

# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## TASSEMENT

Le tassement d'une structure est le résultat de la déformation du sol de fondation. On peut distinguer les phénomènes suivants :

- Déformations élastiques (rapide);
- Changement de volume conduisant à la diminution de la teneur en eau (consolidation);
  - Dans les sols granulaires, la consolidation est rapide et ne peut généralement être distinguée du tassement élastique.
  - Dans les sols à grains fin (cohérent), le temps de consolidation peut être considérable.
- Mouvement de cisaillement généralisé;
- Autres facteurs, comme l'effondrement du sol ou un affaissement minier.

# FONDATIONS SUPERFICIELLES

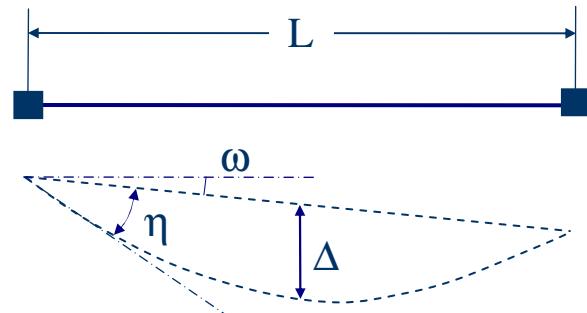
## TASSEMENT - CRITÈRES

Le tassement maximum qu'on peut accepter pour un bâtiment est en règle générale de **25 mm**

*Avec ce tassement de 25 mm, on estime que le tassement différentiel entre deux semelles ne dépassera pas 20 mm*

Cependant, les exigences peuvent varier en fonction du type de structure (MCIF – tableaux 12.3 et 12.4)

MATERIAUX	FLECHE MAXIMALE ENTRE SUPPORTS (L est la portée ) $\Delta$
Maçonnerie, verre et autres matériaux fragiles	L/360
Revêtement métallique ou autre finis non fragiles	L/240
Charpentes d'acier ou de béton	L/150 – L/180
Charpentes en bois	L/100
Cloisons d'acier ou de béton	Selon les projets
STRUCTURE	PENTE MAXIMALE POUR UNE STRUCTURE CONTINUE ( $\omega$ )
Murs de brique continus et élevés	0,0050 – 0,0010
Logements en brique	0,0030
Revêtement en brique entre colonnes	0,0010
Charpente d'immeuble en béton armé	0,00250 – 0,0040
Mur rideau en béton armé	0,0030
Charpente d'acier continue	0,0020
Charpente d'acier simplement supportée	0,0050



$\Delta$  : flèche

$\omega$  : Pente

$\eta$  : rotation ou distorsion

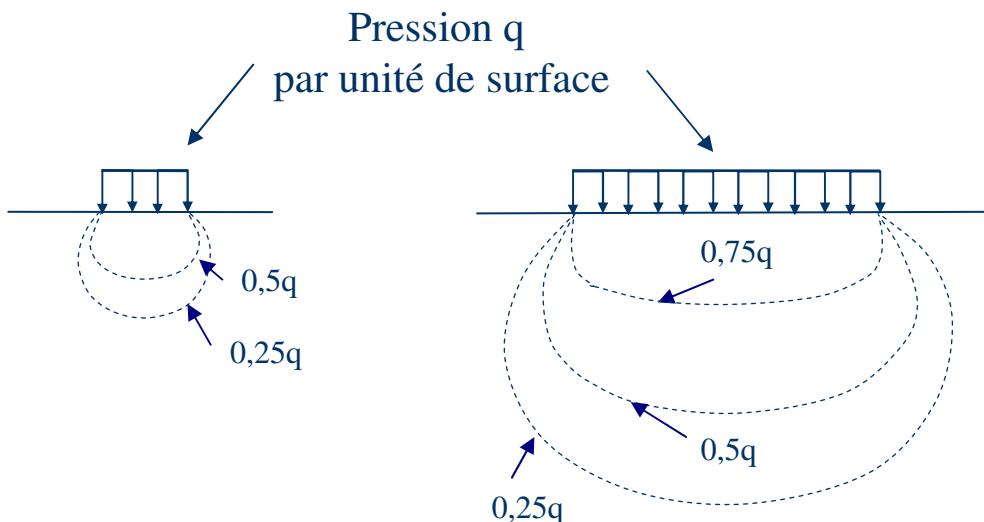
# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## CALCUL DU TASSEMENT

Les facteurs qui contrôlent le tassement dans les sols granulaires sont (pour un même niveau de contrainte) :

Dimension de la semelle

Compacité du sol



Plus la semelle est large plus le tassement est grand (pour même niveau de chargement).

Le tassement dans les sols granulaires est dû à la diminution des vides entre les grains. Plus le sol est compact (dense) avant l'application de la charge moins il y aura de tassement.

On utilise généralement  $N$  pour déterminer la compacité du sol.

# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## TASSEMENT – ESSAI IN-SITU

Pour déterminer le tassement d'une semelle on peut avoir recourt à des essais sur le terrain. On réfère généralement à *l'essai de plaque* (ASTM, 1997, essai D-1194-72)

MCIF –

L'essai est recommandé pour les sols grossiers. On calcule le tassement de la fondation à l'aide de la relation suggérée par Terzaghi et Peck (1967)

$$S_F = S_p \left( \frac{2}{1 + \frac{B_p}{B_F}} \right)^2 \quad \text{ou} \quad q_F = q_p \left( \frac{1 + \frac{B_p}{B_F}}{2} \right)^2$$

