

Chapitre 5

- **Les Sols :**
 - Compressibles → Argile
 - Perméables → Sable
- **Compactage :** densification des sols par application d'énergie mécanique. Le compactage peut entraîner des modifications de la teneur en eau, mais aussi des modifications de la granulométrie.
- L'unité de compactage est est livre pied/pied³
 $1 \text{ lb pi/pi}^3 = 47.88 \text{ J/m}^3$ et $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$
- **Méthodes de stabilisation :**
 - Stabilisation chimique : Malaxage ou injection de produits dans le sol (ciment, asphalte...)
 - Rabattement de la nappe d'eau : cette méthode n'est pas recommandée pour les travaux de fondations.
 - Préchargement : Comprimer le sol en appliquant des surcharges temporaires pour augmenter la résistance et réduire le tassement.
 - Pétrissage : une pression donnée pendant une fraction de seconde est appliquée à un sol.
- Proctor a démontré que le compactage est fonction de 4 variables :
 - La masse volumique du sol sec ρ_d .
 - La teneur en eau.
 - L'énergie de compactage.
 - Le type de sol (granulométrie, présence de minéraux argileux...)
- Il existe 2 essais Proctor normalisés :
 - L'essai Proctor standard.
 - L'essai Proctor modifié.
- **Compactage à l'aide de l'essai Proctor normalisé :**
L'essai consiste à humidifier un matériau à au moins 5 teneur en eau et à le compacter dans un moule selon un procédé et une énergie normalisé. On détermine pour chaque teneur en eau la masse volumique sèche du matériau.

En laboratoire, on utilise le compactage par impact dynamique qui consiste à laisser tomber à plusieurs reprises un marteau sur un échantillon contenu dans un moule. La masse du marteau, la hauteur de chute et le nombre de coups, le nombre de couches de sol et le volume du moule sont bien définis.

On dispose les résultats sur un graphique $\rho_d = f(w)$ et théoriquement on aura une courbe en cloche. Le sommet de la courbe est un point important, puisqu'à $\rho_{d \max}$ correspond la teneur en eau optimale w_{opt} .

Les valeurs typiques de $\rho_{d \max}$ se situent entre 1600 à 2000 kg/m^3 avec des valeurs possibles entre 1300 et 2400 kg/m^3 .

Les teneurs en eau optimales typiques se situent entre 10 à 20%, les valeurs extrêmes étant 5 à 40%.

Lorsque l'énergie de compactage augmente, $\rho_{d \max}$ augmente, alors que la teneur en eau diminue. La ligne qui relie les w_{opt} est la ligne des optimums, qui est plus ou moins parallèle à la courbe $S_r = 100\%$.

L'essai Proctor **modifié** a un marteau plus lourd et une hauteur de chute plus importante.

- **Méthodes pour déterminer la masse volumique sur le terrain : ($\rho_d \text{ in situ}$)**
 - Méthode du cône de sable.
 - Méthode du ballon.
 - Méthode du déversement d'eau.
- Les sols SW on une masse volumique sèche, ρ_d , plus élevée que les sols SP.
Pour les argiles, $\rho_{d \max}$ décroît quand la plasticité augmente.

- $w < w_{opt}$ → côté sec.
- $w > w_{opt}$ → côté humide.

Des recherches réalisées sur des argiles compactées ont prouvé que du côté sec de l'optimum, la structure des sols est indépendante de la méthode de compactage. Inversement, du côté humide, la méthode de compactage a un effet important sur la structure, la résistance et la compressibilité du sol.

- **La perméabilité (k) :** d'un échantillon compacté diminue, lorsque w augmente, et cela jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur minimale approchant l'optimum. Par ailleurs, une augmentation de l'énergie de compactage a pour effet de diminuer k , car e (indice des vides) diminue.
- **La compressibilité :** Plus grande du côté humide (contraintes faibles).
- **Le gonflement :** Plus grand du côté sec (déficit en eau donc absorption plus grande).
- **La résistance :** Plus grande du côté sec.
- **CBR : California Bearing Ratio**
L'indice CBR est égal au pourcentage de la résistance de l'échantillon à la résistance d'un échantillon étalon de pierres très compactes.

$$CBR = \frac{F_{sol}}{F_{matériau\ référence}} < 1 \quad ou < 100\%$$

$$w_{opt} - 2\% < w < w_{opt} + 2\%$$

Le CBR est très utilisé pour la conception des pavages.

- **Compacité Relative :** $CR = \frac{\rho_{d\ site}}{\rho_{d\ max}} \times 100$

$$CR = 80\% \rightarrow I_D = 0\%$$

$$CR = 80 + 0.2I_D$$

$$CR \geq 80\%$$

Figure 5.23 page 105 du cours :

Si on voudrait obtenir un CR de 90%, il faudrait que $w_a < w < w_c$.

Parfois il est nécessaire d'humidifier ou de sécher le sol avant de compacter.

La teneur en eau idéale correspond au point w_b , car w_b appartient à la ligne des optimums ; c'est là en effet qu'on utiliserait le minimum d'énergie de compactage pour obtenir CR=90%.

Le meilleur choix de l'entrepreneur de w est entre w_{opt} et w_b .

Si on travaille du côté humide → risque d'avoir le phénomène de surcompactage (si on compacte plus qu'il ne le faut, la résistance du sol va diminuer).

- Soit 4 couches de sol :
 - **Couche 1 = surface d'usure :** 200 à 250 mm de ciment portland ou de 20 à 80 mm de béton bitumineux.
 - **Couche 2 = la fondation :** 50 à 100 mm de béton bitumineux ou 150 à 300 mm de sable et graviers ou 150 à 200 mm de sable enrobé d'asphalte.
 - **Couche 3 = la sous-fondation :** on peut l'omettre parfois. 150 à 300 mm de sable et graviers.
 - **Couche 4 = sols d'infrastructures :** c'est le sol naturel qui sera compacté de 150 à 300 mm.