



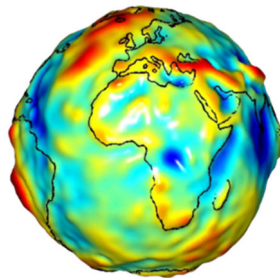
Université Djilali Liabés de Sidi Bel Abbès

Faculté de Technologie

Département de Génie Civil et Travaux Publics

**TAVAUX PRATIQUES**

**« GÉOPHYSIQUE APPLIQUÉE »**



**Dr. BENKABOU RIM**

**Année Universitaire : 2022-2023**

## Avant-propos

Le manuscrit suivant est un ensemble de travaux pratiques intitulée « TP's géophysique appliquée ». C'est un module attaché avec son cours, Ce dernier est destiné aux étudiants inscrit en 1ere année master géotechnique. La géophysique est une science qui étudie le globe terrestre. A travers ce module l'étudiant sera capable d'acquérir des informations théorique et expérimentale de la géophysique dans le génie civil. Il aura aussi la capacité d'employé la géophysique dans l'étude des grandes surfaces à distance, tel l'utilisation des aéroportés pour la mesure du champ magnétique naturel. Etudier l'effet du champ électromagnétique. D'une autre part, l'étudiant aura la capacité de distinguée entre les différentes méthodes ainsi que le mode d'utilisation de chacune d'entre elle.

Ce manuscrit contient 4 TP's selon le programme du cursus universitaire :

- TP 1. Méthodes gravimétriques et micro-gravimétriques
- TP2. Méthodes électriques
- TP3. Méthodes électromagnétiques
- TP4. Méthodes sismiques

## TP N°01 : Méthodes gravimétriques et micro-gravimétriques

### 1- But du TP :

Etude indirecte des variations de la densité du sous-sol.

### 2- Matériel utilisée :

-Des gravimètres ou des micro-gravimètres.

### 3- Méthodes gravimétriques

#### 3.1 Principe de l'essai :

La gravimétrie est l'étude des variations du champ de pesanteur à la surface du sol. Les étapes citées ci-dessous résument la manière de le faire :

- 1- Placer le gravimètre (**Figure.01**) dans le point où on veut mesurer son champ de pesanteur.
- 2- Le principe est de mesurer la force qui s'exerce sur une masse unitaire suspendue à un ressort (peson à ressort). Un gravimètre comporte des raffinements qui lui confèrent une très grande sensibilité et qui rendent la mesure aussi peu dépendante que possible de la pression atmosphérique ou de la température. La force qui s'exerce sur la masse du gravimètre dépend du temps (phénomène de la marée terrestre due à l'influence sur la valeur de la gravité de la position de la lune et du soleil). Elle dépend aussi de la latitude et de l'altitude du point de mesure ainsi que du relief.
- 3- On compare la valeur de la gravité en différents points d'un réseau maillé à celle d'un point de référence appelé base.
- 4- Ramenées toutes les mesures à la même altitude, corrigées des variations temporelles, de l'effet de la latitude et du relief.
- 5- On calcule ainsi « l'**anomalie de Bouguer** »
- 6- Interprétation des résultats qui consiste à l'identification des anomalies à partir d'un modèle géologique.

#### Remarque :

- **Attention il ne faut pas confondre entre l'altitude et la latitude car :**

L'**altitude** est la hauteur d'un lieu au-dessus du niveau de la mer (**altitude** zéro) par contre La **latitude** est la distance d'un point de la Terre par rapport à l'Equateur.

- Les gravimètres utilisés pour la reconnaissance ne servent pas à mesurer la gravité absolue mais ses variations dans l'espace et dans le temps, leur précision est de quelques microgals.



Figure.01 Micro-gravimètre (relatif) de terrain [1].

## 4- Méthodes micro-gravimétrique

### 4.1 Principe de l'essai :

#### 4.1.1 Phase de préparation

Il faut tout d'abord vérifier que le **choix de la méthode** est **bien approprié**. Il s'agit de répondre aux questions suivantes :

- ✓ Quelle est la taille prévisible des cavités que l'on recherche ?
- ✓ Quelle est leur profondeur présumée ?
- ✓ Dans quelles formations géologiques se trouvent-elles, sont-elles noyées ou hors d'eau ?

