

CHAPITRE 1 : GÉOTECHNIQUE ET FONDATIONS

1.1 Constituants du sol

Un sol en place est constitué de grains solides baignant dans de l'eau et de l'air. C'est donc dans le cas le plus général un matériau complexe de trois phases :

$$\text{Sol} = \text{solide} + \text{liquide} + \text{gaz}$$

L'assemblage des grains solides forme le squelette du sol. Lorsque l'eau remplit tous les vides, il n'y a pas d'air le sol est dit *saturé*. Dans le cas contraire, l'eau se dépose par attraction capillaire en un film plus au moins épais autour des grains solides

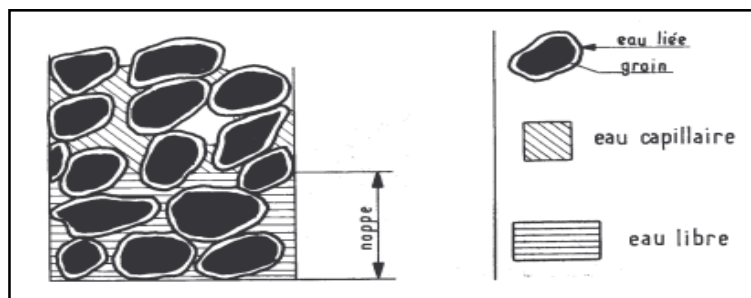


Figure 1.1 : Différents états de l'eau dans les sols

1.2 Classification des grains solides

Les grains solides sont classés selon leur taille. En considérant le diamètre moyen D , les catégories de sols suivantes sont distinguées :

- Blocs rocheux : $D > 200$ mm.
- Cailloux : $20 < D < 200$ mm.
- Graviers : $2 < D < 20$ mm.
- Sables grossiers : $0.2 < D < 2$ mm.
- Sables fins : $20 \mu\text{m} < D < 0.2$ mm.
- Limons (ou silts) : $2 \mu\text{m} < D < 20 \mu\text{m}$.
- Argiles : $< 2 \mu\text{m}$.

1.3 Propriétés physiques du sol

1.3.1 Poids et volumes

On définit les poids et les volumes des différentes phases du sol (figure 1.2) ;

W_s : poids des grains solides,

W_w : poids de l'eau,

W_a : poids de l'air (il est en général négligeable ; $W_a = 0$),

W : poids total du sol ; $W = W_s + W_w$,

V_s : volume des grains solides,

V_w : volume de l'eau,

V_a : volume de l'air,

V_v : volume des vides ; $V_v = V_w + V_a$,

V : volume total du sol ; $V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$.

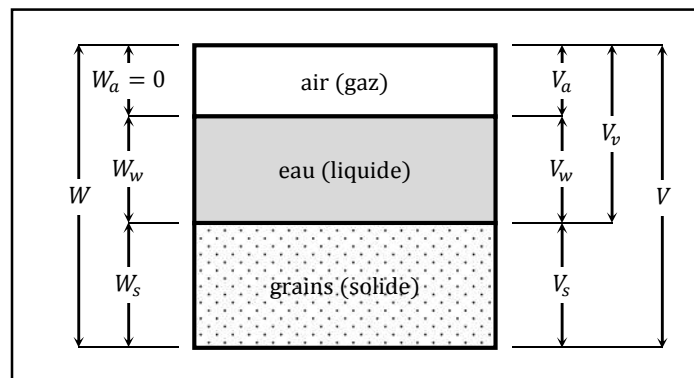


Figure 1.2 : Représentation conventionnelle en volume et en poids du sol

1.3.2 Poids volumiques

On définit les différents poids volumiques du sol qui, avec les poids et volumes, constituent les paramètres dimensionnels ;

– Poids volumique humide : γ_h ou γ

C'est le poids de sol contenu dans l'unité de volume. Il est appelé aussi poids volumique apparent ou plus brièvement poids volumique.

$$\gamma_h = \gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w + V_a}$$

– **Poids volumique sec : γ_d**

C'est le poids des grains solides contenus dans un volume unité de sol.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{W_s}{V_s + V_v} = \frac{W_s}{V_s + V_a}$$

Lorsque le sol est sec : $\gamma = \gamma_d$

– **Poids volumique des grains solides : γ_s**

C'est le poids de la matière constituant les grains solide dans un volume unité occupé par cette matière.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Pour un même sol, on a toujours ; $\gamma_d < \gamma_h < \gamma_s$.

