



Classification géotechnique des sols...

9. LES ESSAIS À RÉALISER POUR CLASSER LES SOLS

Nous venons de voir que pour classer les sols et roches notamment par la norme NF P 11-300 il est nécessaire de connaître certaines caractéristiques ou coefficients qui ne peuvent s'évaluer qu'en laboratoire par un certain nombre d'essais.

9.1. L'essai Proctor : OPN et OPM

L'essai Proctor (norme NF P 94-093) a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.

L'Optimum Proctor Normal ou Modifié (OPN ou OPM) est la teneur en eau pour laquelle le sol atteint, pour une énergie de compactage donnée, une densité maximale.

Le principe de la méthode de cet essai consiste à compacter dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée, selon un processus bien défini, l'échantillon de sol à étudier, et à mesurer sa teneur en eau et son poids spécifique sec après compactage.

L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différentes teneurs en eau. On définit ainsi plusieurs points d'une courbe (γ_d ; ω) ; on trace cette courbe qui représente un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau optimale et l'ordonnée la densité sèche optimale.

Pour ces essais, on peut utiliser, selon la finesse des grains et la résistance souhaitée du sol deux types de moules :

- Le moule Proctor de 101,6 mm de diamètre et de 117 mm de hauteur qui donnera l'**Optimum Proctor Normal (OPN)** ;
- Le moule CBR de 152 mm de diamètre et de 126,6 mm de hauteur qui donnera l'**Optimum Proctor Modifié (OPM)**.

Ainsi le choix du moule et de l'intensité de compactage est fait en fonction de la surcharge que va subir l'ouvrage au cours de sa durée de vie :

- L'OPN sera pour une résistance souhaitée relativement faible, du type remblai non ou peu chargé ;
- L'OPM sera pour une forte résistance souhaitée, du type chaussée routière ou dallage industriel.

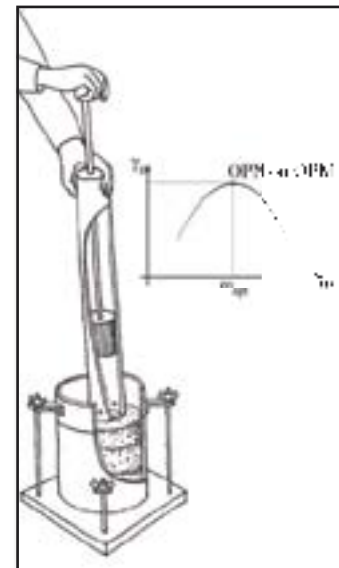


Figure 3.10. - Essai Proctor

9.2. L'essai « au Bleu » de Méthylène : VBS

L'essai « au bleu » de méthylène (norme NF P 94-068) a pour but de révéler la présence de fines de nature argileuse et d'en déterminer la concentration. On appelle « valeur au bleu VBS » d'un sol, la quantité en gramme de bleu de méthylène absorbée par 100 g de sol.

Cette méthode consiste à contrôler l'absorption du bleu de méthylène injecté dans un bain aqueux contenant la prise d'essai, en observant le comportement d'une goutte de suspension déposée sur une feuille de papier filtre. La tache formée se compose d'un dépôt central du matériau, coloré d'un bleu soutenu, entouré d'une zone humide. L'excès de bleu de méthylène



Les propriétés hydrauliques des sols...

6. LA GÉLIVITÉ

La gélivité est la propriété qu'ont les sols d'augmenter le volume sous l'action du gel. Lorsque le gel entraîne un accroissement important du volume d'un sol, on dit que ce sol est **gélif**, c'est-à-dire qu'il présente une grande gélivité. Inversement, les zones qui ne changent pas de volume sous l'effet du gel sont non gélives : elles ont une gélivité nulle.

6.1. Généralités

Pour qu'un sol augmente de volume sous l'action du gel, il doit nécessairement contenir de l'eau. En gelant, l'eau contenue dans les vides du sol se transforme en glace, et son volume augmente théoriquement de 9%. Si l'eau sature complètement les vides, c'est le volume du sol qui augmente de 9%. Une telle augmentation se traduit par un soulèvement à la surface du sol égal à 9% de la profondeur de gel. Lorsque l'eau ne remplit que partiellement les vides du sol, le soulèvement est moindre puisque les vides contenant de l'air absorbent une partie de l'accroissement de volume. Quant au sol sec, son volume ne varie pas quand la température tombe sous le point de congélation, et son comportement demeure inchangé.