ASTM (1997) –

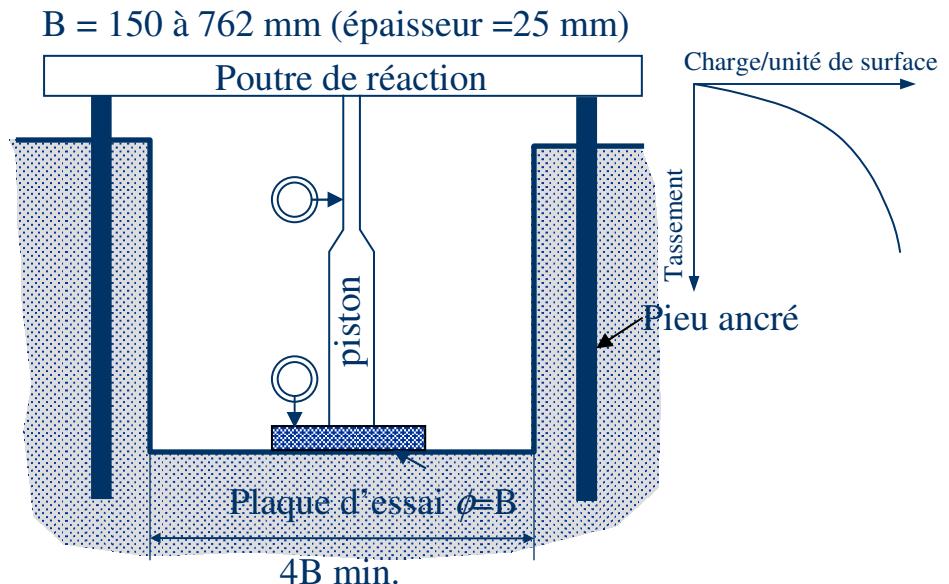
L'essai peut être effectué pour tous les sols. On calcule le tassement de la fondation à l'aide des relations :

granulaire

$$S_F = S_p \left( \frac{B_F}{B_p} \right)^2 \left( \frac{3,28B_p + 1}{3,28B_F + 1} \right)^2$$

Cohérent

$$S_F = S_p \left( \frac{B_F}{B_p} \right)$$



$S_F$  : tassement de la fondation de largeur  $B_F$   
 $S_p$  : tassement de la plaque

# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## ESSAI IN-SITU - APPLICATION

### Exemple

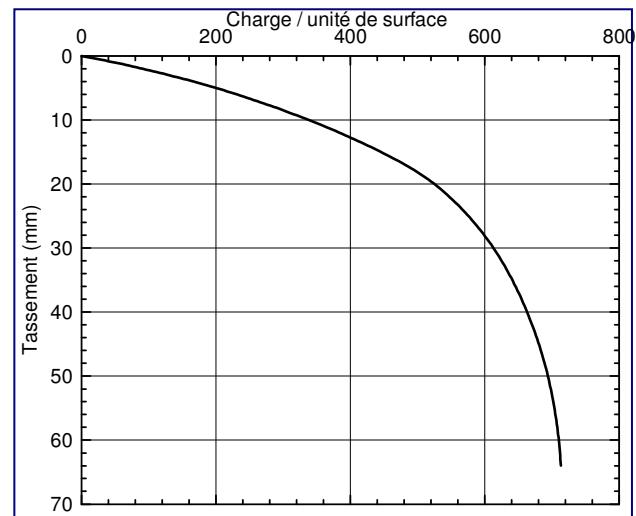
Les résultats d'un essai de plaque (de 0,305x0,305 de dimension) sur un dépôt de sable sont montrés à la figure suivante :

Déterminer les dimensions d'une semelle carrée qui doit supporter une charge de 2500 kN avec un tassement maximum de 25 mm.

### Réponse :

On procède par essai et erreur.

$Q_0$ (kN)	Largeur supposée $B_F$ (m)	$q_0 = Q/B_F^2$ (kN/m <sup>2</sup> )	$S_p$ (mm)	$S_f$ (mm)
2500	4	156,25	4,0	13,8
2500	3	277,8	8	26,36
2500	3,2	244,1	6,8	22,6
2500	3,1	260,1	7,2	23,9



Semelle de 3,1m x 3,1 m

# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## TASSEMENT - SPT

Trois méthodes sont proposées pour déterminer la capacité admissible ( $q_{adm}$ ) pour un tassement de 25 mm.

Terzaghi et Peck (1948) :

$$q_{adm} = 36(N - 3) \frac{(B + 0,305)^2}{2B} F_d$$

$q_{adm}$  : Pression admissible (kPa)  
 $B$  : Largeur de la semelle (m)  
 $N$  : Valeur de l'essai SPT (corrigée);  
 $F_d$  : Facteur forme =  $1+D/B < 2$

Meyerhof (1956) :

$$q_{adm} = 12NK_d \quad si \quad B \prec 1,2m$$

$$q_{adm} = 8NK_d \left( \frac{B + 0,3}{B} \right)^2 \quad si \quad B \succ 1,2m$$

$q_{adm}$  : Pression admissible (kPa)  
 $B$  : largeur de la semelle (m)  
 $N$  : Valeur de l'essai SPT (non corrigée);  
 $K_d$  : Facteur profondeur

