

Ressources Éducatives Libres

CONSOLIDATION ET TASSEMENT DES SOLS

Université Nationale des Sciences,
Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey



Novembre 2023

1- Généralités

Lorsque l'on charge un sol par un remblai, une fondation, ..., il se produit des déformations qui s'accompagnent de variations de volume apparent. Ce sont ces variations de volume qui feront l'objet de ce chapitre. Donnons d'abord la signification de quelques termes.

La compressibilité est l'aptitude d'un corps à diminuer de volume (à masse constante) sous l'effet d'une augmentation de pression. Elle se manifeste instantanément et n'est pas nécessairement réversible.

La consolidation est le phénomène de réduction progressive de la teneur en eau, par conséquent, de **volume apparent** en fonction du temps d'une couche de sol saturé sous l'action d'une charge constante.

Considérons un sol fin saturé auquel on applique au temps $t = 0$ une certaine distribution de charges qui reste constante par la suite. Sous l'action de ces charges, le sol a tendance à subir des variations de volume. Mais, le sol étant saturé et l'eau ne pouvant s'évacuer par suite de la faible perméabilité, les variations de volume n'ont pas lieu et elles se traduisent par des surpressions Δu de l'eau interstitielle au voisinage des points d'application des charges. Au cours de l'écoulement, appelé drainage les surpressions Δu diminuent. Les charges sont donc peu à peu reportées sur le squelette solide qui subit ainsi des déformations et des tassements. L'écoulement s'arrête lorsqu'en tout point la surpression Δu s'est annulée.

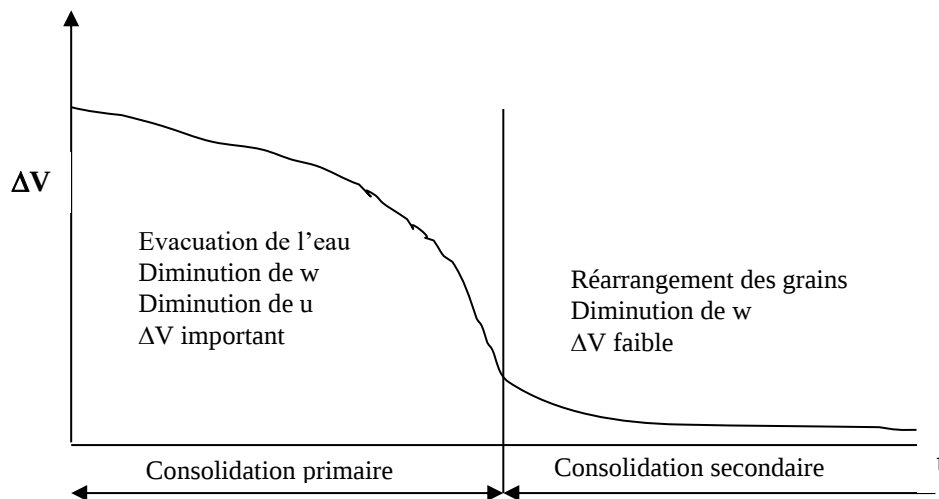


Figure 1 : Phénomène de consolidation

Le Tassement est un abaissement du niveau du terrain en surface qui correspond principalement à l'évacuation d'une partie de l'eau vers des zones de moindre pression interstitielle (consolidation).

2- Tassement des sols grenus

La compressibilité des sols grenus n'est due qu'à la compression du squelette solide. Les tassements dans ces sols sont instantanés, ils ont lieu immédiatement au moment de l'application des charges. Les tassements sont les mêmes que le sol soit sec, humide ou saturé. Les déformations dans les sols grenus comme d'ailleurs au niveau des sols fins, entraînent une variation de leur indice des vides e et sont dues à deux causes :

- d'une part, un réenchevêtrement des grains qui provoque une diminution de l'indice des vides ;
- d'autre part, une déformation des grains eux-mêmes sous l'action des forces qui s'exercent à leurs points de contact.

A moins que le sol ne soit très serré, la part prépondérante des tassements dans un sol grenu est due au réenchevêtrement des grains car les déformations des grains sont assez faibles.