#### 4.1.2 Phase de mesure sur le terrain

- a- Repérée à l'aide de la topographie les points de mesures horizontale (X, Y) et en cote (z) pour les différentes altitudes entre celle de la base et celle de chaque point de mesure  
« Appelée station »

- b- Placer le micro-gravimètre (**Figure.01**) dans le point ou on veut mesurer son champ de pesanteur.
- c- Les mesures s'effectuent à partir de la base avec un cheminement de station en station et un retour à la base suivant une période approximative inférieure à 1 h. À chaque mesure, l'heure est notée. Elle servira à corriger les mesures de gravité des variations naturelles dues au mouvement de la lune et du soleil ainsi que de la dérive instrumentale.

**Remarques :**

- 1- Si l'amplitude de l'anomalie est inférieure à  $20\mu\text{gal}$ , on renonce à la micro-gravimétrie comme moyen de détecter les cavités ; si elle est supérieure, on choisit la distance entre les points de mesure (la maille) de manière à ce qu'elle soit inférieure au tiers de la distance entre les points où l'anomalie vaut la moitié de sa valeur maximale.
- 2- La préparation de la campagne comporte aussi le **Positionnement** sur un plan. Cette phase est délicate car elle détermine le nombre de points de mesure dont le prix de la prestation dépend directement. Les points doivent être suffisamment rapprochés pour que les anomalies soient bien définies.
- 3- Si le domaine à explorer est trop grand pour que le retour à la base ait lieu toutes les heures, on commence par établir un réseau de base.

## TP N°02 : Méthodes électriques

### 1- But du TP :

Les méthodes électriques procèdent une bonne précision du model géologique du sous-sol, plus particulièrement en génie civil par le sondage électrique. Il est bien indiqué lorsque l'on veut déterminer l'épaisseur d'altération, celle d'un matériau de recouvrement ou du matériau stérile avant exploitation d'une carrière (découverte) ou encore l'épaisseur d'une couche de gravier ou de sable entre une couche altérée de surface et un substratum rocheux.

### 2- Matériel utilisée :

- Un résistivimètre
- Une bobine de câble électrique
- 24 Electrodes en acier inoxydable
- 24 switch, qui relie entre le câble et les électrodes.



Figure.02 Machine Électrique (Résistivimètre) [2].

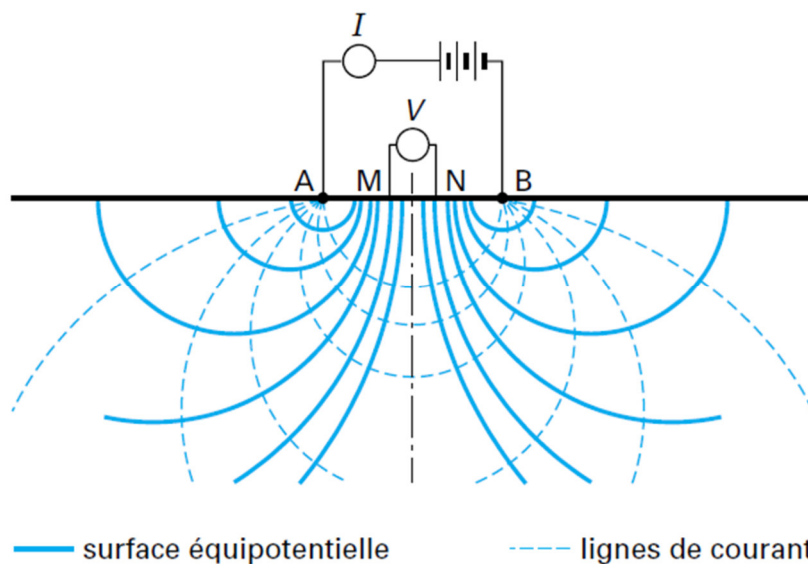
### 3- Sondage électrique

#### 3.1 Principe de la campagne

- 1- Installé à la surface du sol un dispositif quadripôle ABMN (**Figure.02**).
- 2- Reliées Les deux électrodes AB aux pole positif et négatif d'un générateur de courant électrique continu ou de basse fréquence (**Figure.03**)
- 3- Reliées les deux électrodes MN à un appareil de mesures de différences de potentiel (V).
- 4- A partir de 2 on mesure l'intensité I (A)
- 5- Calculer la résistivité apparente  $\rho_a$  par la formule suivante :

