

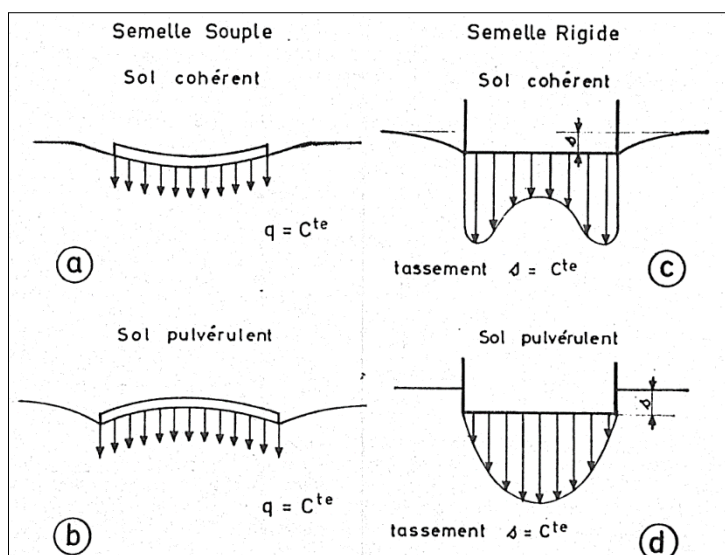


Figure 19 : Déformation et répartition des contraintes sous une semelle.

4.2 Théorie de Boussinesq : (Figure 20)

Boussinesq a démontré que la composante normale σ_v de la contrainte appliquée sur une facette horizontale orientée selon OM avait pour expression :

$$\sigma_v = \frac{3Q}{2\pi z^2} \cos^2 \theta. \quad (21)$$

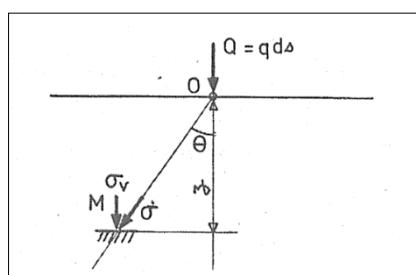


Figure 20. Contraintes dues à une charge ponctuelle.

Plus la profondeur augmente, plus l'intensité de la contrainte diminue (Figure 21).

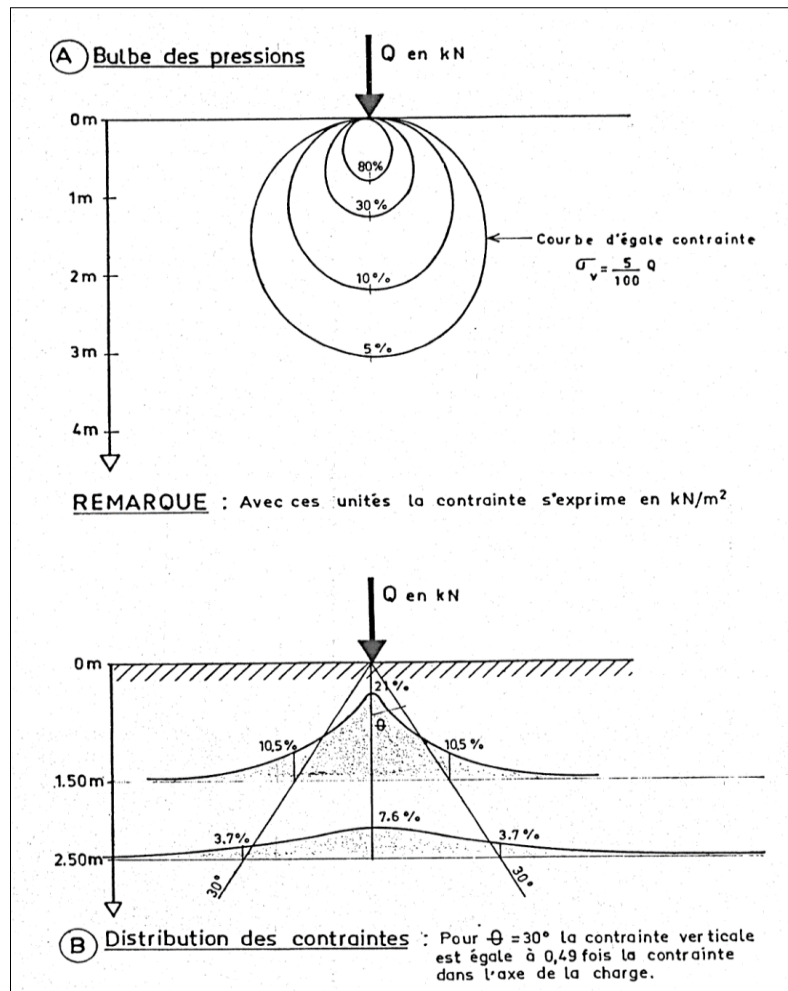


Figure 21. Répartition des contraintes verticales dans un milieu élastique homogène sous une charge ponctuelle.