– **Poids volumique de l'eau : γ_w**

C'est le poids de l'eau contenue dans un volume unité.

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

En pratique $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$.

– **Poids volumique du sol saturé : γ_{sat}**

Lorsque tous les vides sont remplis d'eau : $V_w = V_v$

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w}$$

– **Poids volumique du sol déjaugé : γ'**

Lorsque le sol est saturé, il convient de séparer les effets mécaniques de l'eau et du sol immergé. Chaque grain solide est alors soumis à la poussée d'Archimède et son poids volumique apparent est égal à $\gamma_s - \gamma_w$. Le poids volumique déjaugé est ;

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

1.3.3 Densités

On introduit aussi la notion de densité par rapport de l'eau qui est un paramètre adimensionnel ;

– **Densité humide : ρ_h ou ρ**

$$\rho_h = \rho = \frac{\gamma}{\gamma_w}$$

– **Densité sèche : ρ_d**

$$\rho_d = \frac{\gamma_d}{\gamma_w}$$

– **Densité des grains solides : ρ_s**

$$\rho_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

1.3.4 Porosité

La porosité n est le rapport du volume des vides au volume total du sol. Elle permet de connaître l'importance des vides c'est-à-dire de savoir si le sol est dans un état lâche ou serré ;

$$n = \frac{V_v}{V}$$

1.3.5 Indice des vides

L'indice des vides e est le rapport du volume des vides au volume des grains solides ;

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Il fait double emploi avec la porosité n mais son utilisation est plus commode dans certains problèmes.

La relation entre l'indice des vides e et la porosité n ;

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{nV}{V - nV} = \frac{n}{1 - n}$$

$$n = \frac{V_v}{V} = e = \frac{V_v}{V_s + V_v} = \frac{eV_s}{V_s + eV_s} = \frac{e}{1 + e}$$

1.3.6 Degré de saturation

Le degré de saturation S_r indique la quantité d'eau que contient le sol. C'est le rapport du volume occupé par l'eau au volume des vides ;

$$S_r = \frac{V_w}{V_v}$$

Il peut s'exprimer en pour-cent (%) et varier de $S_r = 0 \%$ (pour un sol sec) à 100% (pour un sol saturé). La figure 1.3 concrétise ces définitions.

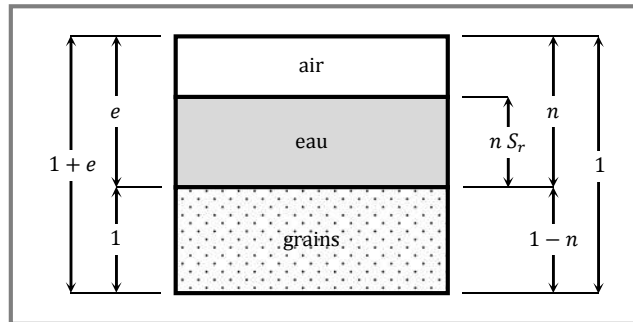


Figure 1.3 : Porosité, indice des vides et degré de saturation

1.3.7 Teneur en eau

Le teneur en eau w est, pour un volume du sol donné, le rapport du poids de l'eau au poids des grains solides. Elle peut s'exprimer en pour-cent (%);

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

1.4 Propriétés mécaniques du sol

1.4.1 Angle de frottement

La résistance au cisaillement d'un sol est due au frottement qui se manifeste aux points de contact entre les grains, elle est exprimée par un angle de frottement intergranulaire φ qui est d'autant plus élevé que le sol est *frottant*. Un sol plastique ou comportant en forte quantité d'argile est *peu frottant*.

