Chapitre I: Les fondations superficielles

I-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 de sols. La charge admissible Q_{ad} sur le sol de fondation est définie par:

a- A partir de la capacité portante ultime $\mathbf{q_{ul}}$ de sol mené d'un cœfficient de sécurité "reprendre les charges et les surcharges supportées par la structure"

b- De la considération des tassements totaux et les tassements différentielles compatible avec le bon comportement des structures (vis-à-vis de la stabilité de l'ouvrage) l'objectifs de ce cours est de ne pas donné les solutions théoriques qui aboutisse une formule générale pour déterminer la charge admissible de fondations; mais nous essayons d'abordé les différents cas particuliers qui n'ont rencontrés.

I-2- Définitions

I-2-1: Une fondation

Une fondation est destinée à transmettre au sol les charges des constructions aux couches de sol sous-jacentes; il existe deux modes de transmission de ces charges au sol, par fondation superficielle et par fondation profonde:

La fondation superficielle est, par définition, une fondation qui repose sur le sol ou qui n'y est que faiblement encastrement. Les charges qu'elle transmet ne sollicitent que les couches superficielles et peu profondes. Les fondations profondes (pieux et puits) reportent, les charges dans les couches profondes que dans les couches superficielles qu'elles traversent.

I-2-2- Types de fondations superficielles:

La fondation est déterminée par sa largeur B, la longueur L et par sa profondeur d'encastrement D voir la figure suivante:

MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia

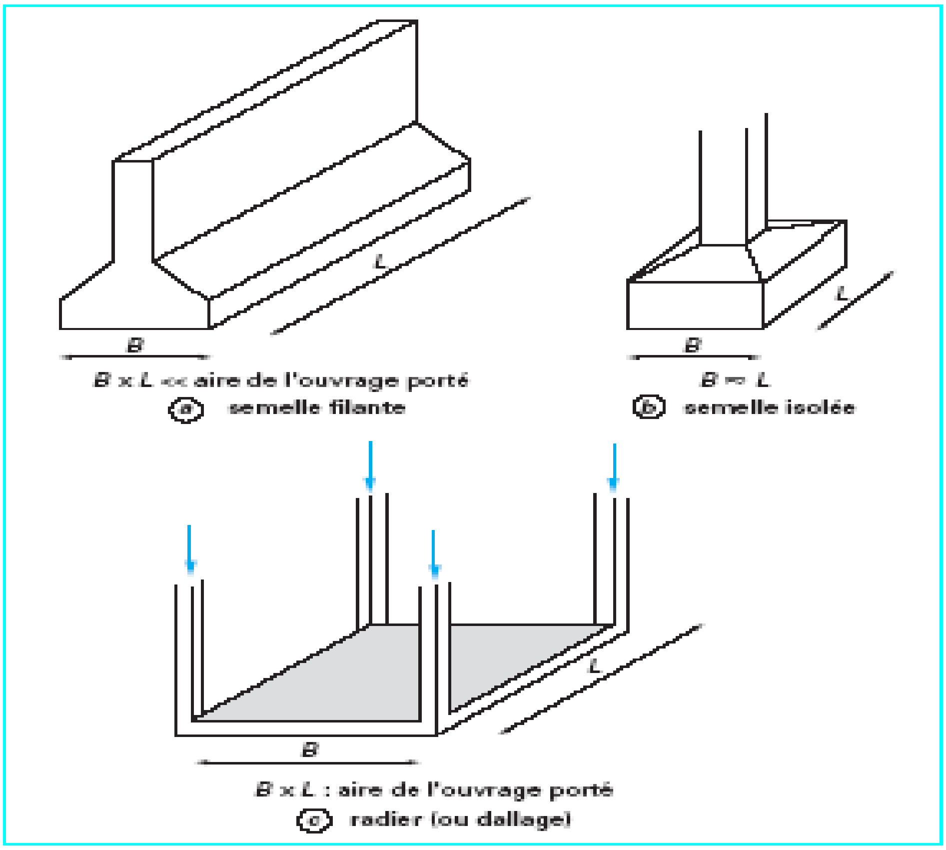


Figure 1 – Types de fondations superficielles

Suivant le rapport (D/B); on peu distingué les fondations superficielle et les fondations profondes.

- Pour D/B< 4 fondation superficielle "semelle";
- Pour D/B>10 fondation profonde "pieux et puits"

Suivant le rapport (L/B); on peut distinguer aussi dans les fondations superficielles:

A- Les semelles filantes: généralement de la largeur B modeste et de grande longueur L (L/B> 5a 10m).

B- Les semelles isolées: (L/B<5) dont les dimensions en plan sont toutes deux plus de quelques mètres; cette categorie inclut :

Semelle carrées (B/L=1) (B=L)

Semelle rectangulaire (L>B)

Semelle circulaire B=2R

MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia

C- Les radiers ou dallage: de dimensions B et L importantes est prise comme une solution dans un projet de construction, si la surface totale des semelles plus de 50% d'une surface d'empirisme de l'ouvrage et si le sol à une mauvaise caractéristique mécanique et aussi si les charges de la superstructure sont très importantes.