4.2.1 Cas des semelles souple

Soit une semelle de surface quelconque, la contrainte σ_v en un point M du massif (Figure 22) Peut être obtenue par la formule :

$$\sigma_v = \int_s \frac{3Q}{2\pi z^2} \cos^2 \theta ds. \quad (22)$$

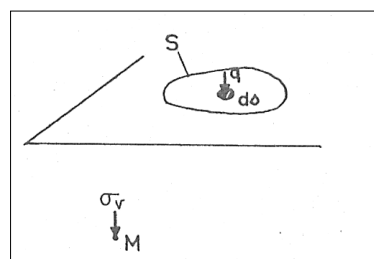


Figure 22. Intégration des formules de Boussinesq.

✚ Cas complexes : (Effet radier)

Pour étudier l'influence simultanée en un point de plusieurs semelles, il est alors préférable d'utiliser des programmes sur ordinateur.

4.2.2 *Cas des semelles rigides*

En général, les semelles superficielles possèdent une rigidité importante ; la contrainte q n'est plus constante et est mal connue.

5. TASSEMENT DES FONDATIONS SUPERFICIELLES

Le niveau de fondation ayant été décidé, on calcule la contrainte admissible du sol. On calcule également le tassement prévisible sous la fondation. On vérifie que le tassement prévisible est inférieur ou égal au tassement admissible.

Il existe deux familles de méthodes d'évaluation du tassement des fondations superficielles :

- Les méthodes basées sur les essais de laboratoire. Il s'agit principalement de l'essai œdométrique. Cette méthode est utilisée surtout pour les sols fins cohérents ;
- Les méthodes basées sur les essais en place. Ces méthodes sont surtout utilisées pour les sols pulvérulents à cause des difficultés de prélèvement de carottes.

5.1 Calcul du tassement en utilisant la théorie de l'élasticité

Le tassement s d'une fondation de forme circulaire, carrée ou rectangulaire, infiniment rigide (tassement uniforme) ou infiniment souple (contrainte uniforme), posée sur un massif semi-infini élastique linéaire et isotrope prend la forme générale suivante :

$$s = q \frac{1-\nu^2}{E} B C_f$$

avec :

- s est le tassement ;
- q est la contrainte appliquée sur la fondation (uniforme ou moyenne) ;
- E module d'Young du sol ;
- ν coefficient de Poisson du sol ;
- B largeur ou diamètre de la fondation.
- C_f coefficient qui dépend de la forme de la fondation, de sa rigidité. Les valeurs de ce paramètre sont données par le tableau ci-dessous (tableau 6).

Tableau 6. Coefficient de forme C_f [7]

L/B	circulaire	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Fondation rigide	0,79	0,88	1,2	1,43	1,59	1,72	1,83	1,92	2,0	2,07	2,13	2,37	2,54
Fondation souple	centre	1,00	1,12	1,53	1,78	1,96	2,10	2,22	2,32	2,4	2,48	2,54	2,80
	bord	0,64	0,56	0,76	0,89	0,98	1,05	1,11	1,16	1,2	1,24	1,27	1,40

La théorie de l'élasticité peut être utilisée de différentes manières :

- i. On peut calculer directement le tassement (le tassement immédiat non drainé) ;
- ii. On peut déterminer la distribution de l'accroissement de contrainte verticale $\Delta\sigma_z$ en fonction de la profondeur. Cette distribution pourrait être utilisée par la suite pour calculer le tassement à l'aide de la méthode œdométrique par exemple.

5.2 Calcul du tassement en utilisant les résultats de l'essai œdométrique

À partir de la distribution avec la profondeur de la contrainte verticale sous la fondation (généralement estimée sur la base de l'élasticité linéaire isotrope), on calcule le tassement de consolidation unidimensionnelle bien connu S_{oed} . Le calcul du tassement avec la méthode œdométrique se base sur la formule suivante pour chaque couche homogène déjà présentée dans le chapitre *consolidation des sols (cours mécanique des sols I)* :

$$s = \Delta H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H_0 = \frac{H_0}{1 + e_0} \left[C_s \cdot \lg \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}} + C_c \cdot \lg \frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_p} \right] \quad (23)$$

avec H_0 : épaisseur initiale de la couche de sol compressible,

e_0 : son indice des vides initial (avant consolidation),

σ'_{v0} : contrainte verticale effective initiale au milieu de la couche,

σ'_p : pression de préconsolidation.

