

Chap.3. Calcul de la Capacité portante des fondations superficielles.

3.1. Introduction.

La détermination de la charge admissible des fondations est l'un des problèmes les plus courants et les plus importants rencontrés en mécanique des sols.

Il existe plusieurs méthodes de calcul permettant d'obtenir la valeur de la pression limite. Les diverses méthodes sont basées sur l'emploi des résultats des différents essais de laboratoire et in situ (essai pressiométrique et pénétromètre). On se lit ici aux calculs fondés sur les résultats des essais de laboratoire.

L'objet de ce cours n'est pas de donner les solutions théoriques qui aboutissent aux formules générales, mais d'essayer d'aborder les différents cas particuliers que l'on peut rencontrer.

3.2. Reconnaissance des lieux et du sol.

Pour projeter correctement une fondation, il est indispensable de posséder des renseignements aussi précis que possible sur les caractéristiques géotechniques des différentes couches qui constitue le terrain de fondation.

3.3. Définition d'une fondation.

On désigne par fondation la partie enterrée d'un ouvrage, conçu pour transmettre au sol les charges provenant de la superstructure. Lorsque les caractéristiques mécaniques du sol sont convenables au voisinage de la surface, les fondations sont exécutées avec un encastrement minimum. (*Figure 1-1*)

La fondation est définie par :

B : sa largeur,

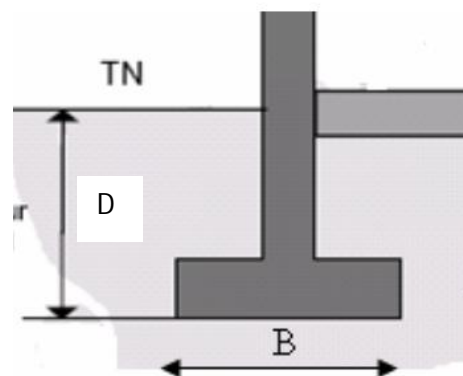
L : sa longueur et

D : la profondeur d'encastrement.

Suivant les valeurs du rapport D/B , on distingue les fondations superficielles des fondations profondes.

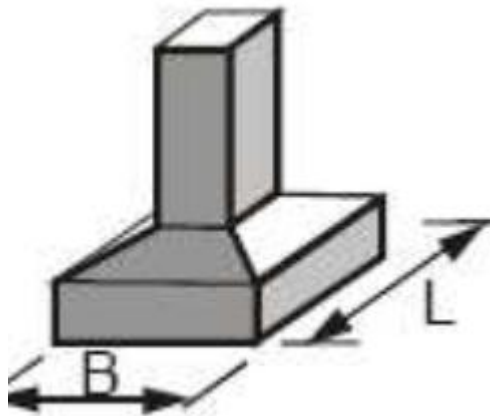
Pour $D/B < 4$: fondations superficielles (semelles)

Pour $D/B > 10$: fondations profondes (pieux)

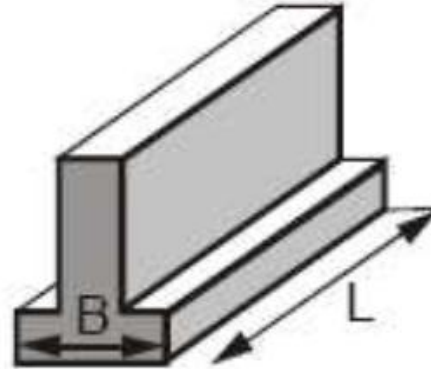


- Suivant la valeur du rapport L/B , on distingue les semelles filantes et les semelles isolées :

- Semelles isolées : une semelle est dite isolée si le rapport $L/B < 5$ (de forme carrée $B = L$, rectangulaire $B < L < 5B$ ou circulaire $B = 2R$).
- Semelles filante ou contenue : une semelle est dite filante si le rapport $L/B > 5$ ou 10



Semelles isolées



Semelles filante

3.4. Les valeurs de la capacité portante par expérience.

Après de nombreuses expériences sur la plupart des sols , on a établie des valeurs de la capacité portante (q_a) exprimée en bars ou Kgf/cm^2 .