I-3- Comportement d'une fondation superficielle

I-3-1: Courbe type obtenue lors de chargement d'une fondation superficielle:

Dans un premier temps, l'ingénieur géotechnicien, cherchera à fonder son ouvrage superficiellement, pour des raisons de coût évidentes (si des conditions particulières liées au projet, au site ou aux sols ne le lui interdisent pas, évidemment). Il devra, alors, se préoccuper en tout premier lieu de la capacité portante de sa fondation, c'est-à-dire vérifier que les couches de sol superficielles peuvent effectivement supporter la charge transmise. Si le résultat des calculs est concluant, notamment s'il n'aboutit pas à une aire de la fondation prohibitive, il doit alors s'assurer que son tassement sous les charges de fonctionnement prévues (courantes ou exceptionnelles) est dans des limites admissibles. **Capacité portante et tassement** sont ainsi les deux éléments fondamentaux qu'il y a lieu de considérer systématiquement lors du calcul des fondations superficielles.

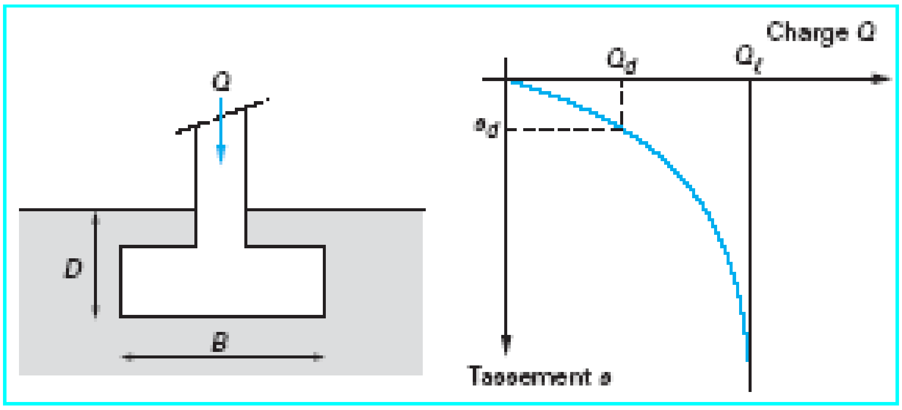


Figure 2 – Notations. Courbe de chargement (vertical et centré) d'une fondation superficielle

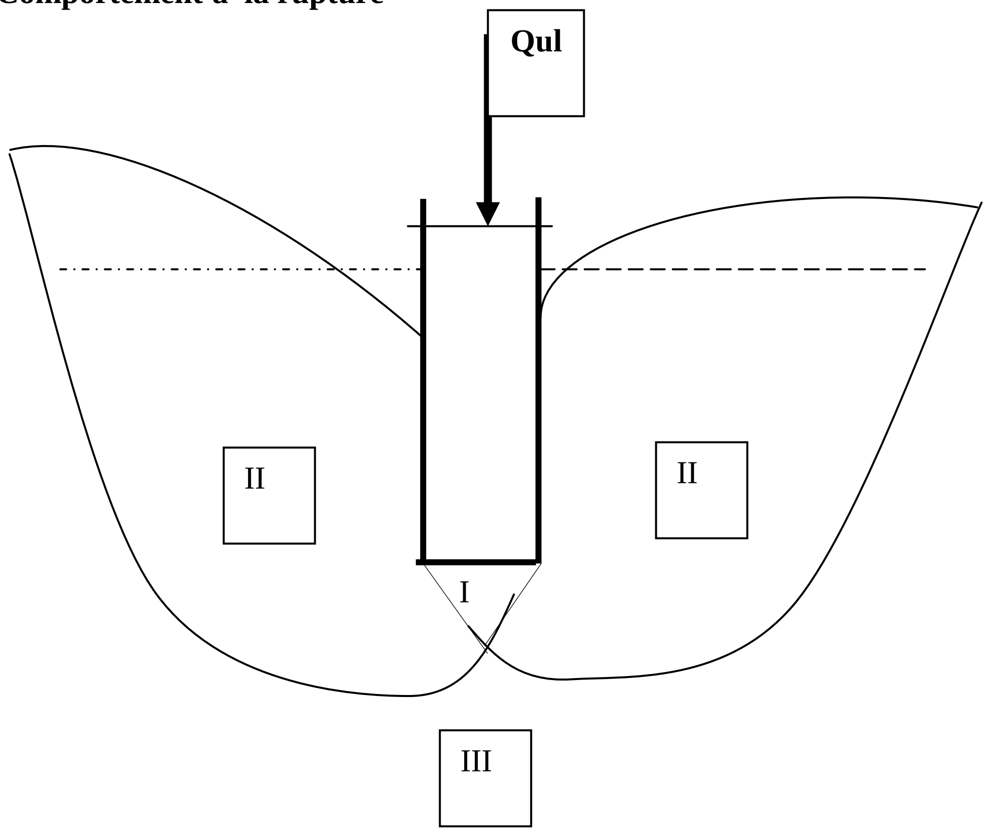
Les notions de capacité portante et de tassement sont clairement illustrées par la figure **2** qui représente une courbe typique obtenue lors du chargement d'une fondation superficielle. La largeur de la fondation est notée B et la profondeur où est située sa base est notée D. Appliquons une charge monotone croissante, d'une manière quasi statique, à une fondation

MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia

posée à une profondeur D donnée et relevons les tassements **s** obtenus en fonction de la charge appliquée Q

Au début du chargement, le comportement est sensiblement linéaire, c'est-à-dire que le tassement croît proportionnellement à la charge appliquée. Puis le tassement n'est plus proportionnel (on peut dire qu'il y a création et propagation de zones de sol plastifiées sous la fondation). À partir d'une certaine charge, il y a poinçonnement du sol ou tout du moins un tassement qui n'est plus contrôlé. Le sol n'est pas capable de supporter une charge supérieure (on peut dire que l'on a atteint l'écoulement plastique libre).
Cette charge est la capacité portante de la fondation (on parle aussi souvent de charge limite, de charge de rupture ou encore de charge ultime).
Le dimensionnement correct de la fondation d'un ouvrage consistera, notamment, à s'assurer que l'on reste en deçà de cette charge limite, avec une certaine marge quantifiée par un coefficient de sécurité, et que les tassements correspondants sont admissibles.

I-3-2- Comportement à la rupture



Lorsque on exerce un effort vertical croissant; la semelle s'enfonce dans le sol on résulte les trois principales zones:

MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia

Zone I: est située directement sous la fondation; le sol est fortement comprimé, il se déplace avec la fondation. Il forme un coin limite par les points A, B, C.

Zone II: est refoulé vers la surface; des déplacements et cisaillement importants ce qui résulte une rupture généralisée.

Zone III: les zones externes ne sont soumises qu'a des contraintes beaucoup plus faible qui le ne mettent pas en rupture.

I-4- Calcul de la capacité portante d'une fondation à partir essais de laboratoire "méthode ((méthode « c- φ»)

Le sol est caractérisé par la cohésion et l'angle de fortement interne, et par le poids volumique humide, la cohésion et le poids volumique intervient directement dans le calcul, alors que l'angle de fortement interne intervient a partir des fonctions de portance.

$N_\gamma(\varphi)$, $N_c(\varphi)$ et $N_q(\varphi)$ qui varient en fonction de l'angle de fortement interne.

II-4-1-Hypothèse et Formule générale

Le calcul de la capacité portante des fondations superficielles à partir de c et φ est probablement le problème le plus connu de la mécanique des sols contemporaine et tous les manuels du domaine y font largement référence. Pour la définition des paramètres de résistance au cisaillement c et φ, à court terme (en contraintes totales) et à long terme (en contraintes effectives) on se reportera à l'article Résistance au cisaillement.

A.Hypothèses

Semelle filante horizontale, parfaitement lissée. Charge verticale centrée par mètre linéaire.

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**).

MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia

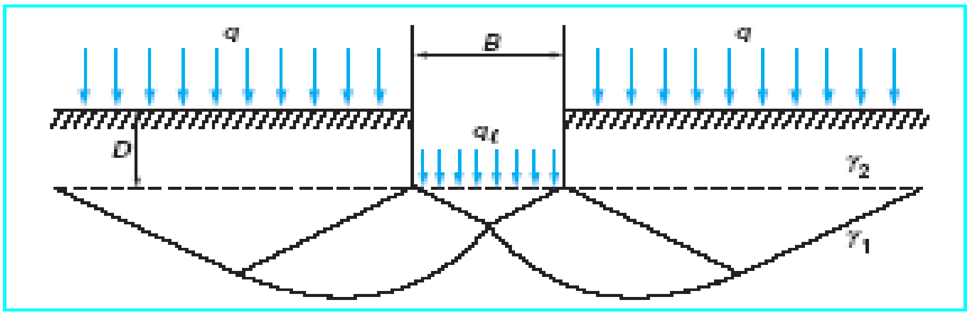


Figure 3 – Schéma de rupture d'une fondation superficielle

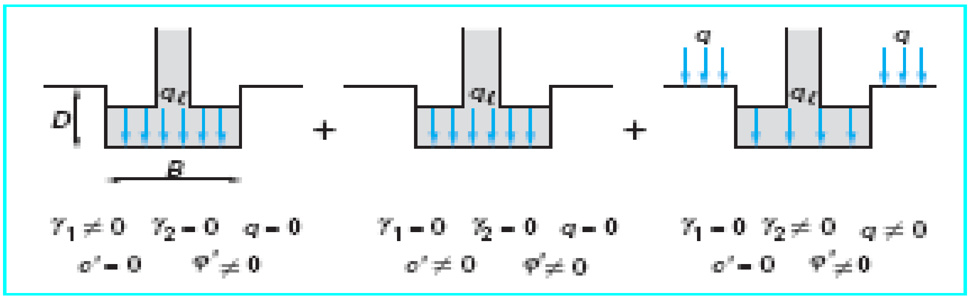


Figure 4 – Capacité portante. Méthode de superposition de Terzaghi (méthode « c-φ »)