$$K_d = 1 + \frac{D}{3} \quad si \quad D \prec B$$

$$K_d = 1,3 \quad si \quad D \succ B$$

Peck, Hansen et Thotnburn (1974) : Figure 10.1 du MCIF (voir page 7) – N corrigé

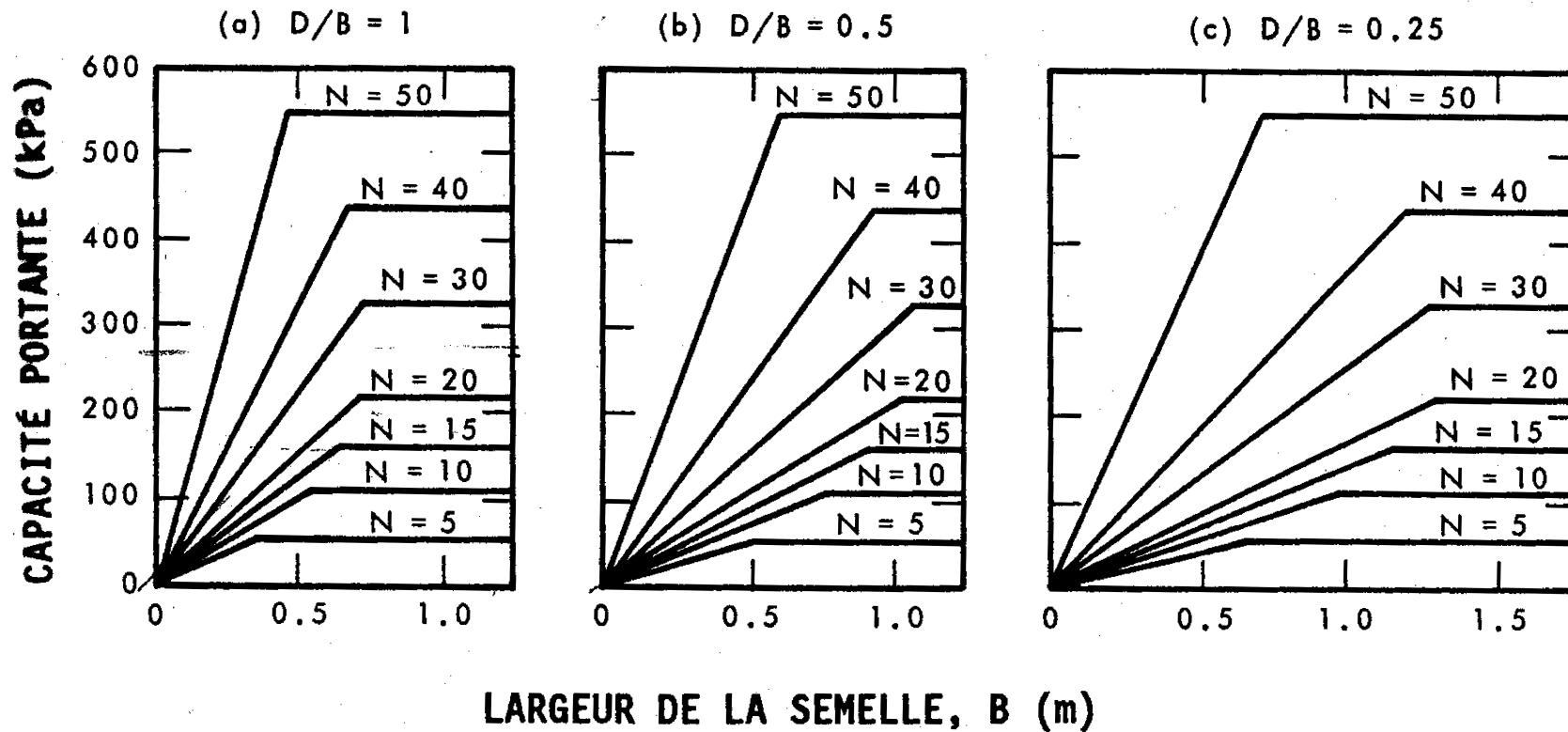
N doit être la moyenne entre 0 et 2B à 3B sous la semelle

Si nappe d'eau  $q_{adm} = q_{adm(\text{sans eau})}/2$

# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## TASSEMENT - SPT

**D/B = RAPPORT PROFONDEUR / LARGEUR**

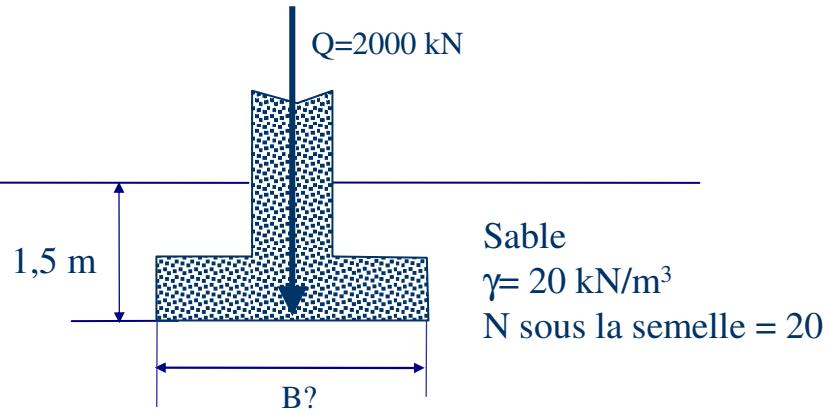


# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## TASSEMENT (SPT) -Application

### Exemple

Compte tenu des conditions du sol et de chargement présentées à la figure ci-dessous, trouver la largeur de la semelle carrée qui procurera un tassement de 25 mm (utiliser Meyerhof (1956) et Peck et al. (1974))



Réponse :

Selon Meyerhof (1956):

On suppose que  $D < B$  et que  $B > 1,2 \text{ m}$

$$K_d = 1 + 1,5/3 = 1,5$$

$$q_{\text{adm}} = 8 * 20 * 1,5 * ((B+0,3)/B)^2$$

$$Q_{\text{adm}} = q_{\text{adm}} * B^2 = 240 * (B+0,3)^2 = 2000$$

$$B+0,3 = 2,88 \text{ m}$$

$$\text{B=2,58 m (pour un tassement de 25 mm)}$$

$$D < B \text{ (ok)} \quad B > 1,2 \text{ m (ok)}$$

Selon Peck et al. (1974) :

