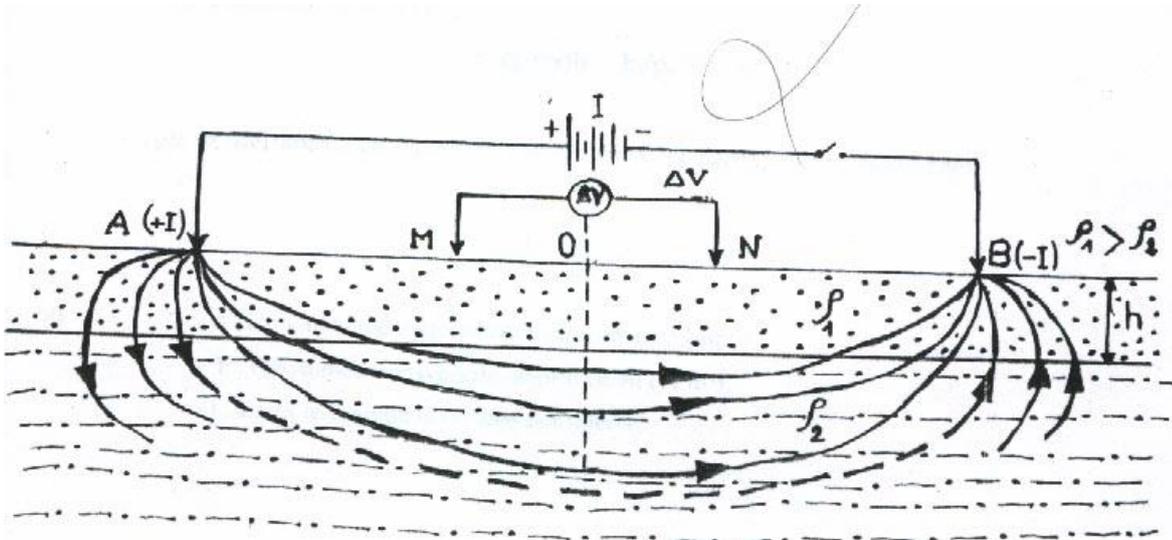


FIG. 10 SCHEMA DE PRINCIPE DU SONDAGE ELECTRIQUE

mesurer, on procède ainsi à un embrayage, les mesures peuvent se poursuivre jusqu'à un

Deuxième, troisième, ... n^{ième} embrayage.

Les résultats d'un sondage électrique sont représentés sous forme d'un diagramme où l'on porte en abscisse la demi-longueur $AB/2$, exprimé en mètre, et en ordonnée la résistivité apparente correspondante ρ_a exprimée en $[\Omega \cdot m]$ sur un papier bi-log de module 6.25 cm. La profondeur d'investigation dépend de la longueur de la ligne AB déroulée, elle est empirique et varie dans un rapport approximatif estimé entre $AB/4$ et $AB/10$

La courbe de sondage est un diagramme des variations de la ρ_a en fonction de la profondeur dont l'interprétation permet d'en déduire à partir des abaques théoriques ou de logiciels appropriés les résistivités vraies et les épaisseurs des différents terrains.

Interprétation des courbes de sondage électrique

L'interprétation d'un SEV se fait en deux étapes

1°)-Etape qualitative

Au cours de cette étape, on essaie de déterminer le type de courbe auquel on a affaire (A, H, K, Q), le nombre de terrains que comporte la courbe expérimentale et leur nature (résistant ou conducteur), les conditions auxquelles doivent satisfaire les résistivités des différents terrains et la structure hypothétique prospectée

2°)- Etape quantitative :

L'interprétation quantitative vise à déterminer les résistivités vraies (ρ_i), et les épaisseurs(h_i) des différentes couches, mises en évidence dans la première étape (un exemple d'interprétation détaillée sera traité dans les séances de TP).

**Cours de géophysique dispensé par Mr MEDKOUR
aux étudiants de la licence (Géologie fondamentale S5)
Année universitaire :2019/2020**

**Cours de géophysique dispensé par Mr MEDKOUR
aux étudiants de Master I GRM
Année universitaire : 2019/2020**