Après l'application de principe de superposition sur trois états =méthode de superposition de TERZAGHI- Méthode « c-φ »

La contrainte de rupture sous charge verticale centrée est obtenue par:

$$q_\ell = 1/2\ \gamma_1\ BN_\gamma\ (\varphi) + cN_c\ (\varphi) + (q + \gamma_2 D)\ N_q\ (\varphi) \qquad 1$$

Avec:

q_l: Contrainte de rupture "capacité portante par unité de surface"

γ_1 Poids volumique du sol sous la base de la fondation;

γ_2 : Poids volumique du sol latéralement de la fondation;

q: Surcharge verticale latérale a la fondation;

c: cohésion du sol sous la base de la fondation

- le 1er terme : $(1/2\ \gamma_1\ BN_\gamma\ (\varphi))$: est le terme de la surface
- le 2er terme : $(cN_c\ (\varphi))$: est le terme de cohésion
- le 3eme $(q + \gamma_2 D)\ N_q\ (\varphi)$: est le terme de surcharge ou profondeur.

MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia

La méthode de superposition de **Terzaghi** consiste donc simplement à additionner ces trois termes. On peut, en effet, montrer qu'elle donne une valeur par défaut de la charge limite et l'approximation faite est du côté de la sécurité.

Dans l'application pratique de cette méthode, on doit distinguer, selon la mécanique des sols classique, le calcul à court terme en conditions non drainées (en contraintes totales) et le calcul à long terme en conditions drainées (en contraintes effectives).

Remarque:

Si $\gamma 1 = \gamma 2 = \gamma$ (sol homogène) l'équation 1 devient:

$$q_l = \frac{1}{2}.\gamma.B.N\gamma(\varphi) + C.Nc(\varphi) + (q + \gamma.D)Nq(\varphi)$$

Pour les valeurs des facteurs de portance sans dimension $N_c(\varphi')$ et $N_q(\varphi')$ on utilise la solution classique de Prandtl (solution exacte) :

$$N_q = \exp(\pi \tan \varphi') \tan^2(\pi/4 + \varphi'/2) \quad \text{et} \quad N_c = (N_q - 1)\cot \varphi'$$

Il existe diverses recommandations concernant les valeurs du facteur de portance $N_\gamma(\varphi')$, pour lequel on ne dispose pas d'une solution exacte.

$$N_\gamma = 2\,(N_q - 1)\tan \varphi'$$

I-4-2-2 Calcul de la contrainte admissible

La contrainte est appliquée un coefficient de sécurité Fs, généralement prise égal 3

$$qad = \gamma.D + \frac{Ql - \gamma.D}{Fs}$$

I-5-3 Application pratique de la méthode « c-φ »

Dans l'application pratique de cette méthode, on doit distinguer selon la mécanique de sol classique, le calcul à court terme en conditions non drainées "en contrainte totale" et le calcul a long terme en condition drainées "en contraintes effectives".

MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia

A- Calcul en condition non drainées

Lorsque le sol porteur est un sol fin cohérent saturé, on doit faire un calcul à court terme, en contraintes totales. Le sol est caractérisé par sa cohésion non drainée c_u. On prend

$$c = c_u \text{ et } \varphi = 0$$

Il en résulte $N\gamma = 0$ et $Nq = 1$, donc pour une semelle filante :

$$q_\ell = c_u N_c\,(0) + q + \gamma_2 D$$

Avec Nc (0) =π+ 2 pour les fondations lisses, Nc (0) = 5,71 pour les fondations rugueuses ; $\gamma 2$ est le poids volumique total du sol latéral. Il n'y a pas lieu de tenir compte de la poussée d'Archimède. En d'autres termes, on ne déjauge pas la fondation.

B- Calcul en conditions drainées:

Pour le calcul à long terme d'un sol cohérent et le calcul dans les sols pulvérulents; on prend c=c'; φ= φ'; Dans ce cas et toujours pour une semelle filante.

$$q_\ell = 1/2\,\gamma'_1\,BN_\gamma\,(\varphi') + c'N_c\,(\varphi') + (q + \gamma'_2\,D)N_q\,(\varphi')$$

Avec γ'1, γ'2 poids volumique effective; tel que γ'= γ- γw

Avec γ: poids volumique total du sol

γ_w poids volumique de l'eau

Pour une nappe à grande profondeur (sol sec)

$$q_\ell = \frac{1}{2}\,\gamma_1\,BN_\gamma\,(\varphi') + c'N_c\,(\varphi') + (q + \gamma_2 D)\,N_q\,(\varphi')$$

I-5-4 Cas d'une semelle isolée rectangulaire (L>B):

$$q_l = \gamma.D.Nq(\varphi) + \left(1 + 0.2\frac{B}{L}\right)C.Nc(\varphi) + \left(1 - 0.2\frac{B}{L}\right)0.5\gamma.B.N\gamma(\varphi)$$

I-5-5 Cas d'une semelle isolée circulaire (de rayon R B=2R):

MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia

$$q_l = \gamma.D.Nq(\varphi) + 1.3.C.Nc(\varphi) + 0.3.\gamma.B.N\gamma(\varphi)$$