$$\rho_a = K V/I$$

- Le facteur géométrique k (m) dépend de la disposition géométrique relative des quatre électrodes ABMN
- 6- Les résultats des mesures du sondage électrique se traduit sous la forme d'un graphique (la courbe de sondage électrique) où AM est en abscisse et  $\rho_a$  en ordonnées.
  - 7- L'interprétation des résultats consiste à calculer à partir de la courbe de sondage électrique la variation de la résistivité du sous-sol en fonction de sa profondeur.



**Figure.03** Schéma d'une prospection électrique par courant continu [3].

## TP N°03 : Méthodes électromagnétiques

### 1- Introduction

Il y a deux grands types de méthodes électromagnétiques suivant les fréquences  $f$  de variation du champ électromagnétique observé. On a des Méthodes en basse fréquences. Deux méthodes relevant de cette catégorie sont d'usage courant :

- La radio magnétotellurique (radio-MT), dans laquelle on mesure  $E$  et  $H$  pour des fréquences correspondant à celles des émetteurs de radio diffusion, entre 8 kHz et 1 MHz.
- La méthode VLF dans laquelle on mesure l'inclinaison du champ  $H$  par rapport à la verticale pour des fréquences correspondant aux émetteurs VLF (entre 8 et 25 kHz).

### 2- But du TP :

La radio-magnétotellurique (radio-MT) sert à préciser l'étude géologique d'un site. C'est, en particulier, une technique bien indiquée pour identifier des contacts à faible profondeur (contact géologique incliné, contact par faille) et à en préciser la position. Bien adaptée à la cartographie, c'est aussi une technique à grand rendement qui permet de reconnaître de grands tracés linéaires (routes, voies ferrées, tranchées, canaux, tranchées) où elle aide notamment à prendre des décisions en matière de terrassements. Comme la prospection électrique par courant continu, elle permet de cartographier les variations d'épaisseur ou de nature (à l'aide de forages qui aident à caler l'interprétation) des matériaux altérés avant exploitation d'une carrière...

### 3- Matériel utilisée :

- Capteur de champ magnétique
- Capteur de champ électrique

### 4- Méthode Radio-magnétotellurique (radio-MT)

#### 4.1 Condition d'application :

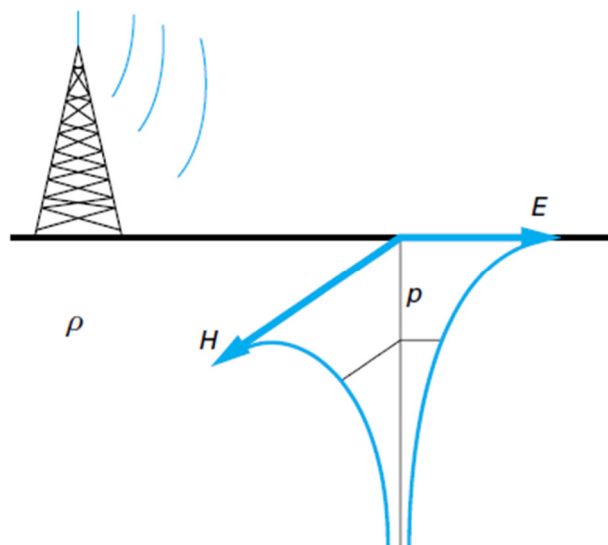
Il faut s'assurer que la technique radio MT sert bien à résoudre le problème. De ce fait il faut vérifier qu'il existe bien des contrastes de résistivité entre les différents matériaux que l'on



veut distinguer. Et que les émetteurs de radio diffusion que l'on peut capter dans la zone d'étude sont suffisamment puissants pour que le rapport signal/bruit soit acceptable et que les fréquences disponibles soient compatibles avec les profondeurs d'investigation recherchées.