- Ces valeurs ne sont applicables que pour les petits projets :
- Remblais 0.5 bars
- Terrain agricole 0.5 bars
- Argile lâche 0.5 - 1.0 bars
- Argile peu solide 1.0 – 2.0 bars
- Argile dur solide 2.0 – 4.0 bars
- Sable homogène compact 2.0 – 4.0 bars
- Sable ou gravier de bonne classe 4.0 – 6.0 bars
- Roche 10 – 20 bars

3.5. Calcul théorique de la capacité portante d'une fondation.

Le sol est caractérisé par la cohésion C , par l'angle de frottement interne du sol - ϕ - et par le poids volumique - γ - .

La cohésion C et par le poids volumique - γ - interviennent directement dans le calcul alors que l'angle de frottement intervient à partir des fonctions de portances N_γ ; N_ϕ ; N_c qui varient en fonction de - ϕ -.

3.5. 1. Cas d'un sol homogène et horizontal recevant des charges verticales et centrés.

3.5. 1.1. Cas d'une fondation filante.

Dans le cas d'une semelle filante, la contrainte de rupture sous charge verticale centrée est obtenue par la relation générale suivante (méthode de superposition de Terzaghi) :

$$q_{ul} = 0.5 \gamma B N_{\gamma} + \gamma D N_q + c N_c$$

- La contrainte admissible $-q_{ad}-$ est obtenue à partir de la contrainte ultime qui est affectée d'un coefficient de sécurité F_S qui est égal à 3.

$$q_{ad} = \gamma \cdot D + \frac{q_{ul} - \gamma \cdot D}{F_S}$$

- On remarque que la capacité portante est la somme de trois termes, qui sont données respectivement.
 - Terme de surface $0.5 \gamma B N_{\gamma}$
 - Terme de profondeur $\gamma D N_q$
 - Terme de cohésion $c N_c$
- Les coefficients N_{γ} ; N_q et N_c sont fonction de l'angle de frottement interne - φ -

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \cdot \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$N_{\gamma} = (N_q - 1) \tan (1.4 \varphi)$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \varphi}.$$

- Les valeurs des coefficients N_{γ} ; N_q et N_c en fonction de l'angle de frottement interne - φ - selon Terzaghi et Peck.

φ	N_{γ}	N_q	N_c	φ	N_{γ}	N_q	N_c
0	0.0	1.0	5.14	30	21.8	18.4	30.1
5	0.0	1.56	6.47	31	25.5	20.6	32.7
10	1.0	2.49	8.45	32	29.8	23.2	35.5
11	1.2	2.71	8.80	33	34.8	26.1	38.7
12	1.43	2.97	9.29	34	40.9	29.4	42.2
13	1.69	3.26	9.80	35	48.0	33.3	46.1
14	1.99	3.59	10.40	36	56.6	37.8	50.6
15	2.33	3.94	11.0	37	67.0	42.9	55.7
16	2.72	4.33	11.6	38	79.5	48.9	61.4
17	3.14	4.77	12.3	39	94.7	56.0	67.9
18	3.69	5.25	13.10	40	113.0	64.2	75.4
19	4.29	5.6	13.90	41	133.0	73.9	83.9
20	4.97	6.4	14.8	42	164	85.4	93.7
21	5.76	7.07	15.8	43	199	99	105

22	6.68	7.83	16.9	44	244	115	118
23	7.73	8.66	18.1	45	297	135	135
24	8.97	9.60	19.3	46	366	159	152
25	10.4	10.7	20.7	47	455	187	174
26	12.0	11.8	22.2	48	570	223	199
27	13.9	13.2	24.0	49	716	265	230
28	16.1	14.7	25.8	50	914	319	267
29	18.8	16.4	27.9				

3.5. 1.2. Cas d'une semelle isolée rectangulaire.

$$q_{ul} = (1 - 0.3 B/L) \cdot 0.5 \gamma B N_{\gamma} + \gamma D N_q + (1 + 0.2 B/L) \cdot C \cdot N_c$$

3.5. 1.2. Cas d'une semelle isolée circulaire.

$$q_{ul} = 0.6 \gamma R N_{\gamma} + \gamma D N_q + 1.3 \cdot C \cdot N_c$$

3.5. 1.2. Cas d'une semelle isolée carrée.