1.4.2 Cohésion

Dans les sols très fins, en plus des frottements intergranulaires se manifeste des forces d'attraction entre grains qui se traduit par *une cohésion du sol*. Elle est exprimée par une pression qui se diminue avec l'augmentation de la teneur en eau des sols.

1.5 Élaboration d'un projet de fondation

Pour un projet de fondation, plusieurs phases sont réalisées qui sont :

- ✓ la reconnaissance géotechnique du sol support ;
- ✓ le choix du type de la fondation ;
- ✓ le calcul du taux de travail admissible du sol ;
- ✓ la prévision du tassement, et les recommandations relatives à l'exécution de la fondation.

1.5.1 Reconnaissance géotechnique du sol

Le but de cette reconnaissance est de déterminer le niveau d'assise de la fondation, c.à.d. le niveau de la couche porteuse. Cette reconnaissance peut être effectuée à l'aide de 2 types d'essai :

- Essai en laboratoire : prélèvements d'échantillons de sols analysés ensuite en laboratoire.
- Essai sur le terrain "*in situ*" : pénétromètre – pressiomètre. Ces différents essais de reconnaissance des sols permettent de :

- Déterminer la couche d'assise : sa position (profondeur), sa contrainte admissible, son comportement (tassement).

- De déterminer la position de la nappe phréatique (nappe d'eau).

Toutes les informations requises par les étapes précédentes seront récapitulées dans un rapport géotechnique appelé **rapport du sol**.

1.5.2 Choix du type de la fondation

Le choix d'une fondation superficielle peut être retenu si le sol est assez homogène, et s'il comprend des couches porteuses assez proches de la surface. Sinon il faut s'orienter vers le choix d'un autre type de fondation (semi-profonde ou profonde). Mais il faut toujours examiner avec soin le choix d'une fondation superficielle, en effet cette dernière revient toujours moins chère par rapport aux autres types de fondation. Cependant, lorsqu'un sol de fondation possède une capacité portante relativement faible (inférieure à 1 bars), le choix d'une fondation superficielle est envisageable en ayant recours à un radier général qui consiste en une

dalle à faible profondeur d'encastrement, et qui permet notamment une meilleure répartition des charges en diminuant la contrainte apportée par la structure sur le sol. Cependant, dans le cas de sols relativement compressibles et en raison de la dissymétrie des charges transmises par le radier le risque de basculement d'ensemble de la construction est plausible. Dans le cas des carburants ce problème est à examiner avec soins car il peut aboutir à condamner l'exploitation de ce réservoir.

Voici quelques facteurs présidant au choix et à la conception du type de fondations approprié pour un bâtiment :

- la configuration et l'ampleur des charges du bâtiment ;
- les conditions du sous-sol et des eaux souterraines ;
- la topographie du terrain ;
- L'incidence sur les propriétés adjacentes ;
- les exigences des codes du bâtiment ;
- la méthode et les risques de construction.

1.5.3 Contrainte admissible

Il est indispensable de connaître la valeur de contrainte admissible q_a de sol d'assise à un introduire dans l'étude. La détermination de cette contrainte peut soit être déduite de l'expérience, soit être déterminée par des essais sur le sol de fondations en laboratoire ou in-situ (comme pressiomètre ou pénétromètres).

En pratique, cette contrainte admissible peut être fixée à l'avance par l'expérience qui est déjà faite sur des sols similaires. En Algérie le règlement (DTR-BC 2.331 : 1991) donne, à titre indicatif, l'ordre de grandeur des contraintes admissibles en fonction de la nature du sol, en l'absence de tous problèmes particuliers ([tableau 1.1](#)).

