

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DE MOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHESCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE SAAD DAHLEB - BLIDA 1**



**Faculté de Technologie**

Département de  
Génie Civil

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

En vue de l'obtention du diplôme de Master 2 en Génie civil  
Spécialité : Géotechnique

Thème :

**Calcul automatique du tassement des fondations superficielles  
par les méthodes œdométrique et préssionmétrique.  
établissement d'un programme en Vb.net**

Réalisé par :

**BOUMAHDJ Chaima**

**SAHRAOUI Dhikra Asma**

Encadré par :

Dr. Younes Abed

U.S.D.B.1

Promoteur

Blida, Octobre 2022

## REMERCIEMENT

*Nous tenons à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir permis de mener à terme ce modeste travail. La réalisation d'un travail de cette importance ne peut être menée à terme sans le support constant de tous les gens impliqués de près ou de loin dans le projet.*

*On profite de cette opportunité pour vous remercier tous individuellement.*

*Nous remercions d'abord notre cher promoteur, **Dr ABED Younes** pour son encadrement, pour nous avoir guidées tout au long de cette étude en nous faisons bénéficier de ses compétences, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire. On vous exprime notre reconnaissance pour vos précieux conseils qui ont contribué à alimenter nos réflexions. Nous avons apprécié votre grande générosité, votre confiance et votre présence.*

*Un grand Merci également à toute personne travaillant au sein des services de l'université **SAAD DAHLEB** plus précisément au département **Génie Civil**.*

*Enfin, nous tenons à exprimer nos remerciements les plus vifs à Nos familles et amis et à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire, de près ou de loin, que ça soit par leur soutien moral leur encouragement ou leurs conseils.*

## DEDICACE

*Avec Fierté et Honneur de les chérir au-dessus de mon devoir ; et de dédier le fruit de cet  
Humble effort a ceux qui ont illuminé mon chemin avec la lampe du Douaa,*

*A « maman » qui l'âme a été nourrie par sa générosité, à ma profonde gratitude pour  
l'éducation qu'il m'a prodiguée.*

*A « papa » celui qui a parcouru les chemins de la vie avec Respect et qui a sacrifié toute sa  
vie afin de me voir devenir ce que je suis, Merci mes parents.*

*A mes chères sœurs « Soumia » et « Afifa » et mes frères « Mustapha » et « Mohamed  
redha » a ma petite nièce « Yarine »*

*A mes oncles et mes tantes. Qu'ALLAH leur donne une longue et joyeuse vie.*

*A toute la famille « BOUMAHDI » et la famille « CHOUCHAOUI » mes proches,  
cousins et cousines surtout « Hadjer » et « Zineb » et « RoKaia » et « Fatima zohra » et  
« Noursine » ;*

*A mes copines « Sarah » et « Maroua » et « Meriem » et « Hiba » et « Asma » et « Nadjet »  
je vous promets que je n'oublierai jamais le soutien que j'ai reçue de vous.*

*Et Enfin je remercie tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin.*

*« Chaima »*

## **DEDICACE**

*Je dédie ce modeste travail à :*

*- Mes très chers parents, ceux grâce à qui j'ai pu atteindre ce niveau et ceux à qui je dois beaucoup de respect. Aujourd'hui, c'est autant un plaisir qu'un devoir pour moi de vous remercier pour votre amour, votre grande patience et vos sacrifices.*

*- Mes frères et ma sœur*

*- A mes chers neveux et nièces*

*- Tous mes amis et tous ceux qui me sont chers.*

*- Toute la promos Génie civil 2020/2021.*

*- Tous ceux qui me connaissent.*

*SAHRAOUI dhikra asma*

## Résumé

Plusieurs dégâts dans la construction sont liés au phénomène de tassement du sol sous les fondations, ceci est généralement causé par une mauvaise prise en charge de ce phénomène géotechnique par les ingénieurs qui devient plus en plus compliqué dans les sols fins tels que les argiles et limons.

L'estimation des tassements sous les fondations superficielles est basée sur les caractéristiques du sol déterminées in situ ou en laboratoire notamment les essais de compressibilité à l'odomètre et les sondages pressiométriques.

Une bonne maîtrise de calcul des tassements permet d'adopter les meilleurs systèmes de fondations et prédire les déformations dans le sol causées par les charges transmises par la structure.

**Mots clés :** construction, tassement, fondations superficielle, sols fins, odomètre.

## Abstract

Several damages in construction are linked to the phenomenon of soil compaction Under the foundations, this is generally caused by poor management of this geotechnical phenomenon by engineers which becomes more and more complicated in fine soils such as clays and silts.

The estimate of settlements Under shallow foundations is based on the characteristics of the soil determined in situ or in the laboratory, in particular the compressibility tests with the odometer and the pressuremeter soundings.

A good mastery of computation calculations makes it possible to adopt the best foundation systems and to predict the deformations in the soil caused by the loads transmitted by the structure.

**Key Words:** construction, settlement, shallow foundations, fine soils, odometer

## ملخص

ترتبط العديد من الأضرار في البناء بظاهرة انضغاط التربة تحت الأساسات، وينتج هذا عموماً عن سوء إدارة. هذه الظاهرة الجيوتقنية من قبل المهندسين التي تزداد تعقيداً في التربة الدقيقة مثل الطين والطيني

يعتمد تقدير المستوطنات تحت الأسس الضحلة على خصائص التربة المحددة في الموقع أو في المختبر، ولا سيما اختبارات الانضغاط مع عداد المسافات وقياس الضغط

إن التمكن الجيد من حسابات التسوية يجعل من الممكن اعتماد أفضل أنظمة الأساس والتنبؤ بالتشوهات في التربة الناتجة عن الأحمال المنقولة بواسطة الهيكل.

