

## 1. Définition de la géophysique

La Géo-physique, ou physique de la Terre a pour but d'étudier les propriétés physiques du globe terrestre. Pour cela, le géophysicien se repère dans l'espace et le temps. Les trois mots clés qu'il a toujours à l'esprit sont : dynamique, structure et échelles. L'objectif principal de la géophysique est de déduire les propriétés physiques et la constitution de la Terre (ou d'autres corps du système solaire), à partir des phénomènes physiques qui leur sont associés, par exemple, le champ géomagnétique, le flux de chaleur, la propagation des ondes sismiques, la force de pesanteur, etc. On distingue dans cette discipline les méthodes dites de potentiel qui reposent sur l'étude des champs de pesanteur, magnétique, électrique d'une part, des méthodes portant sur la propagation des ondes d'autre part (sismologie, sismique réflexion, sismique réfraction, radar). La géophysique appliquée est la discipline qui consiste à étudier (observer, mesurer) un champ physique à la surface du sol ou dans des cavités creusées dans le sol. Ce champ physique, dont l'origine peut être naturelle ou provoquée, dépend d'un ou plusieurs paramètres caractéristiques des matériaux dont on cherche à déterminer la répartition dans le terrain.

Tableau 1 – Méthodes utilisées en géophysique

Méthode	Grandeur mesurée	Paramètre	Origine du champ physique
Gravimétrie	Champ de pesanteur	Masse volumique	Naturelle
Sismique	Temps de trajet	Vitesse d'ondes mécaniques	Provoquée
Électrique par courant injecté	Potentiel électrique	Résistivité	Provoquée
Magnétique	Champ magnétique	Susceptibilité magnétique	Naturelle
Electro-magnétique	Champ électro-magnétique	Résistivité et permittivité	Provoquée
Radioactivité	Événements	Radioactivité des roches	Naturelle ou provoquée

Chaque méthode mesure un paramètre différent...

- Sismique (vitesse des ondes sismiques, m/s)
- Electrique (résistivité électrique ,  $\Omega \cdot m$ )
- Radar géologique (vitesse des ondes EM, m/ns)
- EM basse fréquence (conductivité électrique, mS/m)
- Magnétométrie (champs magnétique, nT)
- Gravimétrie (variation de densité,  $\mu\text{Gal}$ )

Tableau 2 – Principales techniques d’investigations

	Problématique
Sismique	 Etude de rippabilité  Détermination des paramètres dynamiques des terrains  Géométrie des terrains  Auscultation de pieux, de pale-planches etc.
Electrique	 Nature et géométrie des terrains
Radar	 Recherche de cavités, de réseaux, d’armatures, de fondations existantes, de vestiges archéo.
EM BF	 Diagnostic de grands linéaires (digues, chemins etc.)
Magnéto.	 Recherche de matériaux ferromagnétiques (UXO etc.)
Gravimétrie	 Détection de cavités

## 2. Paramètres physiques utilisés en géophysique

### 2.1. Masse volumique

*L’ordre de grandeur courant de la masse volumique des sols en place est de 2 000 kg/m<sup>3</sup>.*

Le champ de pesanteur dépend de la répartition des masses donc de la répartition de la masse volumique des matériaux du terrain.

Par exemple, l’existence d’une cavité souterraine correspond à un déficit de masse et provoque une anomalie négative de la pesanteur mesurée en surface. La *gravimétrie* est la méthode qui exploite ces phénomènes.

Une autre méthode géophysique est utilisée pour déterminer précisément la valeur de la masse volumique et sa répartition ; il s’agit de la méthode de **diagraphie différée** appelée gamma gamma.

### 2.2. Caractéristiques élastiques (modules d’élasticité, vitesses des ondes mécaniques)

La vitesse de propagation des ondes mécaniques dans les matériaux dépend de leurs modules d’élasticité (modules d’Young et de Poisson, coefficients de Lamé) et de leur masse volumique. Les méthodes sismiques ont pour but de découvrir la répartition des vitesses des ondes mécaniques.

*Les valeurs les plus basses (500 m/s) correspondent aux matériaux très altérés de surface, les valeurs les plus fortes (6 000 m/s) à du rocher très sain et non fracturé. Pour mémoire, la vitesse du son dans l’air est d’environ 340 m/s, dans l’eau elle vaut 1 425 m/s.*

Les principales méthodes sismiques sont la *sismique réfraction* et la *sismique réflexion*, la *tomographie sismique*, ainsi que les *diographies sonique et microsismique*.

### 2.3. Caractéristiques électriques

Les matériaux du sous-sol sont conducteurs de l’électricité. La **conductivité**, notée  $\sigma$ , est la grandeur qui caractérise cette propriété. Elle se mesure en siemens par mètre (S/m).

La **résistivité**, notée  $\rho$ , est l'inverse de la conductivité, elle se mesure en ohms-mètres ( $\Omega \cdot \text{m}$ ). Plus  $\rho$  est faible, plus le matériau est conducteur.