Essai et erreur

Considérons  $B = 2$

$$\sigma' \text{ à } (2,5)B/2 + D \text{ est de } 20 * (1,5 + 2,5) = 80 \text{ kPa}$$

$$N_{\text{corr}} = 1,06 * 20 = 21$$

Selon abaque  $D/B = 0,75 \rightarrow q_{\text{adm}} = 220 \text{ kPa}$

$$q_{\text{adm}} = Q/B^2; B^2 = 2000/220$$

$$\text{B = 3 m}$$

# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## TASSEMENT – ARGILES

Le tassement d'une semelle peut être calculé en divisant le massif de sol en couches : pour chaque couche, on calcule les valeurs des contraintes, initiale et finale, à mi-hauteur. On détermine ensuite le tassement de chaque couche. Le tassement total est la somme des tassements pour l'ensemble des couches :

$$(\sigma'_0 < \sigma'_p)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{1}{1+e_0} \cdot C_r \cdot \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right)$$

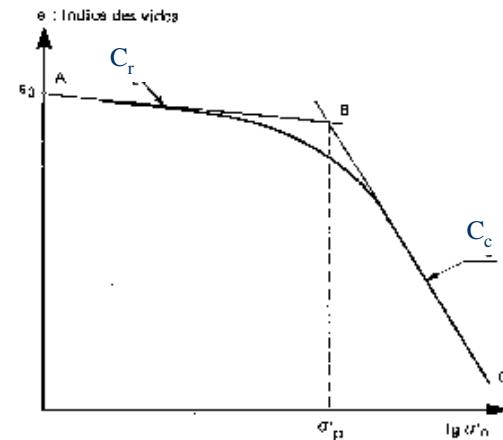
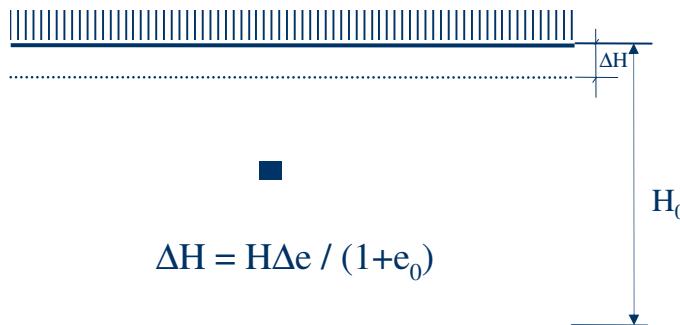
$$(\sigma'_0 > \sigma'_p)$$

$$= \frac{1}{1+e_0} \cdot \left\{ C_r \cdot \log\left(\frac{\sigma'_p}{\sigma'_0}\right) + C_c \cdot \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_p}\right) \right\}$$

Selon que la contrainte effective finale ( $\sigma'_0 + \Delta\sigma'$ ) est respectivement inférieure ou supérieure à  $\sigma'_p$

$$(\sigma'_0 = \sigma'_p)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot \log\left(\frac{\sigma'_p + \Delta\sigma'}{\sigma'_p}\right)$$

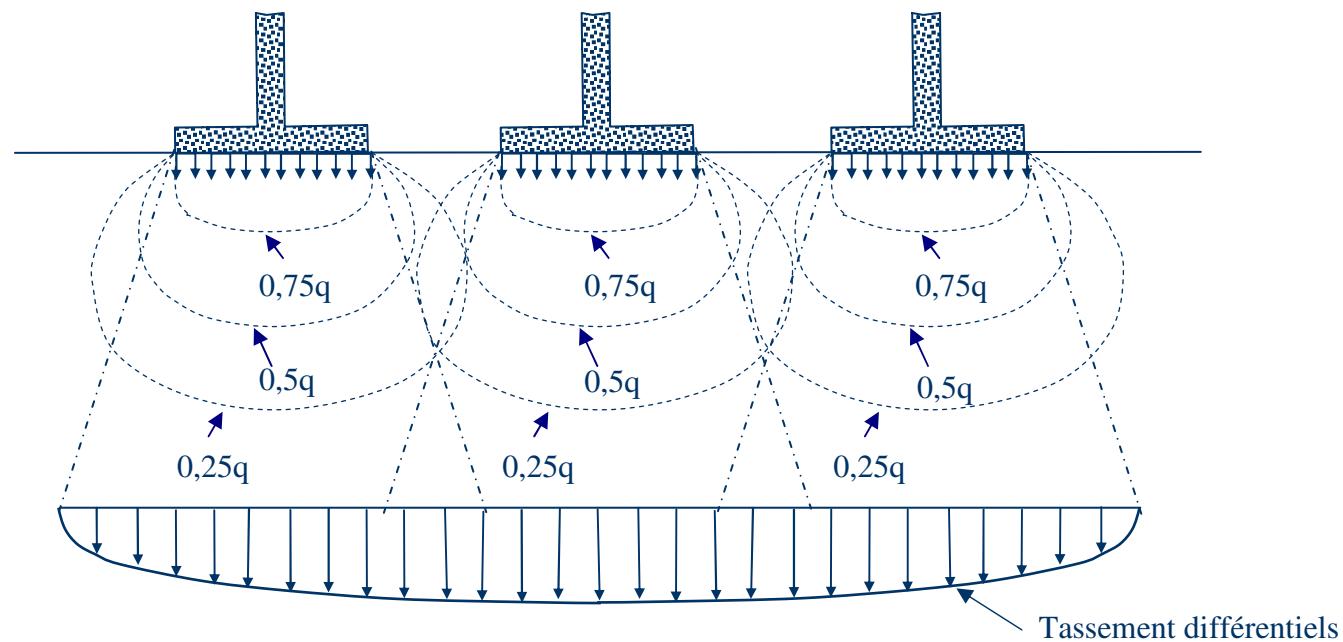


Courbe odométrique. Détermination des indices de gonflement  $C_r$  et de compression  $C_c$  à la pression de préconsolidation  $\sigma'_p$ .

## FONDATIONS SUPERFICIELLES

### TASSEMENT –SUPERPOSITION DES CONTRAINTES

Lorsqu'on a un ensemble de fondations rapprochées, une attention particulière doit être apportée à la superposition des contraintes qui peut produire des tassements différentiels importants.