**الكلمات المفتاحية:** البناء، الاستقرار، الأساسات السطح، التربة الدقيقة، قياس الاستقرار.

# Sommaire

REMERCIEMENT

DEDICACE

Résumé

Sommaire

Liste des Figures

Liste des Tableaux

NOTATION

INTRODUCTION GENERALE ..... 1

## CHAPITRE I : Généralités sur les fondations

I.1. Introduction.....	4
I.2. Définitions .....	4
I.3. Fondations superficielles .....	5
I.3.1. Avantages et inconvénients des fondations superficielles .....	5
I.4. Comportement d'une fondation superficielle .....	6
I.5. Types des fondations superficielles .....	8
I.5.1 Semelle isolée.....	8
I.5.1.1. Caractéristiques .....	9
I.5.1.2. Le Dimensionnement d'une semelle isolée .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.5.1.3. Mise en œuvre .....	10
I.5.2. Les Semelles continues (ou filantes).....	10
I.5.2.1. Caractéristiques .....	10
I.5.3. Le Radier .....	11
I.5.3.1. Utilisation .....	12
I.5.3.2. Mise en œuvre .....	12
I.6. Fondation semi profondes .....	13
I.6.1. Utilisation.....	13
I.6.2. Avantage .....	13
I.7. Fondation profonde.....	14
I.7.1. Utilisation.....	14
I.7.2. Caractéristique.....	14
I.8 Généralités sur la capacité portante des fondations superficielles.....	15

I.9. Conclusion .....	16
-----------------------	----

## **CHAPITRE II : Calcul des Tassements**

II.1. Introduction .....	19
II.2. Méthodes de calcul du tassement .....	20
II.3. Composantes du tassement.....	20
II.4. Evaluation du tassement .....	21
II.4.1. Evaluation du tassement à partir de l'essai œdométrique.....	22
II.4.1.1. Détermination des propriétés du sol (essai oedométrique) .....	22
II.4.1.3. Contraintes dues aux surcharges de l'ouvrage.....	25
II.4.1.4. Calcul de déformation .....	30
II.4.1.5. Correction de tassement .....	31
II.4.2. Essai pressiométrique .....	32
II.4.2.1. Domaine d'application .....	32
II.4.2.2. Principe de calcul des tassements.....	33
II.4.2.3. Valeurs des modules de déformation .....	34

## **CHAPITRE III : Organigramme de calcul de Tassement**

III.1. Introduction .....	38
III.2. Composantes du tassement .....	38
III.3. Méthodes de calcul du tassement.....	38
III.3.1. Calcul du tassement à partir de l'essai oedométrique .....	40
III.3.1.1. Calculer le tassement de chaque tranche $\Delta h_i$ .....	42
III.3.1.2. Calculer le tassement final .....	42
III.3.2. Le calcul du tassement à partir de l'essai pressiométrique: .....	42
III.3.2.1. Tassement d'un sol homogène .....	44
III.3.2.2. Tassements d'un sol hétérogène.....	44
III.4. Conclusion.....	45

## **CHAPITRE 4 : Etablissement du programme en vb.net et présentation des grandes options du programme**

IV.1. Introduction.....	47
IV.2. Le principe du programme.....	47
IV.3. L'interface de Visual Studio.....	48
IV.3.1. L'aspect graphique.....	48

IV.3.2. La fenêtre du code .....	49
IV.4. Les classes utilisées.....	50
IV.4.1. La Classe Form.....	50
IV.4.2. La class button.....	51
IV.4.3. La class label .....	51
IV.4.4. La classe Textbox.....	51
IV.4.5. La classe Comobox .....	51
IV.5. Les Variables .....	51
IV.5.1. Les types des variables .....	52
IV.6. Les Tableaux .....	52
IV.7. Les Opérateurs .....	52
IV.7.1. Opérateurs arithmétiques.....	52
IV.7.2. Opérateurs de comparaison .....	53
IV.7.3. Opérateurs de concatenation .....	53
IV.7.4. Opérateurs logiques.....	53
IV.8. Les structures de conditionnelles .....	54
IV.9. Les boucles.....	55
IV.9.1 La boucle « For - Next »: .....	55
IV.10. Mode d'emploi .....	55

## **CHAPITRE V : Vérification du programme par un calcul manuel et applications**

V.1.Introduction .....	61
V.2. Les exemples de l'essai œdométrique.....	61
V.2.1. Exemple 1 .....	61
V.2.2. Exemple 2 .....	62
V.2.3. Exemple 3 .....	65
V.2.4. Exemple 4 .....	67
V.3. L'essai pressiométrique :.....	69
V.3.1. Exemple 1 .....	69
V.3.1. Exemple 2 .....	72
V.4. Conclusion.....	75

## **CHAPITRE VI : Etude Parametrique**

VI.1. Introduction.....	77
-------------------------	----



VI.2. Etude paramétrique .....	77
VI.2.1. Analyse dimensionnelle .....	77
VI.2.2.1. Analyse dimensionnelle en Changeant la charge appliquée sur le sol .....	77
VI.2.2.2. Analyse dimensionnelle en Changent les caractéristiques de sol.....	78
VI.2.2.3. Analyse dimensionnelle en Changent le rayon R de la semelle .....	79
VI.2.2.4. Analyse dimensionnelle en Changent le Module équivalent <i>E<sub>m</sub></i> de sol....	79
VI.3. Conclusion .....	80
CONCLUSION GENERALE.....	81
Références.....	82
Annexe .....	83