Le soulèvement maximal d'un sol gelé devrait donc correspondre à 9% de la profondeur de gel. Dans certains sols, toutefois, on a pu observer des soulèvements dépassant cette valeur. En fait, des études ont révélé que les soulèvements causés par le gel étaient étroitement associés à la formation d'épaisses lentilles de glace au niveau du **front de gel** (profondeur maximale à laquelle pénètre le gel un moment donné). La formation des lentilles de glace survient dans les sols capillaires et dépend de la position de la nappe phréatique et de la perméabilité du sol.

Au-dessus du front de gel, l'eau du sol se transforme en cristaux de glace, d'où une augmentation du volume du sol d'au moins 9%. Lorsque les sols sont sujets à une remontée capillaire, l'eau provenant de la nappe phréatique monte jusqu'au front de gel et alimente les cristaux de glace qui s'y trouvent. Si le front de gel demeure stationnaire, les cristaux de glace grossissent, formant d'épaisses lentilles de glace. Naturellement, la proximité de la nappe phréatique accentue encore le processus. Si le sol est en outre assez perméable, l'ascension de l'eau capillaire vers le front de gel et la formation des lentilles de glace s'accélèrent, et d'importants soulèvements pourront alors se produire.

Comme on peut le constater, pour qu'un sol soit gélif, il doit être à la fois capillaire et assez perméable. Ce sont les argiles silteuses, les silts et les silts sablonneux qui, dans l'ensemble, manifestent la plus grande gélivité. Les sables très fins contenant de l'argile et du silt présentent aussi bien une gélivité assez grande. En fait, on a pu démontrer que des soulèvements dus au gel se produisaient dans les sols à granulométrie étalée contenant au moins 3% de particules inférieures à 0,02 mm et dans les sols à granulométrie serrée contenant au moins 10% de particules inférieures à 0,02 mm.

Les sols non gélifs se caractérisent par une très grande perméabilité et des remontées capillaires très faibles. Ils regroupent les graviers et les sables contenant moins de 1% de particules inférieures à 0,02 mm. Les sols contenant une très forte proportion d'argile présentent eux aussi une gélivité plutôt faible : pratiquement imperméables, ils empêchent l'eau de la nappe phréatique d'atteindre le front de gel et de former des lentilles de glace.



L'écoulement de l'eau dans les sols...

2. ÉTUDE DE CAS PRATIQUES

2.1. Rabattement de nappe

Les terrassements en terrains aquifères nécessitent la mise en œuvre de travaux préalables destinés à rendre le terrain praticable. Ces travaux consistent principalement à descendre provisoirement ou définitivement la nappe en dessous de la zone à excaver. On distingue des protections permanentes contre l'eau (rideaux de palplanches, parois moulées, parois injectées) et les protections provisoires (congélation des sols, rabattement de nappes).

Les systèmes de rabattement de nappes sont les plus utilisés, il s'agit de pompage dans un puisard, de pompage par pointes filtrantes, de puits filtrants ou de tranchées drainantes.

Les formules présentées ci-après s'appliquent lorsque le régime permanent est atteint et, lorsque toutes les conditions d'utilisation de la loi de Darcy sont remplies.

2.2. Cas du puits unique

2.2.1. Puits complet

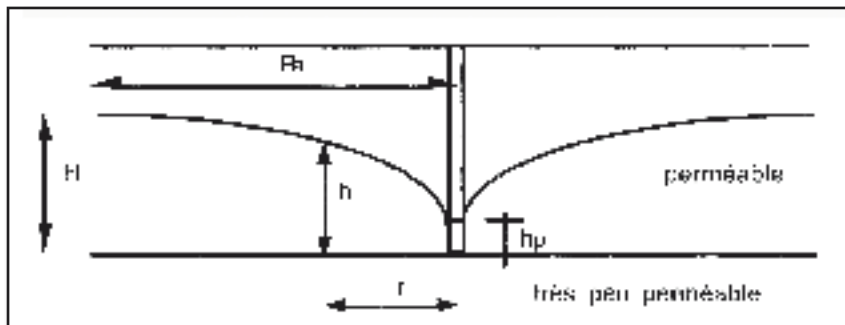


Figure 5.10. Puits complet

$$Q = \pi \cdot k_h \frac{H^2 - h_p^2}{\text{Ln}\left(\frac{R_a}{r_p}\right)} \quad \text{ou} \quad Q = \pi \cdot k_h \frac{H^2 - h^2}{\text{Ln}\left(\frac{R_a}{r}\right)}$$