*La résistivité peut prendre des valeurs qui couvrent plusieurs ordres de grandeur, de quelques ohms-mètres pour des terrains très argileux et très humides à plusieurs dizaines de milliers d'ohms-mètres pour des matériaux rocheux très sains, en passant par toutes les valeurs intermédiaires.*

Il y a donc entre les matériaux des contrastes de résistivité très forts. Cela confère aux méthodes fondées sur la recherche de la répartition de la résistivité un grand pouvoir de discrimination entre les matériaux. Ces méthodes sont la **prospection électrique** par courant injecté et les méthodes **électromagnétiques en basses fréquences**.

#### 2.4. Caractéristiques magnétiques et électromagnétiques

Les propriétés magnétiques des matériaux sont quantifiées par la **perméabilité magnétique** relative  $\mu_r$  et la **susceptibilité magnétique**  $\chi$  :

$$\mu_r = 1 + \chi$$

Elles sont peu utilisées en génie civil. Une méthode magnétique est parfois utilisée pour rechercher des objets contenant du fer sur un site qui peut avoir servi de décharge (en revanche, le magnétisme est très utilisé en archéologie pour découvrir des restes de poteries ou d'autres hétérogénéités comme les vestiges du phare de Pharos). Nous ne parlerons pas dans cet article des méthodes magnétiques (signalons cependant qu'une nouvelle méthode de diagraphe mise au point par le CEA semble très prometteuse : la **magnétostratigraphie**).

Les caractéristiques électromagnétiques autres que  $\mu_r$  et  $\chi$  sont encore la **conductivité**  $\sigma$ , déjà citée, et la permittivité relative  $\epsilon_r$ .

Celle-ci a une influence sur la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques qui vaut :

$$v = c \sqrt{\epsilon_r}$$

avec  $c$  vitesse de la lumière dans le vide ( $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ).

$\epsilon_r$  vaut 1 pour l'air, environ 4 pour un matériau sec, jusqu'à environ 20 pour un matériau très humide et 80 pour l'eau.

*La vitesse de l'onde électromagnétique varie donc dans un rapport de 1 à 9 et peut être utilisée pour distinguer les matériaux du sous-sol.*

Les méthodes géophysiques fondées sur la détermination de la répartition des caractéristiques électromagnétiques ( $\epsilon_r$  et  $\sigma$ ) sont le **radar géologique** et la **tomographie électromagnétique** en ondes monochromatiques.

### 3. Méthodes géophysiques

Le fondement d'une méthode géophysique est l'influence de la valeur et de la répartition dans le sol d'une caractéristique physique particulière sur un champ physique.

Il faut souligner au passage que les caractéristiques qui viennent d'être évoquées ne sont pas toutes directement utiles à la conception des ouvrages. Elles servent simplement d'intermédiaires pour reconnaître la structure du sous-sol. C'est pour cela que la géophysique est souvent qualifiée de méthode indirecte de reconnaissance.

Lorsque, par exemple, l'extension d'une couche géologique est déterminée grâce à la résistivité du matériau qui la constitue, l'hypothèse qui justifie ce type de méthode est que, si la résistivité est constante, les propriétés géotechniques du matériau sont aussi constantes puisqu'il s'agit partout du même matériau. Il suffit donc d'évaluer les propriétés géotechniques en un point pour les connaître partout dans le matériau.

Le tableau 1 indique les six grandes méthodes utilisées en géophysique. Sur chaque ligne, on reconnaît les éléments de la définition 2.1. En particulier, on a indiqué dans la dernière colonne quelle était l'origine du champ physique observé, naturelle ou provoquée. Certaines

méthodes font en effet appel à un phénomène physique dont la source est parfaitement naturelle (gravimétrie, magnétisme, radioactivité naturelle), d'autres au contraire nécessitent l'emploi de sources artificielles (sismique, électrique, électromagnétisme, radioactivité provoquée).

Chacune des méthodes, définies par le domaine de la physique auquel elles se rattachent, est divisée en **techniques géophysiques** suivant le type de mise en oeuvre et les objectifs visés. On distingue les techniques géophysiques de surface, les techniques de forage et les diagraphies.

Les **techniques** géophysiques **de surface** sont mises en oeuvre uniquement à partir de la surface du sol.

Les **diagraphies** sont des techniques géophysiques mises en oeuvre à l'intérieur d'un forage et dont le rayon d'investigation n'est jamais beaucoup plus grand que le rayon du forage. Elles servent à mesurer en place un paramètre physique avec la meilleure définition verticale possible, mais elles ne permettent pas d'augmenter le rayon d'investigation du forage ni de porter un jugement sur le caractère représentatif des informations obtenues à partir du forage.

Les **techniques** géophysiques **de forage** tirent parti de l'existence d'un ou plusieurs forages pour se rapprocher de leur cible ; elles servent à augmenter le rayon d'investigation des forages, à obtenir des informations sur le sous-sol à des profondeurs plus grandes qu'avec les méthodes de surface et avec une meilleure résolution.

Les trois types de techniques sont naturellement complémentaires.

#### **4. Déroulement d'une campagne de géophysique**

Une campagne de géophysique comporte toujours cinq **phases** :

la conception ; la mesure sur le terrain ; le traitement des mesures ; l'interprétation géophysique des mesures ; l'interprétation en termes du problème de reconnaissance à résoudre.