Ce problème peut être plus critique dans les dépôts d'argile épais.

# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## CHOIX DU TYPE DE SEMELLE

Le choix du type ou du système de semelles dépend de :

- Type de structure (nature des charges);
- Conditions du terrain (géométrie, espace disponible, facilité de construire).

On choisit le type de semelle ou le système de semelle de façon à obtenir, dans la mesure du possible, une répartition uniforme des charges appliquées. Une bonne répartition des charges assure un bon fonctionnement de l'ensemble fondation-structure et minimise les tassements différentiels.

Lorsqu'on a une répartition non uniforme des charges, il faut construire un système de façon à y remédier.

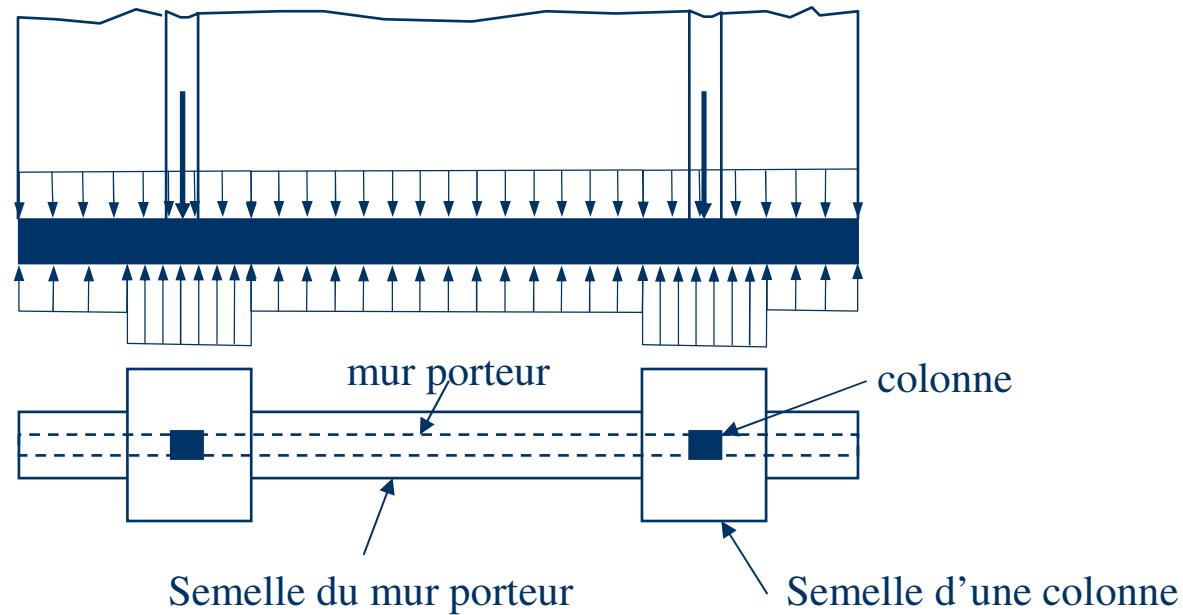
Dépendamment de la situation où on se trouve, on peut avoir les possibilités suivantes :

- ✓ Semelle simple (filante, rectangulaire, carrée, circulaire)
- ✓ Combinées rectangulaire
- ✓ Combinées trapézoïdal
- ✓ En porte-à-faux

# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## SEMELLE SIMPLE

Lorsque les colonnes sont monolithiques (similaires) avec un mur porteur (cas des murs extérieurs), le dimensionnement des semelles des colonnes et du mur se fait séparément.

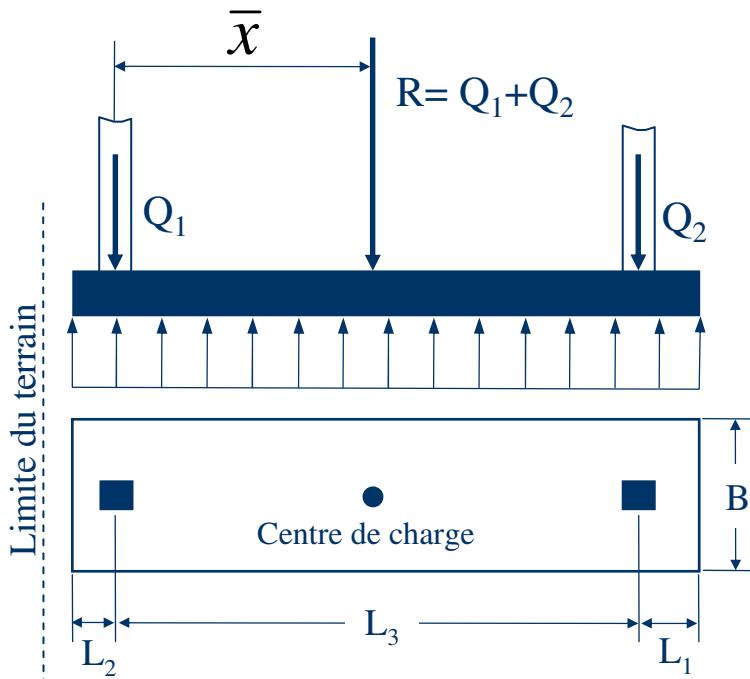


# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## SEMELLES COMBINEES - RECTANGULAIRE

On utilise parfois une seule semelle pour reprendre les charges de deux colonnes. Ceci peut être le cas lorsque deux colonnes sont très rapprochées ou lorsqu'une colonne est située près de la limite du terrain.

$$Q_2 \geq Q_1$$



Procédure :

- Trouver le point d'application de la résultante (R)
- La résultante des forces (R) doit passer par le centre de la fondation :
$$\bar{x} = \frac{Q_2 L_3}{Q_1 + Q_2}$$
- Déterminer la longueur L<sub>1</sub> :
$$L = 2(L_2 + \bar{x})$$
- Faire la conception de la fondation avec B et L

$$q_{app} = \frac{Q_1 + Q_2}{L \cdot B} = \frac{q_{ult}}{F.S} \quad \text{ou} \quad = q_{adm}$$