## Liste des Figures

Figure I.1: Exemples sur les types des fondations.....	5
Figure I. 2: Courbes de tassement vertical pour une fondation superficielle (a) pour un sol mou ou peu compact ; (b) pour un sol relativement résistant.....	7
Figure I. 3: Charges appliqués sur une fondation.....	8
Figure I. 4: Semelle isolée.....	9
Figure I. 5: Semelle filante.....	10
Figure I. 6: Radier.....	11
Figure I. 7: Fondation semi profonde.....	14
Figure I. 8: Fondation profonde.....	15
Figure I. 9: Courbe de chargement d'une fondation superficielle.....	16
Figure II. 1: Courbe de consolidation d'un sol fin.....	22
Figure II. 2: Les appareils utilisés dans la méthode œdométrique.....	23
Figure II. 3: Le dimensionnement de la méthode œdométrique.....	23
Figure II. 4: Les courbes de caractéristique 'Cc, Cs, e <sub>0</sub> , σ'v <sub>0</sub> ' essai œdométrique.....	24
Figure II. 5: Schéma de superposition de sous-rectangle.....	26
Figure II. 6: Schéma de surcharge circulaire en surface du sol.....	27
Figure II. 7: Schéma de calcul des contraintes selon la méthode de burmister.....	27
Figure II. 8: Fondations dans sol homogène.....	32
Figure II. 9: Décomposition du terrain pour le calcul des Modules équivalent.....	32
Figure III. 1: Découpage des couches a des tranches.....	40
Figure IV. 1: L'aspect graphique.....	48
Figure IV. 2: Fenêtre du code.....	50
Figure IV. 3: Structure générale de conditionnelle type « If - Then ».....	54
Figure IV. 4: Structure générale de la boucle « For - Next ».....	55
Figure IV. 5: Interface principale du programme.....	56
Figure IV. 6: Type de semelle.....	56
Figure IV. 7: Identification des couches : (a) pour l'essai oedométrique ; (b) pour l'essai préssionmétrique.....	57
Figure IV. 8: Interface des résultats méthode PMT sol homogène.....	58

Figure IV. 9: les caractéristiques du sol.....	58
Figure IV. 10: Interface des résultats méthode PMT sol hétérogène.....	59
Figure IV. 11: Interface des résultats méthode œdométrique.....	59
Figure V. 1: La fondation de semelle rectangulaire dans le sol multi couche “6 couches” épissure infini.....	61
Figure V.2: La fondation de semelle rectangulaire dans sol multi couches” 3couche”episseure fini.....	63
Figure V. 3: La fondation de semelle circulaire dans le sol multi couche “6 couches” épissure infini.....	65
Figure V. 4: La fondation de semelle circulaire dans sol multi couches” 3couche”episseure fini.....	67
Figure V. 5: Le graphe de module pressiométrique $E_m$ sur le plan de 1 m.....	69
Figure V. 6: Décomposition du terrain pour le calcul des modules équivalents.....	70
Figure V. 7: Fondations dans sol homogène un seul module pressiométrique.....	72
Figure VI. 1: Le tassement final en fonction de la charge $q$ .....	78
Figure VI. 2: Le tassement final en fonction de l’indice de compression $C_c$ .....	78
Figure VI. 3: Le tassement final en fonction de le rayon $R$ .....	79
Figure VI. 4: Le tassement final en fonction de module pressiométrique $E_m$ .....	80

## Liste des Tableaux

Tableau I. 1: La Différence entre les 3 types des dalles .....	12
Tableau II. 1: Coefficient d'influence est évalué par $Z / H = 0.2$ .....	28
Tableau II. 2: Coefficient d'influence KHZ évalué par $Z / H$ et $H / R$ et $r/R$ et $\nu$ .....	29
Tableau II. 3: Marges recommandées du coefficient A de Skempton .....	31
Tableau II. 4: Valeurs du coefficient $\alpha$ .....	31
Tableau II. 5: Valeurs du coefficient intervenant dans le calcul du tassement .....	34
Tableau II. 6: Valeurs du coefficient rhéologique .....	35
Tableau II. 7: Valeurs du coefficient rhéologique .....	36
Tableau IV. 1: Les opérateurs logiques .....	54
Tableau V. 1: Les résultats d'exemple 1 méthode NEWMARK .....	62
Tableau V. 2: Les résultats d'exemple 2 méthode BURMISTER .....	64
Tableau V. 3: Les résultats d'exemple 3 méthode BOUSSINESQ .....	66
Tableau V. 4: Les résultats d'exemple 4 méthode MILOVITCH .....	68
Tableau V. 5: Module pressiométrique $E_m$ .....	69
Tableau V. 6: Valeurs du coefficient intervenant dans le calcul du tassement .....	71
Tableau V. 7: Valeurs du coefficient rhéologique .....	71
Tableau VI. 1: Variation de tassement en fonction de la charge $q$ .....	77
Tableau VI. 2: Les Résultats de calcul de tassement .....	78
Tableau VI. 3: Les Résultats du tassement après le changement des forces .....	79

## NOTATION

- $q$ : Pression verticale transmise à la base de la fondation (kPa)
- $\sigma_{v0}$ : Contrainte verticale initiale à la base de la fondation (kPa)
- $\sigma_p$ : Contrainte verticale effective due au poids des terres à la profondeur de la déformation maximale (kPa),
- $\lambda_s$ : Coefficient de forme pour la composante sphérique,
- $\lambda_d$ : Coefficient de forme pour la composante déviatorique,
- $\alpha$ : Coefficient de structure du sol,
- $E_m$ : Module pressiométrique à une profondeur donnée (MPa)
- $E_d$ : Module pressiométrique déviatorique équivalent (MPa)
- $E_c$ : Module pressiométrique sphérique équivalent (MPa)
- $S$ : Tassement du sol à la base de la fondation (mm)
- $B$ : Largeur ou diamètre de la fondation (m),
- $B_0$ : Dimension de référence dans la méthode de Ménard ( $B_0=60$  cm).
- $\sigma_v'$ : Contrainte effective final (kPa)
- $I_\sigma$ : est facteur d'influence de surcharge
- $I_c$ : est facteur d'influence en fonction de  $Z/R$  et  $r/R$
- $R$ : rayon de la fondation
- $r$ : distance de l'axe passant par le centre de la fondation
- $K_{h0}$ : coefficient d'influence dépendant de  $Z/H$ ,  $L/B$ ,  $\beta$
- $Z$ : profondeur du milieu de la tranche et la base de couche
- $H$ : épaisseur de la couche du sol
- $L$  et  $B$ : longueur et largeur de la fondation
- $\beta$ : Coefficient sans dimensions  $\beta= B/2H$  sur l'axe passant par le centre
- $kh_z$ : coefficient d'influence dépendant de  $\nu$ ,  $Z/H$ ,  $H/R$
- $\nu$ : coefficient de poisson du sol
- $\Delta\sigma$ : Augmentation des contraintes à la base de la fondation
- $s$ : Tassement du sol à la base de la fondation (cm)
- $C_c$ : l'indice de compression.
- $C_s$ : L'indice de décompression