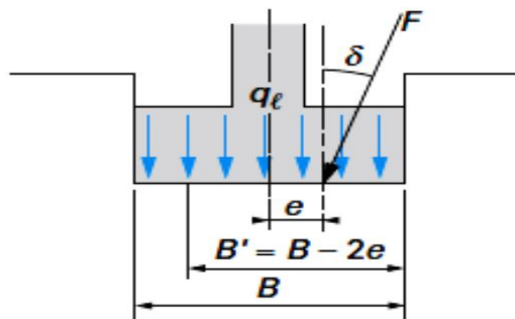
$$q_{ul} = 0.4 \gamma B N_{\gamma} + \gamma D N_q + 1.3 \cdot C \cdot N_c$$

3.6. Cas particuliers de chargement.

- Jusqu'à maintenant, nous avons supposé que la fondation supportait et transmettait au sol une charge verticale et centrée ; nous allons maintenant examiner successivement le cas des charges excentrées et obliques .

$$e = \frac{M}{N} ;$$

$$B' = B - 2e$$



3.6. 1. Calcul de la capacité portante d'après le règlement technique Algérien DTR.

$$q_{ul} = 0.5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_{\gamma} \cdot S_{\gamma} + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot S_q + C \cdot N_c \cdot S_c$$

$$S_{\gamma} = 1 - 0.2 B/L \quad ; \quad S_q = 1 \quad ; \quad S_c = 1 + 0.2 B/L$$

3.6. 2. Calcul de la capacité portante d'après L'Eurocode.

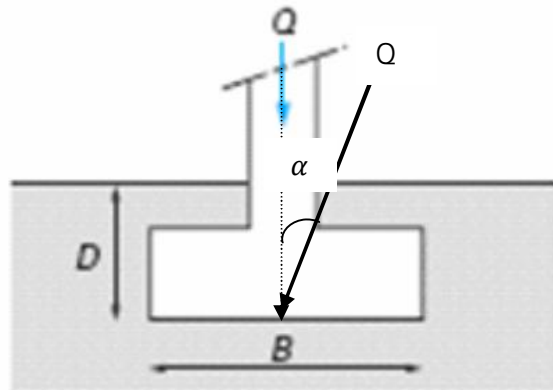
$$q_{ul} = 0.5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_{\gamma} \cdot S_{\gamma} + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot S_q + C \cdot N_c \cdot S_c$$

$$S_{\gamma} = 1 - 0.3 B/L \quad ; \quad S_q = 1 + B/L \sin \varphi' \quad ; \quad S_c = 1 + 0.2 B/L$$

3.6. 3. Cas de charge oblique centrée.

On appelle α l'angle que fait l'axe de la charge avec la verticale.

Des expériences de Meyerhof montrent qu'il faut appliquer des coefficients réducteurs aux fonctions de portances dont les valeurs varient avec α l'obliquité et l'angle de frottement φ .



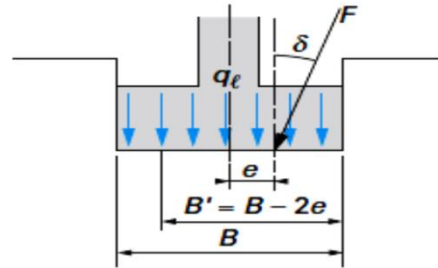
$$q_{ul} = 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot S_{\gamma} \cdot (1 - \alpha/\varphi)^2 + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot S_q \cdot (1 - \alpha/\pi)^2 + C \cdot N_c \cdot (1 - \alpha/\varphi)^2$$

Remarque : il faut vérifier qu'il n'y ait pas de glissement le long de la fondation, c'est-à-dire qu'il faut que : $\text{tg } \alpha \leq \frac{1}{1.5} \left(\frac{c}{q_{ad}} + \text{tg } \varphi \right)$; de plus la condition supplémentaire $\alpha \leq 30^\circ$.

3.6. 4. Cas de charge inclinée et excentrée.

Meyerhof a généralisé les formules de Terzaghi à des fondations de forme rectangulaire quelconque, ces formules tiennent compte des résultats expérimentaux postérieur à la formule de Terzaghi.