### 3.2 Principe d'utilisation :

- 1- Prévoir la direction des profils et le mode de positionnement de l'appareil de mesure.
- 2- Moment des mesures : Il faut prendre garde à contrôler en temps réel le niveau des signaux reçus et l'évolution de la résistivité apparente sous forme de profils analogiques, l'acquisition des données (champ E, champ H, position) étant numérique. Le capteur de champ électrique doit être orienté dans une direction qui ne dépasse pas un angle d'une vingtaine de degrés par rapport à celle de l'émetteur. Le capteur de champ magnétique doit être **maintenu dans la direction perpendiculaire à celle du capteur de champ électrique**.



**Figure.04** Principe de la méthode radio-MT [3].

A partir de la **Figure.04** on note :

$$E(Z) = E(0) \exp(-Z/P)$$

$$H(Z) = H(0) \exp(-Z/P)$$

Avec :

Z : la profondeur sous la surface du sol homogène et de résistivité  $\rho$

P : la profondeur de pénétration et vaut :

$$P = \sqrt{\frac{\rho}{\pi\mu_0 f}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

**Remarque :** On conçoit facilement que la profondeur d'investigation d'une méthode électromagnétique est d'autant plus grande que la profondeur de pénétration est grande. Pour les méthodes où la source est à l'infini, on considère en général que la profondeur d'investigation vaut à peu près la moitié de  $P$ .

### 3- Traitement de données : tracer les profils et les cartes de résistivités apparente

- La première phase de l'interprétation est qualitative : elle consiste à identifier les zones homogènes du point de vue de leur résistivité apparente et à les relier à des matériaux ou des formations géologiques ainsi qu'à positionner les contacts, mettre en évidence des anomalies. Il est exceptionnel que, à cette phase, l'interprétation quantitative soit possible (exception : pour un matériau conducteur de résistivité connue sur un substratum isolant, on sait alors passer de la résistivité apparente à l'épaisseur de recouvrement — granite altéré sur granite, argile sur calcaire franc). On se sert donc des profils et des cartes pour implanter des sondages mécaniques (un par zone identifiée). L'interprétation des sondages mécaniques peut être extrapolée partout dans la zone d'étude (profil ou carte). L'interprétation simultanée des données de la radio-MT et des sondages mécaniques conduit donc à une connaissance qualitative (en termes de nature de matériaux) et quantitative (en termes d'épaisseurs et de limites des formations) de la géologie de la zone connue. Les résistivités serviront alors à aider à l'organisation des terrassements, à la décision de l'ouverture d'une carrière, à guider son exploitation, etc.)

## TP N°4 : Les méthodes sismiques

### 1- Introduction :

La méthode sismique qui consiste à placer les récepteurs à la surface du sol au voisinage de la source et à observer les arrivées réfléchies s'appelle la sismique réflexion. C'est la méthode géophysique la plus utilisée en prospection pétrolière. Elle est peu utilisée en génie civil, sauf lorsque l'on veut reconnaître les terrains sur de grandes épaisseurs comme pour l'étude des grands tunnels alpins. Cependant, les développements des nouvelles sources sismiques et de matériel d'enregistrement comptant un grand nombre de voies rendent la sismique réflexion de plus en plus performante en génie civil. Si, au contraire, la distance entre la source et les récepteurs est grande devant l'épaisseur des couches, on observe surtout les phénomènes de réfraction. Il s'agit de la sismique réfraction.

### 2- But du TP :

La méthode sismique est d'usage courant en génie civil. Elle sert à déterminer la géométrie des premières couches du sous-sol (quelques dizaines de mètres de profondeur au maximum), et des indications sur les propriétés géotechniques des matériaux (degré d'altération, aptitude au terrassement...). Plus particulièrement en Géotechnique / génie civil / exploitation de carrières (reconnaissance de la compacité des massifs rocheux et calcul de la rippabilité de

terrains).