## INTRODUCTION GENERALE

Fonder une construction est une des plus anciennes activités du bâtiment et des travaux publics, et le problème de géotechnique le plus courant encore aujourd'hui.

Les fondations sont des éléments fondamentaux dans un projet de construction car la pérennité de l'ouvrage dépend de leur qualité. Les fondations reprennent et transmettent au sol toutes les charges permanentes, accidentels et charges d'exploitation. Il est donc important qu'elles soient calculées et réalisées avec le plus grand soin.

Sous l'effet d'un chargement (fondation, remblai, etc...), il se développe dans le sol des contraintes qui entraînent des déformations qui peuvent être instantanées ou différées dépendant du temps. Les tassements sont par définition les déformations verticales du sol vers le bas sous l'action des sollicitations diverses ils peuvent avoir des conséquences non négligeables sur la stabilité des ouvrages supportées par le sol. Si les déformations sont vers le haut, on appelle gonflement (par exemple pendant les excavations). Le tassement peut être uniforme (absolu) qui se traduit par un déplacement de l'ensemble d'une structure vers le bas ou différentiel provoqué par la différence de déplacement entre deux points d'une même structure selon la nature du sol en place. Le calcul des tassements est nécessaire pour vérifier la conformité des structures vis-à-vis des conditions de sécurité et de service.

Cette étude porte principalement sur le calcul des tassements sous les fondations superficielles, Cette opération fait intervenir plusieurs paramètres notamment les propriétés du sol, les propriétés des semelles et les conditions du site.

Le thème de notre mémoire a été choisi dans le but d'améliorer nos connaissances sur les paramètres qui ont une influence sur le comportement des fondations. L'objectif principal de ce mémoire est d'établir un programme de calcul automatique des tassements en utilisant le VB.net. Afin de vérifier le programme établi, un calcul manuel des tassements est proposé. Le programme est validé par la suite par une comparaison des résultats par rapport à d'autres issus de la littérature.

Notre travail est scindé en 6 chapitres :

- Dans le 1<sup>er</sup> chapitre, nous avons présenté une bibliographie générale sur les fondations superficielles.
- Dans le 2<sup>ème</sup> chapitre, nous avons présenté les méthodes de calcul de tassement.

- Dans le 3<sup>ème</sup> chapitre, nous proposons une démarche pour l'établissement de l'organigramme de calcul des tassements.
- Pour le 4<sup>ème</sup> chapitre, nous décrivons le programme en visual basic établi avec une présentation des grandes options du programme.
- En 5<sup>ème</sup> chapitre, une vérification du programme par un calcul manuel a l'aide de la présentation de quelques exemples.
- Dans le 6<sup>ème</sup> chapitre, une étude paramétrique est présentée.

**CHAPITRE I :**  
**Généralités sur les fondations**



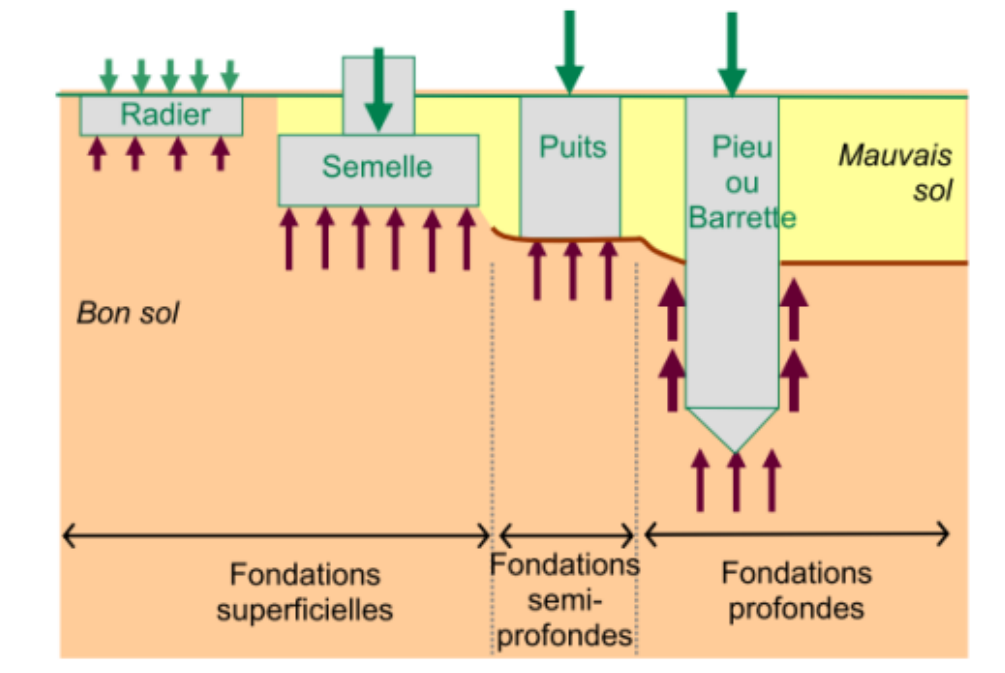
### **I.1. Introduction**

La fondation est la composante d'un ouvrage qui transmet au sol d'assise les efforts provenant de cet ouvrage. Ces derniers ont en général une composante verticale prédominante, mais la composante horizontale est souvent non négligeable ; les efforts appliqués au sol sont donc inclinés. Si les efforts sont reportés à la surface du sol les fondations seront dites superficielles ; si les efforts sont reportés en profondeur, il s'agira de fondations profondes