I-5-6 Cas d'une semelle isolée carrée (B=L):

$$q_l = \gamma.D.Nq(\varphi) + 1.2.C.Nc(\varphi) + 0.4.\gamma.B.N\gamma(\varphi)$$

Dans les trois cas la charge admissible est donnée par la relation suivante:

$$q_{ad} = \gamma.D + \frac{Ql - \gamma.D}{Fs}$$

I-6-Influence de la forme de la fondation charge verticale et centrée

La relation (1) est modifiée par l'introduction des coefficients multiplicatifs s_γ, sc et sq pour tenir compte de la forme de la fondation :

$$q_\ell = 1/2\ s_\gamma\ \gamma_1\ BN_\gamma\ (\varphi) + s_c c\ N_c\ (\varphi) + s_q\ (q + \gamma_2\ D)\ N_q\ (\varphi)$$

Les valeurs de Terzaghi sont données dans le tableau **suivant,** Pour les fondations rectangulaires ou carrées, le DTU 13.12 retient les mêmes valeurs.

Tableau 2 – Coefficients de forme. Valeurs de Terzaghi. (Conditions non drainées et drainées)

Fondations	Rectangulaires ou carrées $\left(\frac{B}{L} = 1\right)$		Circulaires
s_γ (1)	$1 - 0{,}2\ \frac{B}{L}$	0,8	0,6
s_c	$1 + 0{,}2\ \frac{B}{L}$	1,2	1,3
s_q	1	1	1

(1) Conditions drainées, seulement.

Quoi qu'il en soit, lorsque l'on passe d'une fondation carrée (ou circulaire) (B/L=1) a une fondation rectangulaire (B/L<1), on remarque que les différentes propositions reviennent:

-Diminuer le terme de surface (ou de pesanteur), pour les conditions drainées ;

-Laisser égal ou diminuer le terme de surcharge (ou de profondeur) ;

MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia

-Augmenter le terme de cohésion.

I-7- Influence de l'inclinaison et de l'excentrement de la charge

A- Influence de l'inclinaison

Lorsque la charge appliquée a la fondation est inclinée par rapport à la verticale; il à lieu d'appliquer la relation suivante :

$$q_\ell = 1/2\ i_\gamma\ s_\gamma \gamma_1 B N_\gamma (\varphi) + i_c s_c c N_c (\varphi) + i_q s_q (q + \gamma_2 D) N_q (\varphi)$$

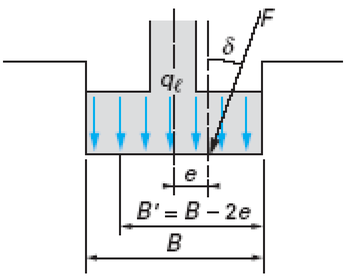
δ **: Angle qui fait l'axe de la charge avec la verticale**

Avec: iγ, ic et iq cœfficient moniteurs (inférieurs a 1)

Meyerhof proposé d'appliquer les moniteurs suivants $i\gamma = (1 - \frac{\delta}{\varphi})^2$ pour le terme de surface $N\gamma$, $ic = iq = \left(1 - \frac{2.\delta}{\pi}\right)$, pour le terme de profondeur et cohésion"Nc".

I-8 Influence de l'inclinaison et de l'excentrement pour une fondation isolée :

MEYRHOF a généralisé la formule de **Terzaghi** à des fondations de forme rectangulaire quelconque ces formules tient compte des résultats expérimentaux postérieure a la formule de **Terzaghi;** la formule générale donne la composante verticale de la capacité portante d'une fondation rectangulaire soumise a une charge incliné excentré sous la forme suivante:



$$q_l = 0.5\gamma_1.B.S_\gamma d_\gamma.i_\gamma.N_\lambda(\varphi) + S_q.dq.i_q(q + \gamma_2.D).Nq(\varphi) + Sc.dc.i_c.C.Nc(\varphi)$$

Tel que:

S_γ, S_q, Sc : Des coefficients de la fondation, dépend du rapport (B/L) et φ sont données par:

MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia

$$\begin{cases} S_c = 1 + 0.2\tan g^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}).\frac{B}{L} \\ S_\gamma = S_q = 1 + 0.1.\tan g^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}).\frac{B}{L}; \quad si \quad \varphi > 10° \\ S_\gamma = S_q = 1 \quad si \quad \varphi < 10° \end{cases}$$

$d_\gamma, \ d_q, \ ,dc$ Sont des coefficients de profondeur dépend de rapport (D/B) et de φ sont données par:

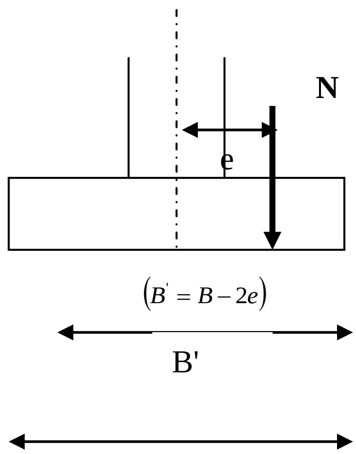
$$\begin{cases} dc = 1 + 0.2\tan g(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}).\frac{D}{B} \\ dq = d_\gamma = 1 + 0.1.\tan g(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}).\frac{D}{B} \end{cases}$$