#### Matériel utilisé :

- Un sismographe ou sismomètre
- Des géophones (capteur)
- un câble de transfert (flute sismique)
- Une source sismique (masse tombante, cartouche, explosif)
- un système radio pour le déclenchement de l'enregistrement. Des logiciels spécifiques permettent le traitement et la représentation des résultats.

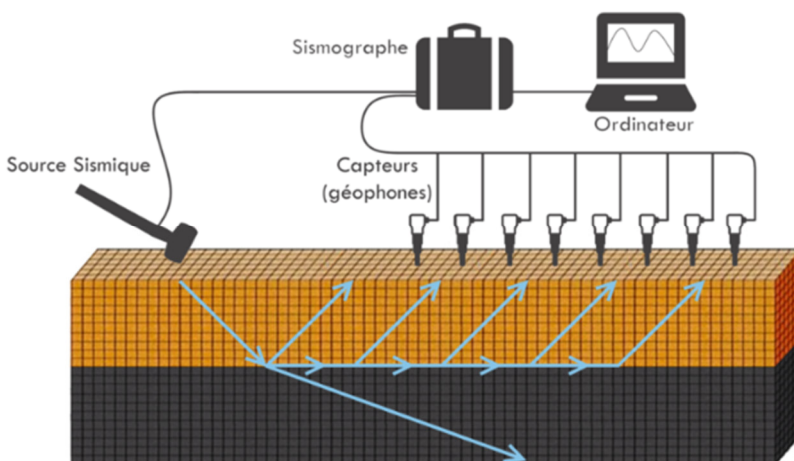


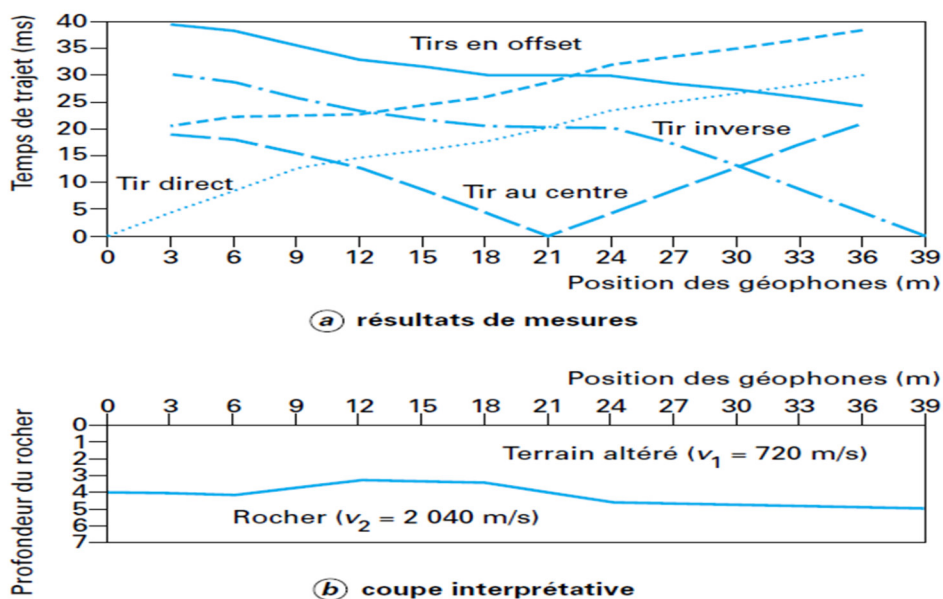
Figure.05 Principe de fonctionnement de la sismique réflexion [4].