### **I.2. Définitions**

Les fondations sont les parties enterrées d'un ouvrage qui lui servent de base par l'intermédiaire d'appuis. Elles transmettent au sol les charges que supportent ces appuis. Les particularités naturelles et artificielles du site, topographie, structure, sol, eau souterraine, ouvrages voisins doivent orienter le choix de la fondation à mettre en place. Ceci déterminera sa forme, le type de structure La stabilité au glissement d'ensemble doit être contrôlé. Lorsque les caractéristiques mécaniques du sol sont convenables au voisinage de la surface, Les fondations sont exécutées avec un encastrement minimum dans le sol. On réalise dans ce cas, des fondations superficielles dont l'encastrement (l'ancrage) « D » est inférieur à 4 ou 5 fois la largeur de la semelle « B ». Si on désigne par D la profondeur d'encastrement de la fondation dans le sol, par B sa largeur et par L sa longueur, on distingue 3 types de fondations[2]

- Fondation superficielle :  $D/B \leq 4$  à 5
- Fondation semi-profonde :  $4 \leq D/B \leq 10$
- Fondation profonde :  $D/B \geq 10$ .



**Figure I.1:** Exemples sur les types des fondations.

### I.3. Fondations superficielles

Les fondations superficielles, aussi appelée fondation directe, transmet directement les efforts sur les couches proches de la surface du sol. Elle est utilisée sur un terrain de bonne qualité, ce qui signifie que le sol doit posséder une bonne capacité portante. C'est le type de fondation le plus courant pour les habitations. Les fondations superficielles (semelles isolées ou filantes, radiers) constituent la partie de l'ouvrage qui transmet directement l'ensemble des charges au sol. Autre fois elles étaient construites en maçonneries (puits, voûtes renversées) ou même avec des poutres de chênes encastrées. Les fondations superficielles sont constituées par des semelles ayant une plus grande largeur que l'élément supporté de façon à ce que le taux de compression du sol ne dépasse pas son taux de compression admissible.[1]

#### I.3.1. Avantages et inconvénients des fondations superficielles

##### a) avantages :

- Ca coute moins chère
- Procédure de construction sont facile
- Matériaux.
- Réalisation rapide et facile.

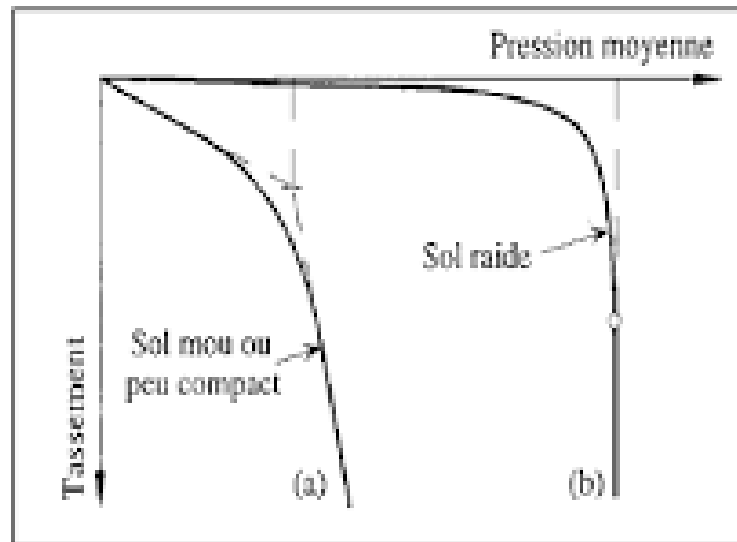
**b) - Inconvénients :**

- Tassements
- Capacité limitée ; interface sol-Structure
- Surface du sol irrégulier (pente, mur de soutènement)
- Capacité réduite si elle est soumise au retrait, moment, torsion

**I.4. Comportement d'une fondation superficielle**

C'est seulement depuis le début du siècle que de très nombreuses études ont permis d'avancer dans la compréhension du comportement des fondations superficielles sous les charges qui leur sont appliquées. La figure (I.1) représente deux courbes de comportement exprimant la variation du tassement vertical au centre de la fondation en fonction de la pression appliquée :

1. Pour un sol relativement résistant (sable dense), la courbe pression-tassement présente un palier d'écoulement plastique très marqué ; le tassement s'accroît sans augmentation de la pression.
2. Pour un sol mou ou peu compact (sable lâche) ; cette courbe a tendance à augmenter indéfiniment jusqu'aux très grandes déformations et le phénomène de rupture est moins net. La définition de la charge de rupture est alors conventionnelle.
3. Chacune de ces courbes comprend trois phases successives.
4. Une phase quasiment élastique, qui peut se produire au cours de la construction ou à la fin de celle-ci au moment de l'application de la charge de service.
5. Une phase dans laquelle se développe la plastification du sol avec l'augmentation des charges et où se forme une surface de glissement qui s'étend progressivement.
6. Une phase plastique ultime, dans laquelle la surface de glissement entraîne la rupture du sol sous la fondation [1].



**Figure I. 2:** Courbes de tassement vertical pour une fondation superficielle (a) pour un sol mou ou peu compact ; (b) pour un sol relativement résistant.