$i_\gamma, \ ,iq, \ ic$: sont des coefficients d'inclinaison dépend de (δ) et (φ) sont données par:

$$ic = iq = (1 - \frac{\delta}{90}); \ i_\gamma = (1 - \frac{\delta}{\varphi})^2$$

B-Influence de l'excentrement de la charge

Dans le cas d’une charge d’excentrement e parallèle à B, on appliqué la méthode de Meyerhof qui consiste à remplacer, dans tout ce qui précède, la largeur B par la largeur réduite ou effective $(B' = B - 2e)$,



Ce qui revient à avoir une fondation centrée sous la charge.

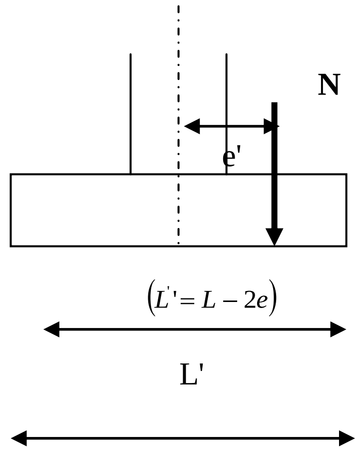
Dans le cas d’un excentrement e' parallèle à la dimension L, on procède de même pour cette dimension :

$(L' = L - 2e')$

La capacité portante totale **Q**l est alors obtenue par:

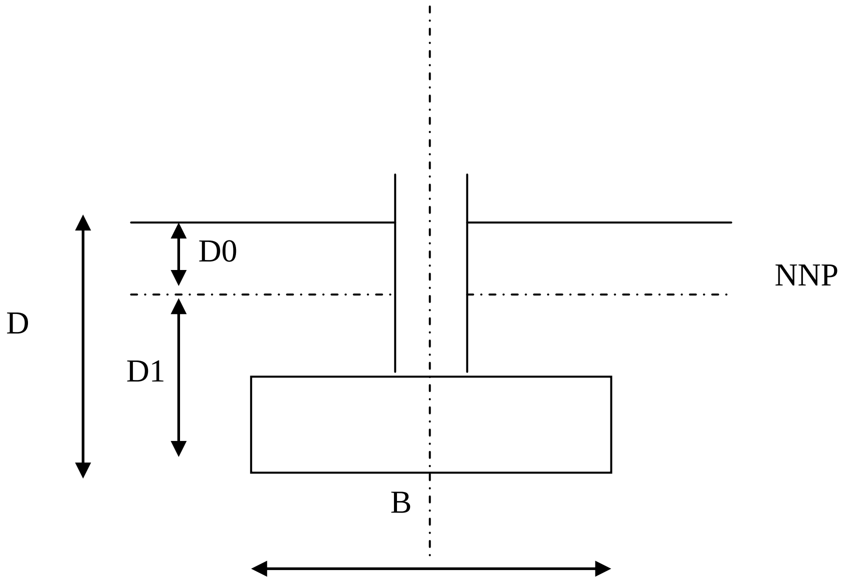
$Ql = ql.B'.L'$ Pour une fondation rectangulaire ou carré

$Ql = qL.\pi.B^{'}.\frac{B}{4}$, pour une fondation circulaire. Avec: ql contrainte de rupture définie ci-dessus, incluant tous les coefficients correctifs éventuels.



I-9 influence des niveaux de la nappe phréatique sur la capacité portante

1er cas



$\gamma 1$: Poids volumique humide

$\gamma^{'} 1$: Poids volumique déjaugé

Si le niveau de la nappe phréatique au dessous de la base de la fondation ce qu'il est rarement vécu, ce qui:

$$qul = (1 - 0.2\frac{B}{L})0.5\gamma_1^{'}.B.N_\gamma(\varphi) + (1 + 0.2.\frac{B}{L}).C.Nc(\varphi) + (\gamma_1.D_0 + \gamma_1^{'}.D_1)$$