3- Tassement – Consolidation des sols fins cohérents

3-1- Essais œdométriques

L'essai œdométrique reproduit les conditions de déformation des sols à surface horizontale chargé par une pression uniforme et où le sol ne peut se déplacer que verticalement.

Le tassement est la composante verticale du déplacement de la surface d'un sol sous l'effet des charges qui lui sont appliquées ; elle est habituellement notée s .

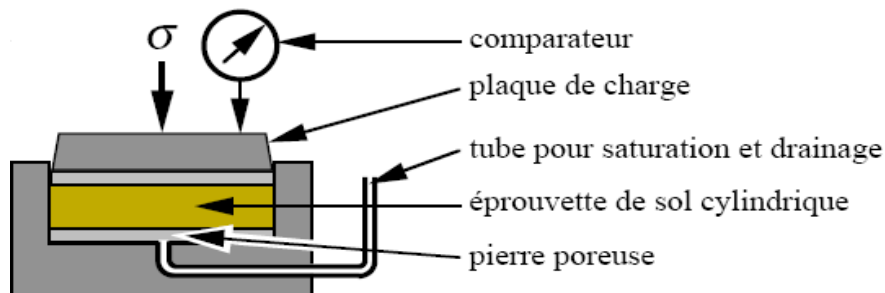


Figure 2 -Cellule œdométrique

L'échantillon de sol compressible saturé est placé entre deux pierres poreuses dans une enceinte rigide ; on applique une charge, on mesure la déformation jusqu'à ce qu'elle se stabilise, puis on applique une charge plus forte et l'on recommence les observations, etc.

Cet essai permet d'établir, pour un échantillon donné, deux types de courbes : les courbes de consolidation et la courbe de compressibilité.

3-1-1- Les courbes de consolidation

Elles donnent le tassement de l'échantillon en fonction du temps sous application d'une charge constante.

L'intersection des tangentes aux deux branches de la courbe définit la fin conventionnelle de la consolidation primaire correspondant à s_{100} et t_{100} sur la figure 3.

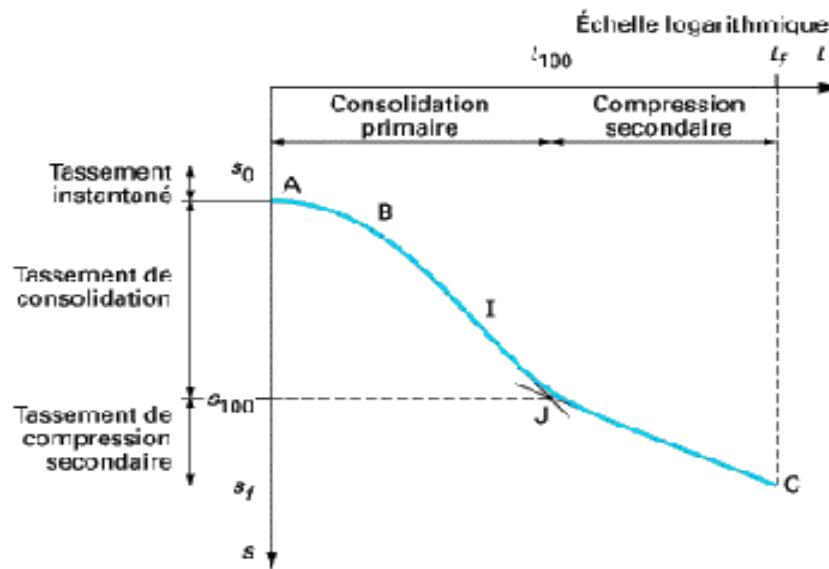


Figure 3 - Courbe de consolidation d'un sol fin

3-1-2- La courbe de compressibilité

Elle donne la variation de l'indice des vides de l'éprouvette en fonction de la contrainte effective (= totale) appliquée.