- La Fondation d'un ouvrage supporte différentes charges telles que :

a. Charges verticales :

- Comme les charges permanentes telles que le poids des éléments porteurs et le poids du reste de la structure.
- Comme les charges variables telles que le poids des meubles, le poids des personnes, le poids de la neige.

b. Charges horizontales (ou obliques) :

- Comme des charges permanentes telles que la poussée des terres.
- Comme les charges variables telles que la poussée de l'eau ou du vent.

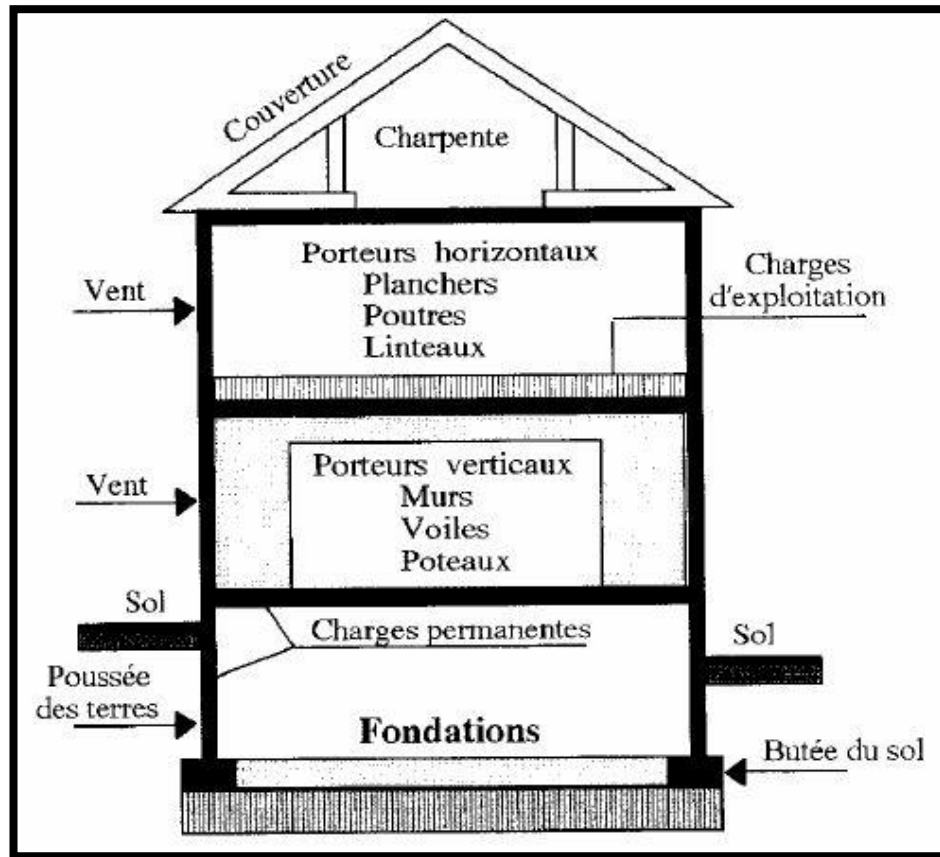


Figure I. 3: Charges appliqués sur une fondation.

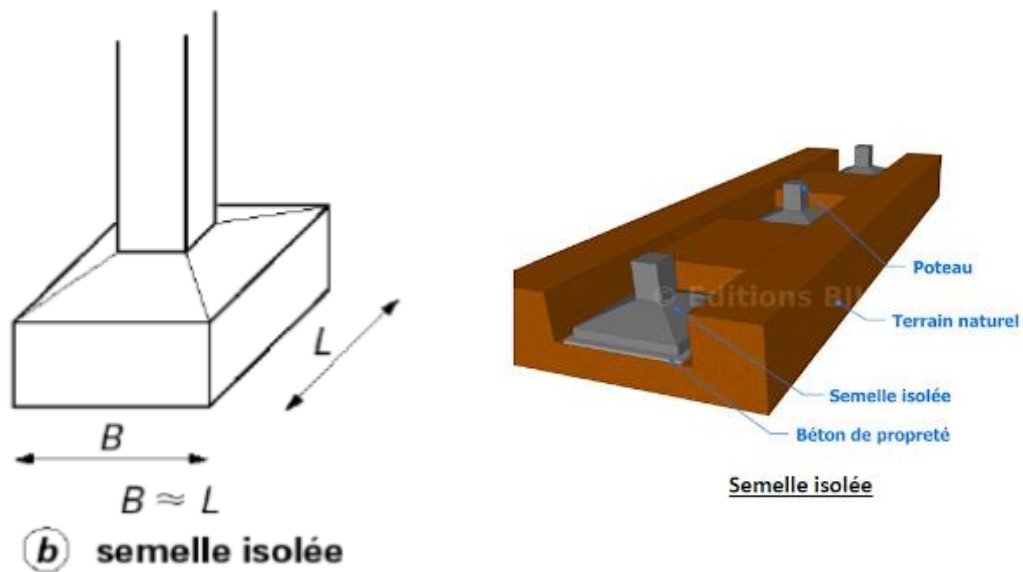
### 1.5. Types des fondations superficielles

Pour des raisons de coût, on cherche souvent à fonder un ouvrage superficiellement. Si cette solution n'est pas satisfaisante d'un point de vue technique (le sol ne peut pas supporter la charge appliquée ou les tassements sont trop importants) ou économique, une solution en fondation profond est envisagée.

Il existe trois types de fondations superficielles (isolées, filantes ou radiers) et dans tous les cas, les assises doivent être protégées des eaux de ruissellement pour empêcher non seulement les lessivages du sol, mais aussi pour maintenir une hygrométrie constante (notamment en présence d'argile).

#### 1.5.1 Semelle isolée

Ce sont des fondations directes, elles transmettent directement les efforts sur les couches proches de la surface. Ce sont les fondations les plus simples, utilisables sous les colonnes (poteaux) des constructions légères et sur des sols de bonne qualité.