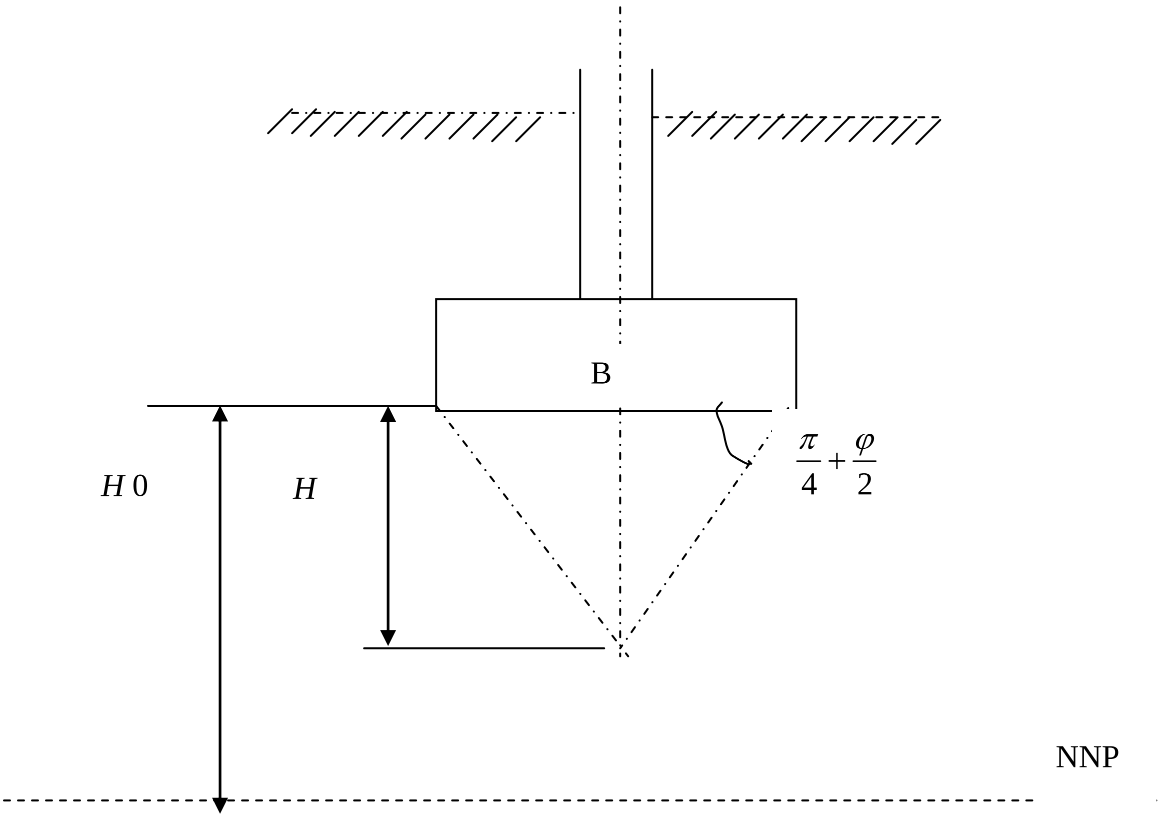
1er cas

Si le niveau de la nappe phréatique est au dessous de la zone de coins de la rupture à une profondeur:

MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia

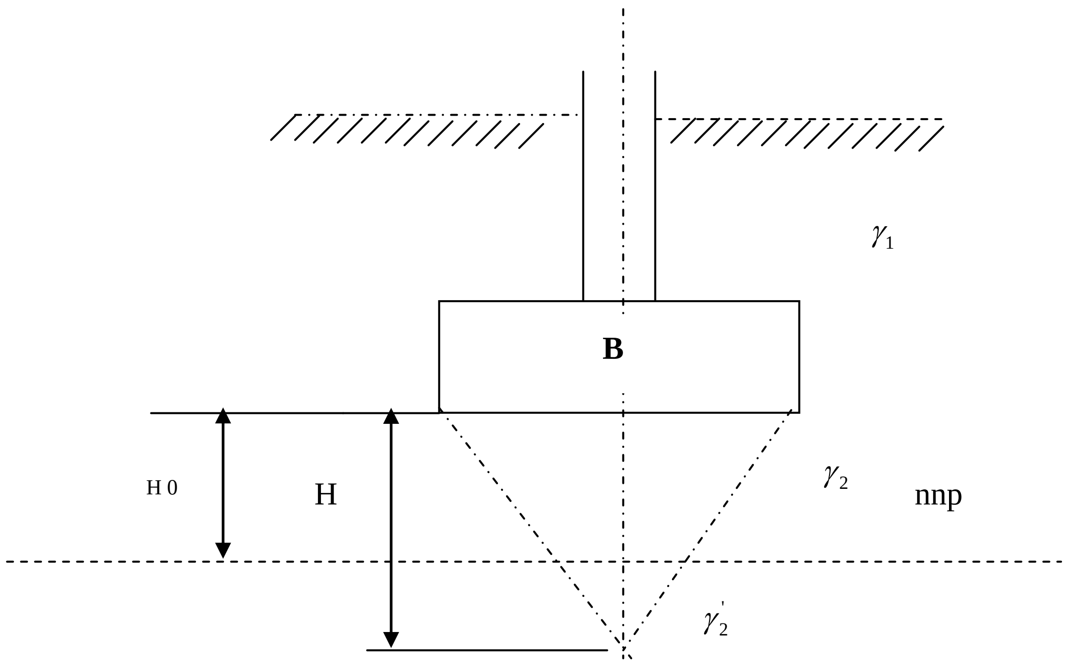
$$H = \frac{B}{2}\tan g(\frac{\pi}{2}+\frac{\varphi}{2})$$

L'effet de la nappe phréatique peut être négligé pour le calcul de capacité portante.