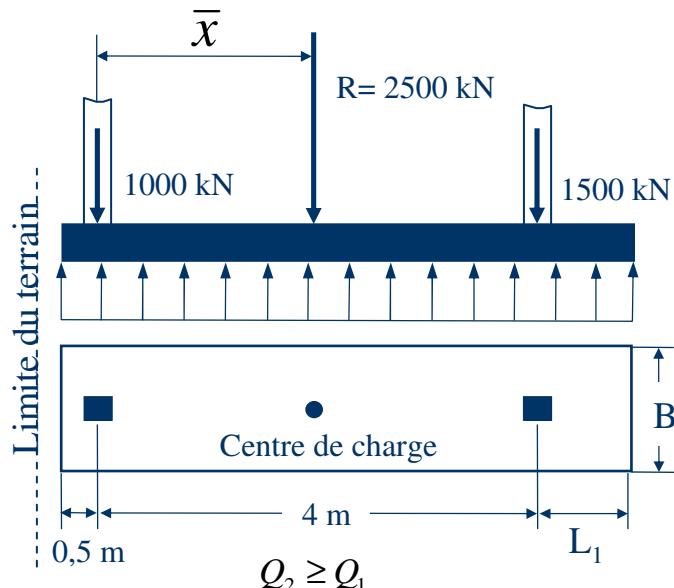
# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## SEMELLES COMBINÉES - APPLICATION

### Exemple

Une colonne transmettant une charge de 1000 kN est située près de la limite de propriété tel qu'illustre sur le schéma ci-dessous. Cette charge est reprise par une semelle qui supporte également une charge de 1500 kN localisée à une distance de 4 m de la charge de 1000 kN. La semelle se trouve à une profondeur de 2 m et le poids volumique est de 20 kN/m<sup>3</sup>. Une valeur de N = 23 a été retenue pour le sol de fondation. Il n'y a pas de nappe d'eau.

Dimensionner cette semelle en fonction des tassements admissibles en évitant l'excentricité. Vérifier la sécurité vis-à-vis la rupture pour  $\phi = 35^\circ$



### Réponse

- Trouver le point d'application de la résultante (R)
 
$$\bar{x} = \frac{Q_2 L_3}{Q_1 + Q_2} = \frac{1500 \cdot 4}{1500 + 1000} = 2,4 \text{ m}$$
- La résultante des forces (R) doit passer par le centre de la fondation :
 
$$L = 2(L_2 + \bar{x}) = 2(0,5 + 2,4) = 5,8 \text{ m}$$
- Déterminer la longueur L<sub>1</sub> :
 
$$L_1 = L_2 + 2\bar{x} - L_3 = 0,5 + 2 \cdot 2,4 - 4 = 1,3 \text{ m}$$
- Faire la conception de la fondation avec B et L
 
$$q_{app} = \frac{Q_1 + Q_2}{L \cdot B} = \frac{2500}{5,8 \cdot B} = \frac{431}{B} = q_{adm}$$

Selon les abaques de Peck pour N = 23; L = 5,8 m et D/B=1

$$q_{adm} = 260 \text{ kPa} = q_{app} = \frac{431}{B} \quad \text{donc} \quad B = 1,66 \text{ m}$$

- Calcule de q<sub>ult</sub> ( $\phi = 35^\circ$ )
 
$$N_c = 46; N_\gamma = 34; N_q = 33$$

$$S_c = S_q = 1 + 1,66 \cdot 33 / (46 \cdot 5,8) = 1,2$$

$$S_\gamma = 1 - 0,4 \cdot 1,66 / 5,8 = 0,89$$

$$q_{ult} = c N_c S_c i_c + \gamma D N_q S_q i_q + \frac{\gamma B}{2} N_\gamma S_\gamma i_\gamma$$

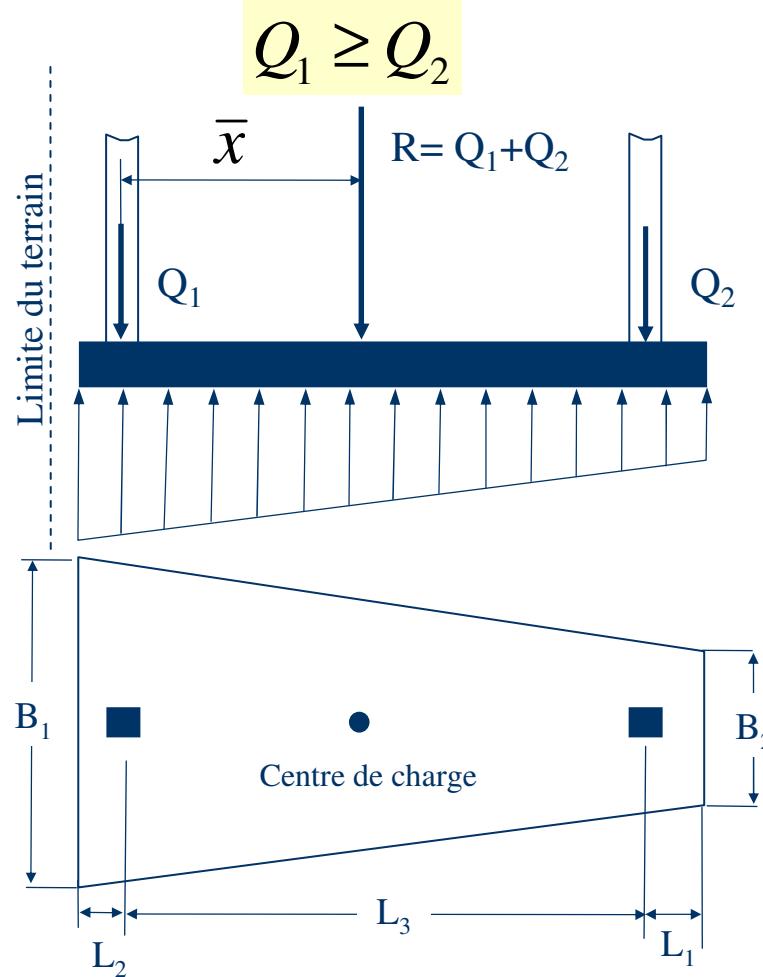
$$q_{ult} = 0 \cdot 46 \cdot 1,2 \cdot 1 + 20 \cdot 33 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 1 + 20 \cdot 1,66 \cdot 34 \cdot 0,89 \cdot 1/2 = 2086 \text{ kPa}$$