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi \cdot k_h} \cdot \text{Ln}\left(\frac{R_a}{r}\right) \quad \text{ou} \quad H^2 - h_p^2 = \frac{Q}{\pi \cdot k_h} \cdot \text{Ln}\left(\frac{R_a}{r_p}\right)$$

Avec :

- Q : débit du puits (en m³/s) ;
- k_h : perméabilité horizontale du puits (en m/s) ;
- R_a : rayon d'action du puits (en m) ;
- r_p : rayon du puits (en m) ;
- H, h, h_p, r en m.



La résistance des sols au cisaillement...

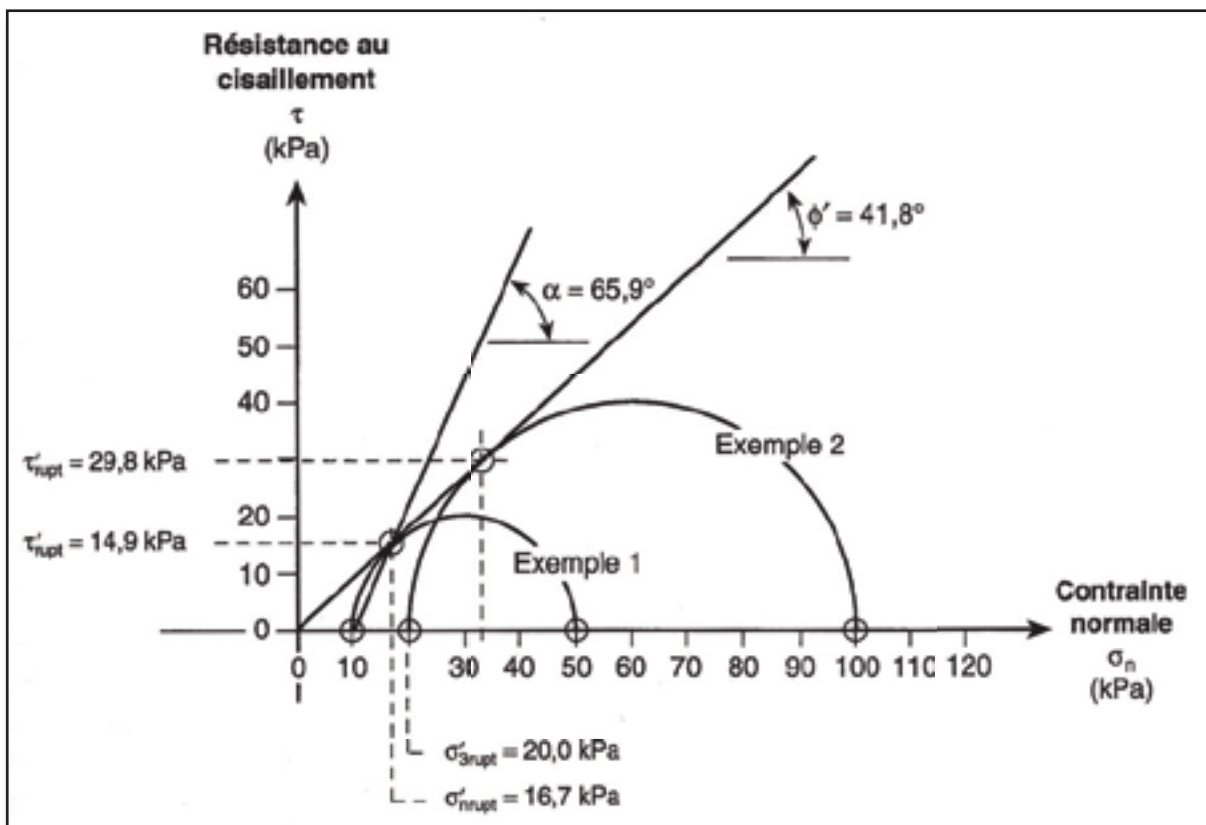
Avec les sols pulvérulents, on utilise habituellement un seul paramètre, l'angle de frottement interne ϕ' , car ces sols sont suffisamment perméables pour dissiper rapidement les augmentations de la pression interstitielle.