### 3- Les méthodes sismiques

#### 3.1 Méthode Sismique réfraction :

##### 3.1.1 Principe d'utilisation :

- Placer les géophones à la surface du sol (entre 12 et 48 géophones maximum équidistant) le long d'un profil rectiligne (**Figure.05**)
- Activé une source sismique à l'une des extrémités du dispositif du géophone.
- Enregistrer les signaux produit par tous les géophones.
- Déplacer la source sismique à l'autre extrémité et il faut refaire les étapes précédentes. On appelle ça un tir direct et un tir inverse.
- On déplace une deuxième fois la source au milieu puis dans l'alignement du dispositif, mais à l'extérieur de celui-ci.
- Tracer un graphe pour chaque tir sur lequel on trouve la position des géophones en abscisse et le temps de trajet en ordonnée.
- Calculer la profondeur des différentes interfaces à l'aplomb de chaque géophone et les vitesses des ondes de compression dans les matériaux.
- Interprétation des résultats nous mène à préciser les propriétés et les répartitions des matériaux pour améliorer la connaissance de la géologie du site étudié, organiser le terrassement, etc.(**Figure.06**)

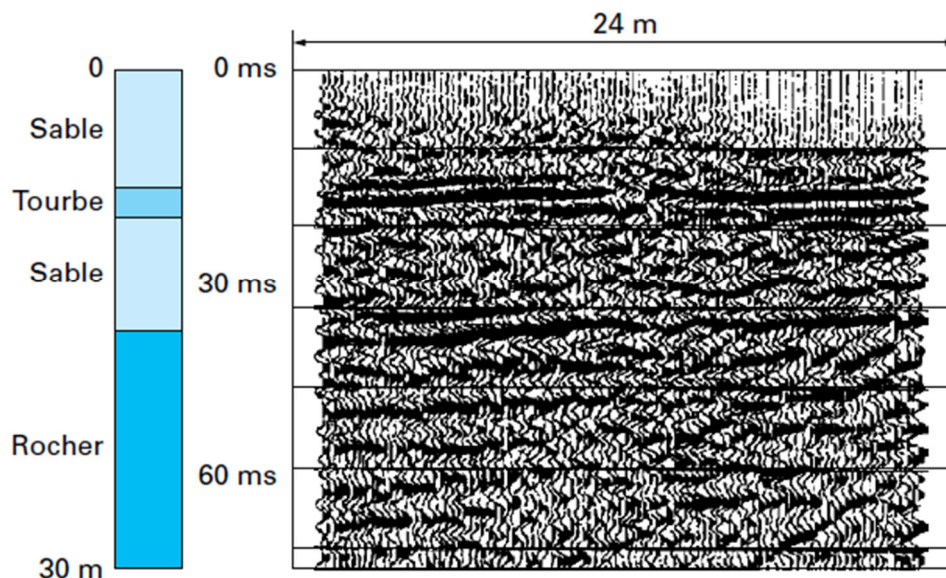


**Figure.06** Résultat d'un essai de sismique réfraction [3].

## 3.2 Méthode Sismique réfraction :

### 3.2.1 Principe d'utilisation :

- Placer des géophones suivant une ligne rectiligne
- Enregistrer le signal sismique en fonction du temps (sous forme de série) d'impulsion réfléchies sur les interface.
- Déplacer le dispositif source –géographe
- Les signaux correspondant aux position des dispositifs sont juxtaposés sur une section sismique ou bien appelé coupe-temps, ou la coordonnée verticale représente le temps et la coordonnée horizontale est la position de la source par rapport au géophones.
- Traitement du coupes temps se fait afin de procéder à une identification mécanique du terrain (**Figure.07**)



**Figure.07** Résultat de la sismique réflexion [3].

## Références bibliographique

- [1] GEOREVA, site web [ <https://georeva.eu/fr/produit/microgravimetre-scintrex-cg-5/>], 2022.
- [2] BRAKENI.O, BELKNADIL.H, Les méthodes géophysiques appliquées au génie civil, Mémoire de fin d'études du diplôme master, 2021.
- [3] LaGABRIELLE. R, Géophysique appliquée au génie civil Technique de l'ingénieur, Technique de l'ingénieur, 2007.
- [4] GEXPLORE, site web [ <https://www.gexplore.fr/fr/la-sismique-refraction/>], 2022.