La formule la plus générale donnant la composante verticale de la capacité portante d'une fondation rectangulaire soumise à une charge inclinée excentrée a la forme suivante.



$$q_{ul} = 0.5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_{\gamma} \cdot S_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} + \gamma D \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q \cdot i_q + C \cdot N_c \cdot S_c \cdot d_c \cdot i_c$$

tel que :

$$B' = B - 2e \quad ; \quad e = \frac{M}{N} ;$$

- S_{γ} ; S_q ; S_c : Sont des coefficients de forme de la fondation dépendant du rapport B/L et de φ .

$$S_{\gamma} = S_q = 1 + 0.1 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \frac{B}{L} \quad \text{pour } (\varphi > 10^\circ) ; \quad \text{si } (\varphi < 0^\circ) \Rightarrow S_{\gamma} = S_q = 1$$

$$S_c = 1 + 0.2 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \frac{B}{L}$$

- d_{γ} ; d_q ; d_c : Sont des coefficients de profondeur dépendant du rapport D/B et de φ .

$$d_{\gamma} = d_q = 1 + 0.1 \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \frac{D}{B}$$

$$d_c = 1 + 0.2 \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \frac{D}{B}$$

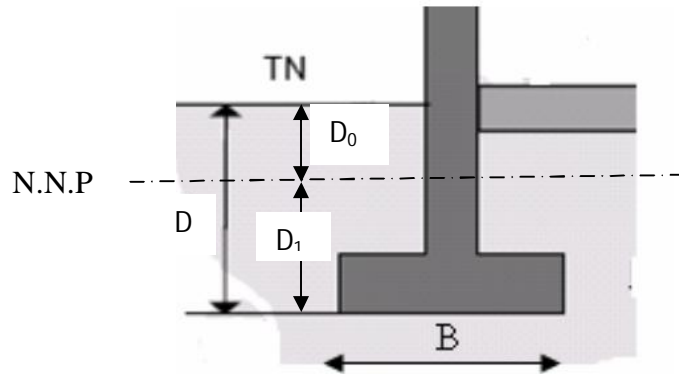
- i_{γ} ; i_q ; i_c : Sont des coefficients d'inclinaison dépendant de α et de φ .

$$i_q = i_c = \left(1 - \frac{\alpha}{90^\circ} \right)^2 ;$$

$$i_{\gamma} = \left(1 - \frac{\alpha}{\varphi} \right)^2 .$$

3.7. Influence du niveau de la nappe phréatique sur la capacité portante.

- 1^{er}. cas



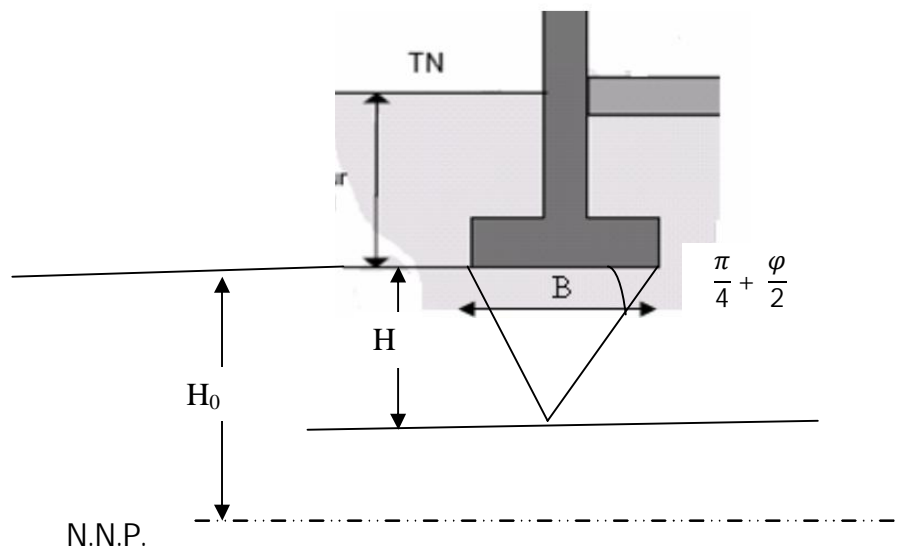
- Si le N.N.P. se trouve au dessus de la base de la fondation, ce qui rarement vécu ce la peut causer des préjudices à la fondation.

Doc on aura :

$$q_{ul} = (1 - 0.3 B/L) \cdot 0.5 \gamma B N_{\gamma} + (\gamma_1 \cdot D_0 + \gamma' \cdot D_1) N_q + (1 + 0.2 B/L) \cdot C \cdot N_c$$

- Si le N.N.P. se trouve au dessus de la base de la fondation, ce qui rarement vécu ce la peut causer des préjudices à la fondation.