$$q_{adm} = q_{ult} / 3 = 695 > q_{app} = 260 \text{ kPa} \quad (\text{ok})$$

# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## SEMELLES COMBINÉES - TRAPÉZOIDALE

Lorsqu'une colonne est située près de la limite du terrain, on peut aussi avoir recours à une semelle trapézoïdale si la force extérieure (proche de la limite du terrain) est supérieure à la force intérieure.



### Procédure :

- Trouver le point d'application de la résultante (R)
  - La résultante des forces (R) doit passer par le centre de gravité de la fondation :
- $$L = 3(L_2 + \bar{x}) \frac{B_1 + B_2}{B_1 + 2B_2}$$
- Faire la conception de la fondation avec  $A = (B_1 + B_2)L/2$ .

$$A = \frac{Q_1 + Q_2}{q_{adm} \text{ ou } q_{ult}/F.S}$$

- Trouver ensuite  $B_1$  et  $B_2$

$$B_2 = \frac{2A}{L} \left( \frac{3\bar{x} + 3L_2 - 1}{L} \right) \quad \text{et} \quad B_1 = \frac{2A}{L} - B_2$$

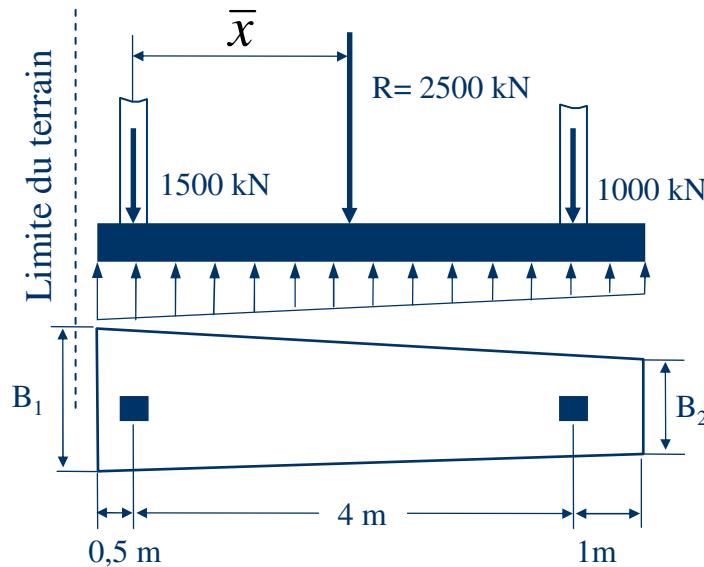
# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## SEMELLES COMBINEES - APPLICATION

### Exemple

Une colonne transmettant une charge de 1000 kN est située près de la limite de propriété tel qu'illustre sur le schéma ci-dessous. Cette charge est reprise par une semelle qui supporte également une charge de 1500 kN localisée à une distance de 4 m de la charge de 1000 kN. La semelle se trouve à une profondeur de 2 m et le poids volumique est de 20 kN/m<sup>3</sup>. Une valeur de  $N = 23$  a été retenue pour le sol de fondation. La nappe d'eau est en surface.

Dimensionner cette semelle en fonction des tassements admissibles en évitant l'excentricité. Vérifier la sécurité vis-à-vis la rupture pour  $\phi = 30^\circ$ .



### Réponse

- Trouver le point d'application de la résultante (R)

$$\bar{x} = \frac{Q_2 L_3}{Q_1 + Q_2} = \frac{1000 \cdot 4}{1500 + 1000} = 1,6 \text{ m}$$

- La résultante des forces (R) doit passer par le centre de la fondation :
- Déterminer la surface de la semelle A:

$$q_{app} = \frac{Q_1 + Q_2}{A} = \frac{2500}{A} = q_{adm} / 2$$

- Selon les abaques de Peck pour  $N = 23$ ;  $L = 5,5 \text{ m}$  et  $D/B = 1$

$$q_{adm} = 260 / 2 = 130 \text{ kPa} = q_{app} = \frac{2500}{A} \quad \text{donc} \quad A = 19,23 \text{ m}^2$$

$$B_2 = \frac{2 \cdot 19,23}{5,5} \left( \frac{3 \cdot 1,6 + 3 \cdot 0,5}{5,5} - 1 \right) = 1,02 \text{ m} \quad \text{et} \quad B_1 = \frac{2 \cdot 19,23}{5,5} - 1,02 = 5,97 \text{ m}$$

- Calcule de  $q_{ult}$  ( $\phi = 30^\circ$ ) -  $B' = A/L = 19,23/5,5 = 3,5 \text{ m}$   
 $N_c = 30$ ;  $N_\gamma = 15$ ;  $N_q = 18$   
 $S_c = S_q = 1 + 3,5 \cdot 18 / (30 \cdot 5,5) = 1,38 > 1,2$   
 $S_\gamma = 1 - 0,4 \cdot 3,5 / 5,5 = 0,74$

$$q_{ult} = c N_c S_c i_c + \gamma D N_q S_q i_q + \frac{\gamma B'}{2} N_\gamma S_\gamma i_\gamma$$