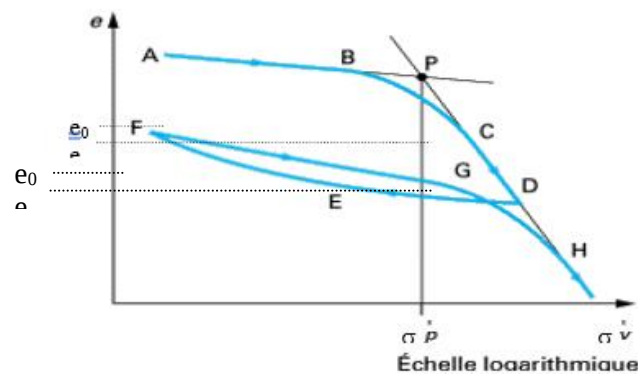


Figure 4 - Courbe de compressibilité œdométrique d'un sol fin

Remarques :

- La courbe est composée de deux parties sensiblement rectilignes, AB à faible pente et CD à forte pente, raccordée par une partie courbe.
- On constate en outre, lors d'un cycle de déchargement – rechargement DEFGH, que le matériau n'a pas un comportement élastique.

recharge l'échantillon à partir de F, le point figuratif se déplace suivant FGH pour se raccorder ensuite en H à la droite CD. Le sol a donc un comportement non réversible lors du déchargement et présente une boucle d'hystérésis. Il garde donc « en mémoire » la valeur maximale de la contrainte effective à laquelle il a été soumis.

La **pression de préconsolidation** est la contrainte effective maximale sous laquelle le sol s'est consolidé au cours de son histoire ; elle est donnée par l'abscisse du point d'intersection P (figure 4) et notée σ'_p .

Il faut remarquer que la pression de préconsolidation est variable avec la profondeur à laquelle se trouve l'élément de sol considéré.

Lorsque la pression de préconsolidation est supérieure à la contrainte effective verticale actuelle σ'_0 ($\sigma'_p > \sigma'_0$), on dit que **le sol est surconsolidé**. Le phénomène peut s'expliquer par l'existence autrefois sur le site de couches géologiques actuellement disparues, la fluctuation de la nappe phréatique ; cette surconsolidation peut aussi être la conséquence d'une érosion, mais aussi d'autres phénomènes telle que l'évaporation qui crée de très fortes contraintes capillaires, ou le tassement secondaire qui augmente les liaisons entre les grains, ce qui équivaut à une charge supplémentaire.

Si ($\sigma'_p = \sigma'_0$), **le sol est dit normalement consolidé**. Le sol est consolidé sous la pression effective régnant au moment du prélèvement.

Si ($\sigma'_p < \sigma'_0$), **le sol est dit sous-consolidé**. Le sol n'est consolidé que sous une pression inférieure à la pression effective régnant au moment du prélèvement : il est en cours de consolidation sous son propre poids. C'est le cas de dépôts récents, ou de couches supportant depuis peu une surcharge telle celle de remblais par exemple.

La pente de la 1^{ère} droite est appelée **indice de recompression** et est notée **Cs**. Ses valeurs peuvent varier, suivant les sols, entre 0,01 et 0,1.

Le tassement du sol est faible, voire nul (sol gonflant par exemple) sous des contraintes inférieures à σ'_p puisque celui-ci était déjà consolidé. Au-delà de cette contrainte, le processus de consolidation, tel que décrit précédemment, se développe et les tassements sont sensibles et plus ou moins importants selon la nature du sol ; cette deuxième partie du cycle de chargement s'appelle courbe vierge.

La pente de la tangente à la courbe vierge (droite la plus aiguë) est appelée **indice de compression** et notée **Cc**. Elle caractérise le domaine normalement consolidé et permet de préciser la sensibilité du sol au tassement le long de cette courbe.

Retenons quelques valeurs de l'indice de compression C_c : Sable $0,01 < C_c < 0,10$; Argile raide $0,10 < C_c < 0,25$; Argile moyenne $0,25 < C_c < 0,80$; Argile molle $0,80 < C_c < 2,50$.

3-2- Calcul du tassement œdométrique

On peut déterminer en utilisant la courbe de compressibilité œdométrique le tassement d'une couche homogène d'épaisseur H_0 (de l'ordre de quelques mètres, au maximum), au moyen des formules suivantes selon le type de consolidation de la couche de sol :

- sol sousconsolidé et normalement consolidé ($\sigma'_p = \sigma'_0$): $s = \frac{H_0}{1+e_0} [C_c \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma_z}{\sigma'_0}]$.