Tableau 1.1

Nature du sol	q_a [bars]
Roches peu fissurées saines non désagrégées et de stratification favorable	5 à 30
Terrains non cohérents à bonne compacité	2,5 à 5
Terrains non cohérents à compacité moyenne	0,5 à 2,5
Argiles	0,2 à 2

1.5.4 Tassement admissible

Selon le règlement Algérien (DTR-BC 2.331 : 1991), le tassement admissible S_{adm} doit être réduit aux valeurs permettant de satisfaire aux conditions suivantes :

- les tassements ne doivent pas provoquer de désordres structuraux nuisibles dans l'ouvrage intéressé,
- les tassements ne doivent provoquer aucun désordre dans les ouvrages voisins liés ou non à l'ouvrage intéressé,
- les tassements ne doivent pas perturber le fonctionnement des services utilisateurs.

1.6 Fondations superficielles :

La fondation est en général un élément structural de l'ouvrage reposant sur un sol d'assise auquel elle transmet les actions provenant de l'ouvrage. La différence entre les fondations superficielles et les fondations profondes n'est pas définie de la profondeur d'ancrage mais en fonction de rapport largeur/ancrage. Selon le type d'ouvrage, on parlera des fois de fondations semi-profondes.

Selon le règlement Algérien DTR-BC 2.331/1991 - Règles de calcul des fondations superficielles, Les fondations en béton armé sont considérées superficielles lorsqu'elles transmettent les charges à une couche de sol résistant de faible profondeur ; où la condition suivante doit être vérifiée (Figure. 1.4) ;

$$\frac{D}{B} \leq 1,5$$

Avec ;

D : profondeur d'ancrage de fondation (aussi notée fiche ou hauteur d'encastrement),

B : largeur de fondation (c'est la plus petite dimension de section d'assise de fondation).

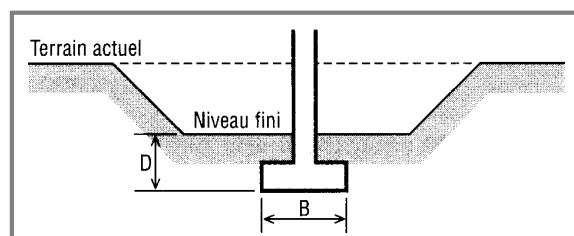


Figure 1.4

- la fondation est dite profonde lorsque $D > 5B$.
- la fondation est semi profonde lorsque $1,5 B < D < 5 B$.

Cependant, la limite entre les fondations superficielles et les fondations profondes varie selon les auteurs et selon les règlements. Par exemple, selon le règlement français DTU 13.12/1988 - Règles pour le calcul des fondations superficielles, il s'agit de fondations superficielles lorsque la largeur B à l'ancrage D vérifie l'une des conditions suivantes ;

$$\left\{ \begin{array}{l} D < 3 \text{ m} \\ \text{ou} \\ \frac{D}{B} < 6 \end{array} \right.$$

Lorsque ces conditions ne sont pas vérifiées, il s'agit des fondations profondes. La Figure 1.5 indique le domaine de chaque type de fondations.

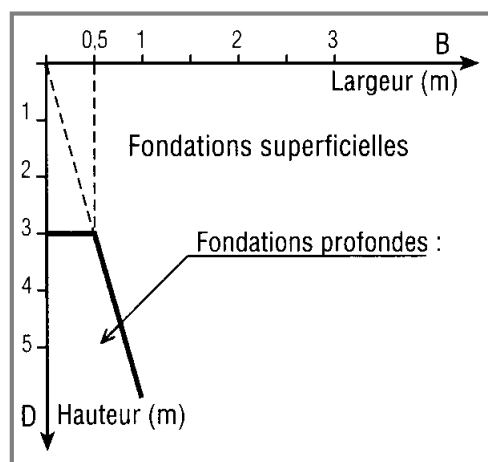


Figure 1.5

1.6.1 Types

Les fondations superficielles peuvent être classées en trois types ;