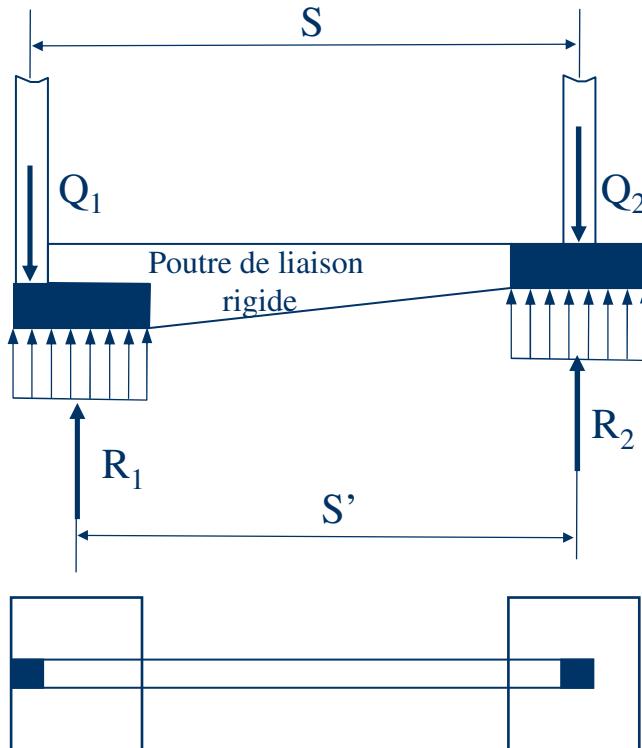
$$q_{ult} = 0 \cdot 30 \cdot 1,2 \cdot 1 + 10 \cdot 18 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 1 + 10 \cdot 3,5 \cdot 15 \cdot 0,74 \cdot 1/2 = 626,2 \text{ kPa}$$

$$q_{adm} = q_{ult} / 3 = 208,75 > q_{app} = 130 \text{ kPa} \quad (\text{ok})$$

# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## SEMELLES EN PORTE-À-FAUX

Dans le cas de deux semelles en porte-à-faux, la distribution uniforme des pressions sous les semelles peut être assurée par une poutre de liaison. La poutre ne doit pas être appuyée sur le sol et elle doit être très rigide.



### Procédure :

- Trouver les réactions  $R_1$  et  $R_2$

$$\sum M_{p2} = Q_1 S - R_1 S' \quad \text{donc} \quad R_1 = \frac{P_1 S}{S'}$$

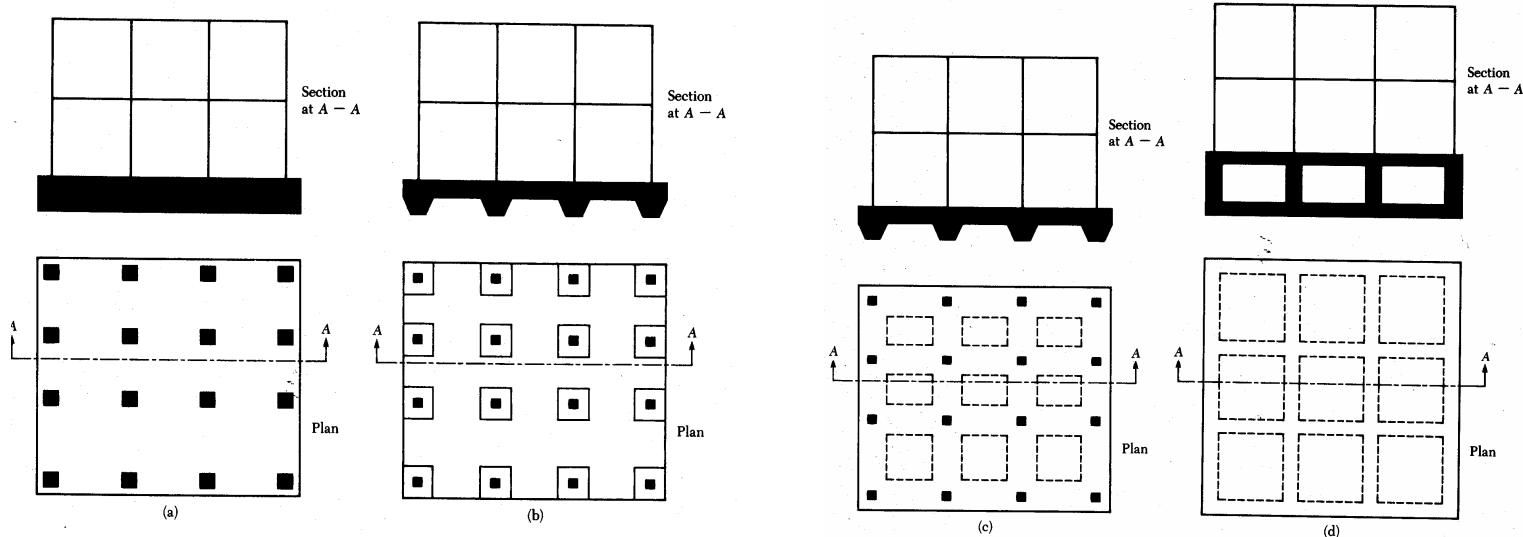
$$R_2 = Q_1 + Q_2 - R_1$$

- On dimensionne ensuite chaque semelle pour la force correspondante

$$q_{app} = \frac{R_1}{L.(B_1 \text{ ou } B_2)} = \frac{q_{ult}}{F.S} \quad \text{ou} \quad = q_{adm}$$

# FONDATIONS SUPERFICIELLES

## GROUPE DE SEMELLES



- a) Système de dalle uniforme
- b) Système de dalle avec des semelles carrées
- c) Système de poutres et dalle
- d) Système de dalle avec base