**Figure I. 4:** Semelle isolée.

#### I.5.1.1. Caractéristiques

D'une manière générale, si les charges à supporter sont faibles, et/ou si la pression admissible du sol est élevée, il est possible d'utiliser des semelles en béton non armé, dans le cas contraire, on utilisera le plus souvent des semelles en béton armé.

Une caractéristique de dimensionnement des semelles en béton non-armé est qu'il faut pouvoir tracer une ligne à  $45^\circ$  (à partir du bas de la colonne), qui aille rencontrer la face verticale de la fondation.

Si les charges sont plus fortes, les semelles seront en béton armé et la largeur de la fondation sera plus importante que dans le cas d'une distribution des charges à  $45^\circ$ .

Les critères de choix sont d'ordre technique et économique et relatif :

- à la charge et à l'emplacement de la semelle ;
- au terrassement et à la nature du terrain (argile ou rocher) ;
- à la réalisation ou non d'un coffrage ;
- au façonnage facile des aciers ;
- à la quantité et à la facilité de mise en place du béton.

### I.5.1.2. Mise en œuvre

Quelle que soit l'importance des charges à reprendre (faibles ou fortes), il convient de réaliser des semelles de plus de 40 cm de largeur. Leur hauteur « h » étant conditionnée par la rigidité de la fondation. Pour des raisons de stabilité, cette hauteur est fixée, au minimum, à 20 cm. La mise en œuvre comprend plusieurs parties superposées : un béton de propreté, d'environ 5 cm d'épaisseur, à faible dosage en ciment (200 kg/m<sup>3</sup>), coulé sur le sol d'assise dès l'ouverture de la tranchée et un soubassement (mur maçonné, rehausse en béton armé, poteau) qui surmonte la semelle en béton armé (dosage béton : environ 300 kg de ciment par mètre carré, armature : Aciers Fe E 500 MPa).

### I.5.2. Les Semelles continues (ou filantes)

Lorsque les descentes de charges sont continuées (sous un mur), le seul moyen pour diminuer la pression sur le sol est de mettre en œuvre une fondation continue. Il s'agit d'une configuration bien adaptée aux maisons individuelles construites sur des sols dont la portance est supérieure ou égale à 0,1 Mpa

Les semelles continues peuvent être employées si les conditions de réalisation imposent que les colonnes soient trop rapprochées, et si la capacité de portance du sol est variable. Ce type de semelle aura comme avantage d'éviter le phénomène de tassement différentiel. (C.à.d. l'enfoncement d'une fondation plus qu'une autre), ce qui est souvent le cas.



**Figure I. 5:** Semelle filante.

#### I.5.2.1. Caractéristiques

Pour la plupart des petits bâtiments, les fondations en semelles filantes sont construites à faible profondeur. Ce sont de simples semelles de répartition, qui consistent en des dalles de

béton coulé sous chaque pilier ou chaque mur et qui répartissent le poids sur une surface de sol plus grande.

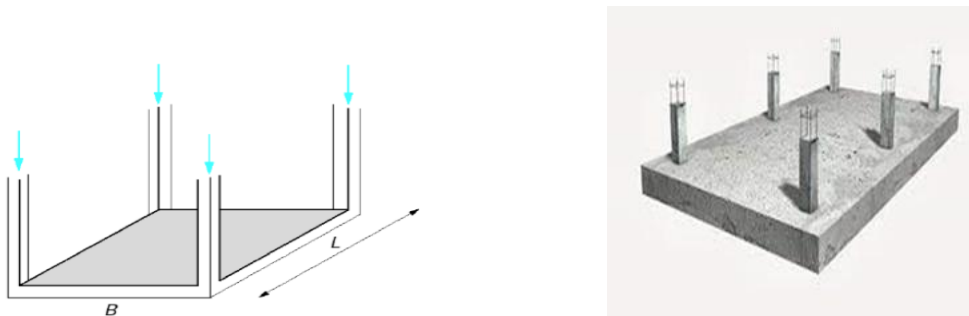
La mise en œuvre des semelles filantes s'effectue en quatre étapes :

- L'excavation de la tranchée : la semelle filante repose sur un béton de propreté ou un film en polyéthylène ;
- Le ferrailage de la semelle : on pose ce dernier en fond de tranchée, avec un espace de recouvrement, en fond de semelle, de 4 cm ;
- La mise en place des raccords d'angle ;
- Le coulage du béton : en respectant bien un recouvrement en partie haute de la semelle filante de 4 cm de béton par-dessus le ferrailage.

### I.5.3. Le Radier

Le radier est une dalle porteuse continue de béton armé coulée à même le sol, qui sert d'assise stable (fondation) à l'ensemble de la construction et également de plancher bas.

Le radier est une fondation superficielle. En ce sens où il est constitué par une semelle générale couvrant toute la surface au sol du bâtiment. Le radier est conçu pour assurer la répartition des charges. La totalité de la surface au sol est donc sollicitée, contrairement à d'autres types de fondations telles que des semelles isolées ou bien des semelles filantes. Sa structure est simple. Le radier est assimilable à une dalle de béton armé de 20 à 35cm d'épaisseur. Il travaille de manière inversée à une dalle ou à un dallage classique. Il doit donc être armé en partie supérieure entre les murs.



**Figure I. 6:** Radier.

Le radier se trouve justifié si les semelles continues ou isolées deviennent très larges en raison :

- De la faible capacité portante du sol.



- Des charges élevées du bâtiment (exemple : immeuble).
- Du rapprochement des poteaux.
- De la profondeur à atteindre pour fonder sur un sol résistant.