C_s : l'indice de gonflement,

C_c : l'indice de compressibilité

5.3 Calcul du tassement en utilisant les résultats de l'essai au préssiomètre

Menard [11]

La méthode de calcul des tassements à partir du pressiomètre Ménard, proposée par le fascicule 62, titre V (1993), est la méthode de calcul originellement proposée par Ménard et Rousseau [6]. Cette méthode est bien utile surtout pour les fondations étroites telles que les semelles de bâtiments et d'ouvrages d'art. Elle n'est pas bien adaptée pour les fondations de grandes dimensions relativement à la couche compressible telles que les radiers et les remblais.

Considérons une fondation ayant un encastrement supérieur ou égal à sa largeur B . Le tassement après dix ans de cette fondation est donné par :

$$S(10 \text{ ans}) = S_c + S_d \quad (24)$$

Si la fondation a un encastrement presque nul, il faut majorer le tassement obtenu de 20%.

Les termes figurant dans la formule du tassement sont donnés par :

- $s_c = (q - \sigma_v) \lambda_c B \alpha / (9E_c)$: le tassement volumique ;
- $s_d = 2(q - \sigma_v) B_0 \frac{(\frac{\lambda_d B}{B_0})^\alpha}{9E_d}$: le tassement déviatorique.

Avec

q : contrainte verticale appliquée par la fondation ;

σ_v : contrainte verticale totale avant travaux au niveau de la base de la fondation ;

λ_c et λ_d : coefficients de forme donnés dans le tableau 9 ;

α : coefficient rhéologique dépendant du sol et donné dans le tableau 10 ;

B : largeur ou diamètre de la fondation ;

$B_0 = 0.60\text{m}$: dimension de référence ;

E_c : module pressiométrique équivalent dans la zone volumique ;

E_d : module pressiométrique équivalent dans la zone déviatorique.

Tableau 9 : Coefficient de forme [5]

L/B	cercle	carré	2	3	5	20
λ_c	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
λ_d	1,00	1,12	1,53	1,78	2,14	2,65

Tableau 10 : Coefficient rhéologique α [2]

Type	Tourbe	Argile		Limon		Sable		Sable et gravier		Type	Roche
	α	E / p_l	α	E / p_l	α	E / p_l	α	E / p_l	α		α
surconsolidé ou très serré		>16	1	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3	Très peu fracturé	2/3
normalement consolidé ou normalment serré	1	9 à 16	2/3	8 à 14	1/2	7 à 12	1/3	6 à 10	1/4	Normal	1/2
sous-consolidé altéré et remanié ou lâche		7 à 9	1/2	5 à 8	1/2	5 à 7	1/3			Très fracturé	1/3
										Très altéré	2/3

Les modules E_c et E_d sont calculés de la manière présentée dans ce qui suit. La figure 24 indique les notations utilisées pour le calcul.

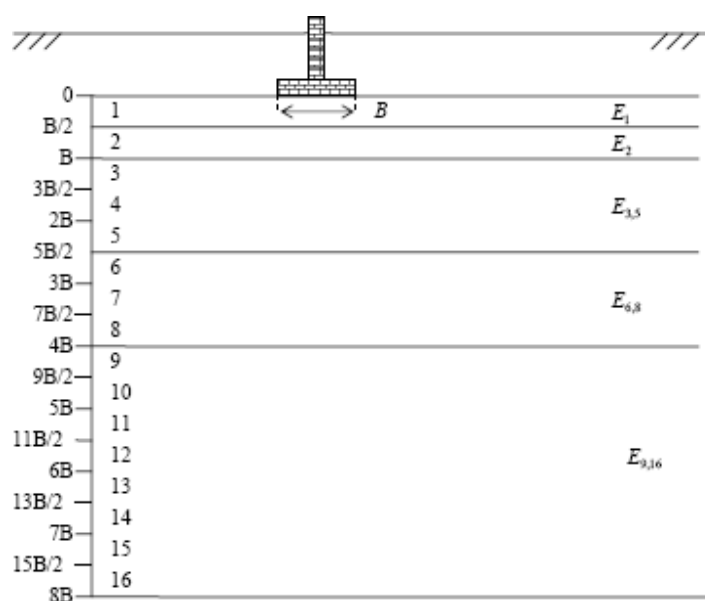


Figure 24 : Modules pressiométriques à considérer pour le calcul du tassement d'une fondation [5]

On note par E_1 le module mesuré dans la tranche d'épaisseur $B/2$ située sous la fondation :

$$E_c = E_1$$

E_d est donné par la formule suivante :

$$\frac{4}{E_d} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85E_2} + \frac{1}{E_{3,5}} + \frac{1}{2.5E_{6,8}} + \frac{1}{2.5E_{9,16}}$$

E_{ij} , étant la moyenne harmonique des modules mesurés dans les couches situées de la profondeur

$i \frac{B}{2}$ à la profondeur $j \frac{B}{2}$.