- sol surconsolidé $\sigma'_p > \sigma'_0$:

1^{er} cas : Si $\sigma'_0 + \Delta\sigma_z < \sigma'_p$ $s = \frac{H_0}{1+e_0} [C_s \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma_z}{\sigma'_0}]$

2^{ème} cas : Si $\sigma'_0 + \Delta\sigma_z > \sigma'_p$ $s = \frac{H_0}{1+e_0} [C_s \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_0} + C_c \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma_z}{\sigma'_p}]$

avec :

C_s : Indice de recompression ;

H_i : Hauteur (épaisseur de la couche i)

e_0 : indice des vides initial ;

σ'_0 : Contrainte effective due au poids des terres

σ'_p : Contrainte effective de préconsolidation ;

$\Delta\sigma_z$: Contrainte induite par la surcharge à la profondeur z ;

C_c : Indice de compression.

Pour une succession de couches, on admet que le tassement total est égal à la somme des tassements calculés pour chaque couche.

NB : $\log$ est le logarithme de base 10 (logarithme décimal) ; $\log \equiv \log_{10}$.

3-3- Degré de consolidation - Vitesse de Consolidation

En plus de l'intensité du phénomène de consolidation, il convient d'en évaluer la durée.

On appelle degré de consolidation le rapport du tassement au temps t au tassement final .

Il est noté U . $U = \frac{s(t)}{s}$.

Si l'on définit le nombre sans dimension T suivant appelé facteur temps : $T = \frac{C_v}{H^2} . t$, le degré

de consolidation U est lié à T par la formule de BRINCH HANSEN $U = \sqrt[6]{\frac{T^3}{T^3 + 0,5}}$.

N.B. : C_v est appelé coefficient de consolidation verticale et on l'exprime en m^2/s . C_v n'est pas une constante au cours de la consolidation, mais dans la pratique on le mesure directement à l'œdomètre et on le suppose constant. C_v dépend de la perméabilité et de la compressibilité du sol. Pour les sols fins, sa valeur est en général comprise entre 10^{-7} et $10^{-9} m^2/s$;

Les valeurs de U sont couramment représentées sous forme d'abaque ou de tableau de valeurs (tableau 1).

T	U (%)	T	U (%)		U (%)	T	U(%)	T
0	0	0,250	56,2		0	0	55	0,238
0,004	7,1	0,300	61,3		5	0,002	60	0,286
0,008	10,1	0,350	65,8		10	0,008	65	0,342
0,012	12,4	0,400	69,8		15	0,018	70	0,403
0,020	16,0	0,500	76,4		20	0,031	75	0,477
0,028	18,9	0,600	81,6		25	0,049	80	0,567
0,048	24,7	0,700	85,6		30	0,071	85	0,684
0,072	30,3	0,800	88,7		35	0,096	90	0,848
0,100	35,7	0,900	91,2		40	0,126	95	1,129
0,150	43,7	1,000	93,2		45	0,160	100	∞
0,200	50,4	1,500	98,0		50	0,196		

Tableau 1 - Degré de consolidation U en fonction du facteur temps T

Pour une couche d'épaisseur H drainée par une seule face, $T = \frac{C_v}{H^2} \cdot t$;

Lorsque la couche est drainée par les 2 faces, la longueur de drainage devient $H' = \frac{H}{2}$ et la

formule devient $T = 4 \frac{C_v}{H^2} \cdot t$

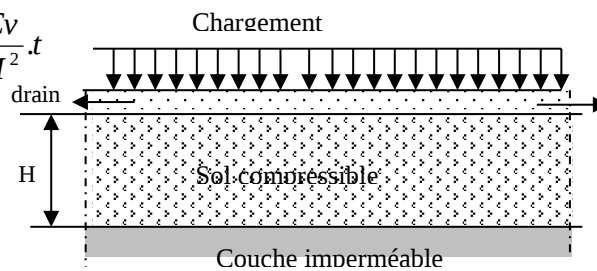


Figure 5 : Couche drainée d'un seul côté