- A. **Semelles isolées** ; points de section carrée, rectangulaire ou circulaire sous poteaux.
- B. **Semelles filantes** ; continues sous mur ou plusieurs poteaux.
- C. **Radiers généraux** ; surfaciques sur murs ou poteaux

1.6.2 Dimensions minimales

On utilise les notations définies sur la Figure 1.6 La fondation superficielle doit avoir les dimensions minimales suivantes (Fig. 1.7) ;

La profondeur d'ancrage minimale doit être mise hors gel. Selon les sites, la profondeur d'ancrage est ;

$$\begin{cases} D \geq 0,5 \text{ m ; sites tempérés} \\ D \geq 1 \text{ m ; sites montagneux} \end{cases}$$

La longueur minimale doit être : $a' \geq 40 \text{ cm}$.

La largeur minimale doit être : $b' \geq 40 \text{ cm}$.

La hauteur minimale doit être : $h \geq 20 \text{ cm}$.

Le débord minimal doit être : a_0 ou $b_0 \geq 10 \text{ cm}$.

Le pied droit minimal doit être : $e \geq 6\phi + 6 \text{ cm}$, ϕ ; diamètre des armatures principales.

L'enrobage minimal des armatures doit être : $c \geq 3 \text{ cm}$.

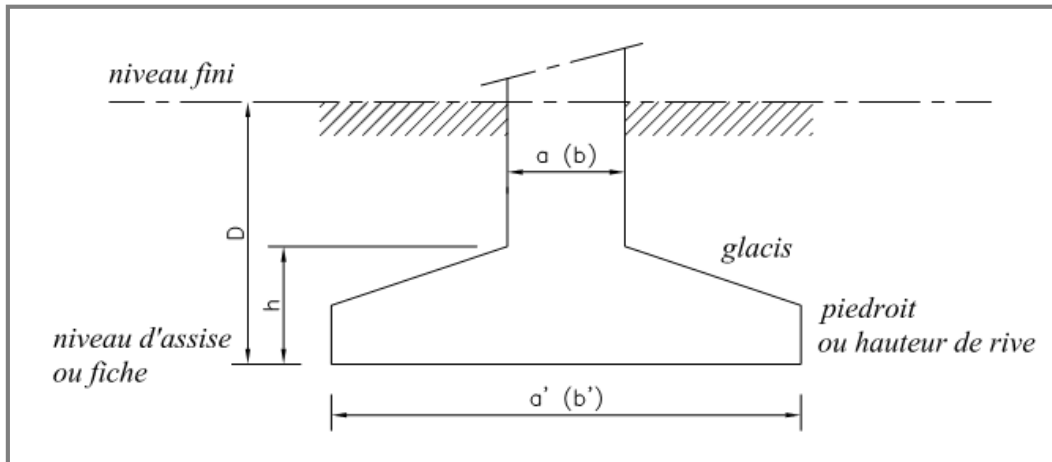


Figure 1.6

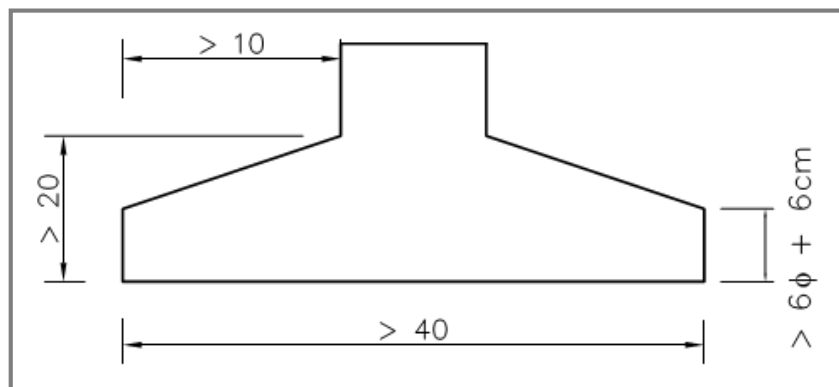


Figure 1.7