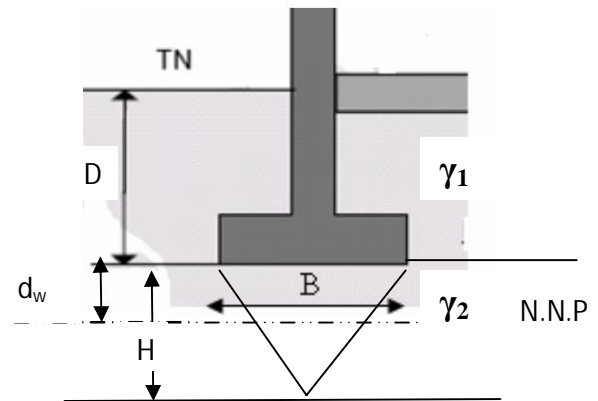
- 2^{eme}. cas



- Si le N.N.P. est en dessous de la zone du coin de rupture situé (à une profondeur $H = B/2 \operatorname{tg}(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2})$), l'effet de la N.P. peut être négligé pour le calcul de la capacité portante.
- Si $H_0 > H$: On utilise les formules habituelles.

▪ 3^{ème}. cas

- Si le N.N.P. se trouve dans la zone du coin de rupture, dans ce cas les difficultés du calcul du poids volumique déjaugé qui doit être utilisé dans le terme de surface, dans ce cas γ_2 doit être ajusté par la formule suivante.



$$\gamma_2 \longrightarrow \gamma_e = (2H - d_w) \frac{d_w}{H^2} \gamma_2 + \gamma' \frac{\gamma'}{H^2} (H - d_w)$$

$$H = 0.5 B \cdot \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$$

d_w : La profondeur du N.N.P. en dessous de la base de la semelle.

γ_2 : poids volumique à la profondeur d_w

γ_2 : poids volumique déjaugé, $\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$.

3.8. Semelle sur un bicouche.

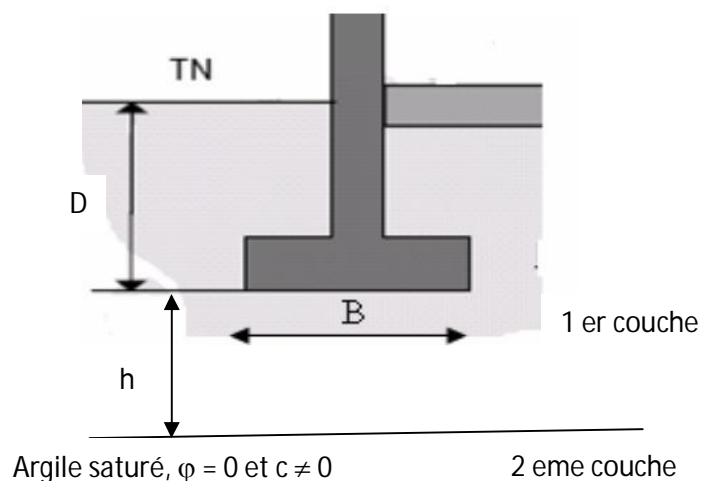
1^{er}. Cas .

Si $h/B > 3.5 \Rightarrow$ l'influence de la 2^{ème} couche est négligeable.

2^{ème}. Cas .

Si $h/B < 1.5$

Dans ce cas, on peut admettre que la semelle repose directement sur la 2^{ème} couche et la capacité portante a pour valeur :



$$q_{ul} = \gamma \cdot D + \frac{(2 + \pi)c}{(1 - 0.3 \frac{h}{B})}$$

3 ème. Cas .

Si $1.5 < h/B < 3.5$

C' est le cas le plus complexe, on passe progressivement du 1 er cas au 2 ème cas. En pratique, on pourra utiliser la méthode de la semelle fictive, il faudra vérifier que la stabilité au poinçonnement de la 2 ème couche est assurée lorsque celle-ci supporte directement une semelle de largeur « **B** ' » appliquant une contrainte verticale.

$$q' = q \cdot \frac{B}{B'} + \gamma \cdot h$$

$$B' = B+h$$