Si $H_0 > H$ en utilise les formules habutielles

3eme cas



MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia

Dans ce cas γ_2 doit remplacer par la formule suivante:

$$\gamma_2 = \gamma_e^{'}(\acute{e}quivalente) = (2H - H_0).\frac{H_0}{H^2}.\gamma_2 + \frac{\gamma_2^{'}}{H^2}(H - H_0)^2$$

$$qul = 0.5.\gamma_e.B.N_\gamma(\varphi) + \gamma_1.D.N_q(\varphi) + C.Nc(\varphi)$$

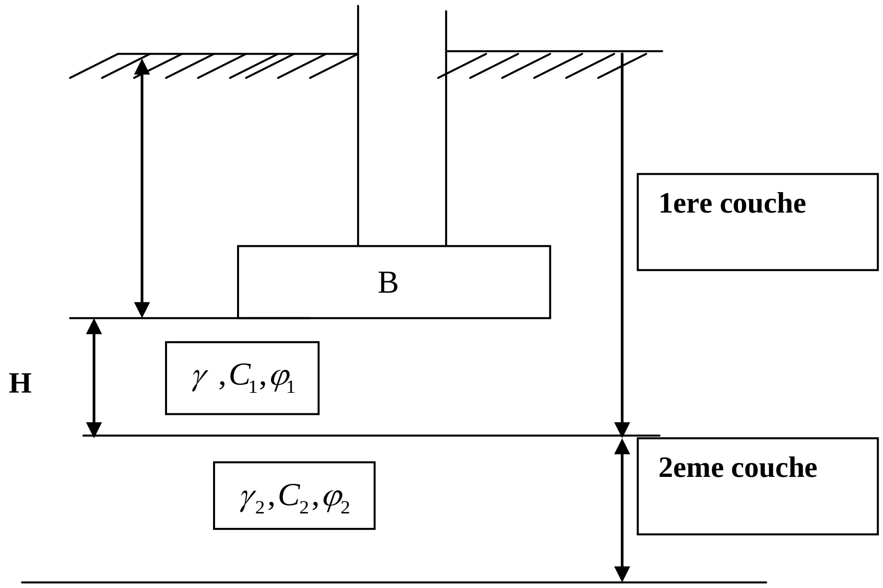
Telle que:

H: la profondeur de la nappe phréatique au dessous de la base de la semelle

γ_2: Poids volumique à la profondeur H_0

$\gamma^{'}_2$: Poids volumique déjaugé $\gamma_2^{'} = \gamma sat - \gamma w$

A- Semelle sur une bicouche:



1er cas si h/B>3.5 l'influence de la 2 eme couche est négligeable, en applique la formule générale.

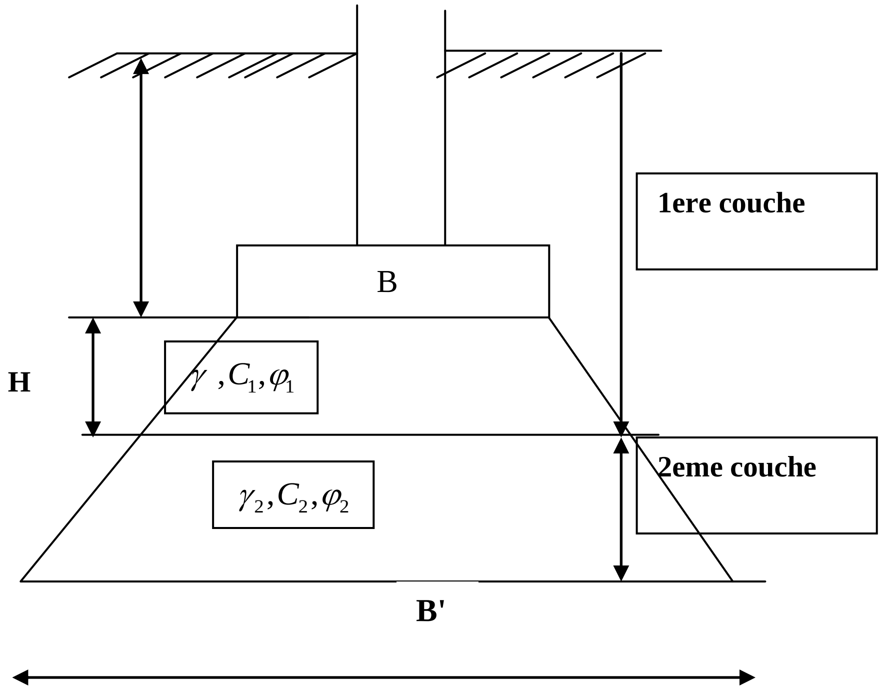
2eme cas h/B<1.5 dans ce cas on admettre que la semelle repose directement la 2eme couche.

La capacité portante a une valeur:

$$qul = \gamma_1.D + \frac{(2+\pi).C}{\left(1 - \frac{0.3.H}{B}\right)}$$

3eme $1.5 < \frac{h}{B} < 3.5$**:** le problème est plus complexe on utilise en pratique, une méthode approché dite semelle fictive, on considère donc que la couche inférieure supporte une semelle de largeur fictive $B^{'} = B + H$ qu'il exerce une contrainte verticale

$$q^{'} = q_i ul.\frac{B}{B^4} + \gamma_1.h$$



MESSIOUD Salah Département de Génie Civil et Hydraulique
Université Mohammed Seddik Benyhia