Lorsque l'application des charges sur un sol cohérent se fait plus rapidement que l'évacuation de l'eau contenue dans ses vides, on doit calculer la stabilité des ouvrages en se servant de la résistance au cisaillement non drainée c_u . On rencontre fréquemment cette situation lorsque des ouvrages sont construits rapidement sur des fondations reposant sur des sols argileux. Le plus souvent, la faible perméabilité des sols cohérents restreint l'évacuation de l'eau des vides et contribue à maintenir des pressions interstitielles élevées.

D'autre part, quand l'application des charges sur les sols cohérents est suffisamment lente pour que l'eau puisse s'évacuer des vides du sol, on utilise c' et ϕ' , les paramètres de la résistance au cisaillement exprimés selon la théorie des contraintes effectives. C'est le cas des barrages en terre érigée à un rythme relativement lent où toute pression interstitielle se dissipe au cours de la construction.

2.4. Exemples de calcul des contraintes à la rupture

Les exemples suivant sont illustrés par la figure 7.6 et montrent les étapes du calcul des contraintes à la rupture.





La reconnaissance et l'échantillonnage des sols...

2. LES ESSAIS GÉOPHYSIQUES

Les méthodes géophysiques sont surtout utilisées pour la reconnaissance des structures géologiques pour les projets de construction couvrant de grandes surfaces. Elles permettent d'obtenir rapidement et à faible coût une évaluation générale du sous-sol. Elles fournissent des renseignements qui complètent ceux recueillis par les sondages ponctuels. L'exploitation et l'interprétation des résultats permettent d'établir des cartes représentatives du sous-sol (cartes géologiques, cartes de formations superficielles, coupes des terrains,...).

Les essais géophysiques peuvent être utilisés dans l'étude préliminaire d'un projet important pour préciser les emplacements des ouvrages à implanter ainsi que les zones à éviter. Ils permettent également d'orienter l'implantation des sondages en vue d'une reconnaissance localisée et précise du sol.

Il existe plusieurs méthodes de reconnaissances géophysiques, et chacune d'elles mesure une propriété physique des matériaux. Deux de ces méthodes sont utilisés dans le BTP, d'une part la méthode électrique, d'autre part la méthode sismique.

2.1. Méthode électrique

La méthode électrique (ou de résistivité), basée sur la différence de conductibilité des différentes roches, consiste à envoyer dans le sol, au moyen de deux électrodes **A** et **B** un courant continu d'intensité **I** que crée un champ dont les lignes de force et les lignes équipotentielles sont indiquées, en coupe verticale, sur la figure 8.1, et à mesurer la différence de potentiel ΔV entre VC et VD de deux points C et D symétriques par rapport au milieu AB (figure 8.2).

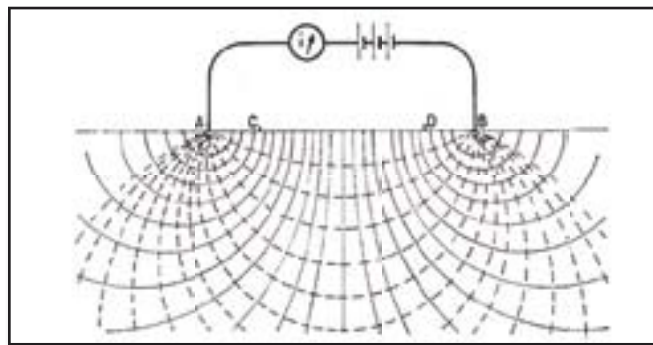


Figure 8.1. - Méthode électrique
(Source : Derampe)

Si le terrain est homogène et isotrope alors la résistivité est donnée par la relation :

$$\rho = \frac{2\pi (V_c V_D)}{I(AB^{-1} + BD^{-1} - AD^{-1} - BC^{-1})} \text{ (Formule de principe donnée à titre indicatif)}$$

Avec :

- **I** : intensité du courant ;
- **ρ** : la résistivité du sol.