### I.5.3.1. Utilisation

Le système de fondation de type radier est utilisé pour la construction de bâtiments et de maisons sur des sols de moins bonne qualité (terrains instables, argileux) ou en zone inondable (risque de remontée de du niveau de la nappe phréatique), ou lorsque la portance du sol n'est pas suffisante pour des semelles ou que le bon sol est trop profond pour y établir des pieux. Le radier répartissant les charges sur une plus grande surface.

**Tableau I. 1:** La Différence entre les 3 types des dalles

Radier	Dallage	Dalle portée
<b>Ouvrage de fondation</b>	Ouvrage de surface de plancher	Porté par les fondations périphériques. Le sol sert de coffrage bas au moment du coulage
<b>Lié aux murs qui reposent dessus</b>	Peut-être solidarisé ou désolidarisé des murs	Solidarisée aux murs
<b>Epaisseur + importante</b>	Epaisseur 12 à 15cm	Epaisseur 12 à 15cm
<b>Densité d'armatures importante</b>	Densité d'armatures faible	Densité d'armatures faible
<b>Porté par le sol</b>	Porté par le sol	Porté par les fondations périphériques. Le sol sert de coffrage bas au moment du coulage

### I.5.3.2. Mise en œuvre

Le radier est une dalle de béton (épaisseur courante : 20 à 35 cm) entourée d'un redan orienté vers le bas reposant sur une assise en tout-venant compacté. Son ferrailage comprend des aciers tendus qui se situent en partie haute de la dalle. Les murs, les longrines et les longrines de redressement constituent les points d'appui. La totalité de la surface au sol du bâtiment est sollicitée pour répartir les efforts apportés par les murs. Étant donné que les

descentes de charges sont réparties en périphérie par les murs, le centre du radier se déforme sous l'action de la pression, contrairement aux bords qui ne se déplacent pas : les radiers sont donc armés en partie supérieure, entre les murs. Aucun tassement différentiel n'étant acceptable, des joints à placer entre les parties de hauteurs différentes éliminent les « moments parasites ».

### **1.6. Fondation semi profondes**

Une fondation semi-profonde est un ouvrage ponctuel, généralement en béton armé qui permet de transmettre les charges d'une structure, telle qu'un bâtiment, vers le sol, à une profondeur d'environ 3 à 6 m.

#### **I.6.1. Utilisation**

Ce type de fondations est utilisé lorsque des fondations superficielles ne peuvent être réalisées et que des fondations profondes comme les pieux ne sont pas nécessaires, ce qui évite un coût trop important. Les fondations semi-profondes sont de plus en plus remplacées par des fondations superficielles couplées à des techniques d'amélioration de sol, comme les inclusions rigides ou, technique plus ancienne, les colonnes ballastées.

Les fondations semi-profondes désignent des puits remplis de béton. Ils sont creusés à une certaine profondeur : ainsi, les fondations sont posées sur un sol bien stable et résistant.

Pour construire des fondations semi-profondes, il est aussi possible d'installer des longrines sur des plots préfabriqués. En fonction de la technique de réalisation, il faudra utiliser des engins spécialisés.

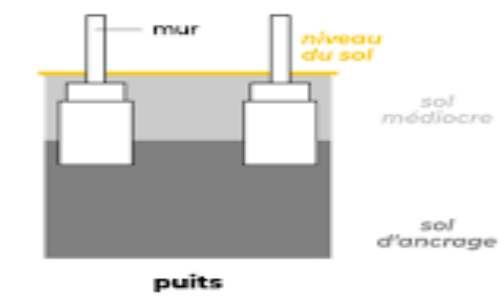
Dans tous les cas, la construction de fondations passe par les étapes de terrassement du terrain (tranchées ou puits) et de coulage du béton. Dans le cas de fondations semi-profondes ou profondes, il faudra ensuite élever des murs de fondation jusqu'au niveau du sol.

#### **I.6.2. Avantage**

Si votre sol n'est pas de très bonne qualité, il est possible de creuser pour trouver un sol assez résistant à un niveau plus profond. L'avantage est que vous êtes sûr d'être en zone « hors gel ». En effet, les fondations doivent être mises en place à une profondeur minimale pour éviter les risques de gel (même les fondations superficielles).

Les fondations semi-profondes sont aussi utilisées dans le cas des extensions ou rénovations de maison. Réalisez une étude de sol afin de déterminer le type de fondations qu'il vous faudra pour votre maison.

S'il est nécessaire de construire les fondations à une profondeur supérieure à 6 mètres, il s'agit alors de fondations profondes. La fondation semi-profonde est une solution intermédiaire, à privilégier si les fondations superficielles ne suffisent pas mais qu'il n'est pas utile de mettre en place des fondations profondes. En effet, plus les fondations sont profondes, plus le coût des travaux est élevé.



**Figure I. 7:** Fondation semi profonde.

## **I.7. Fondation profonde**

Conformément à ce que l'on a vu plus haut, les fondations sont dites "profondes" lorsque le rapport  $D/B > 10$ .

Les fondations profondes permettent de reporter les charges au-delà des couches de surface lorsque celles-ci sont incompetentes, en sollicitant des formations plus profondes. Elles peuvent être massives (puits) ou élancées (pieux).

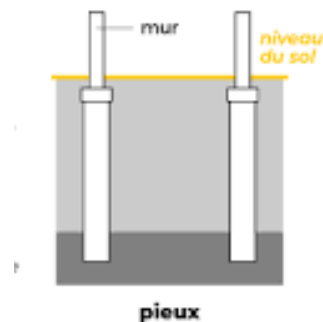
### **I.7.1. Utilisation**

Son utilisation est requise lorsque le sol résistant se trouve à très grande profondeur ou pour une structure très importante

### **I.7.2. Caractéristique**

Ce type de fondation est reposé sur la reprise de charge par le sol en dessous de la base de la fondation et vient à cela, s'ajoute le frottement latéral entre ces deux derniers. On diffère les principaux types de fondation profonde :

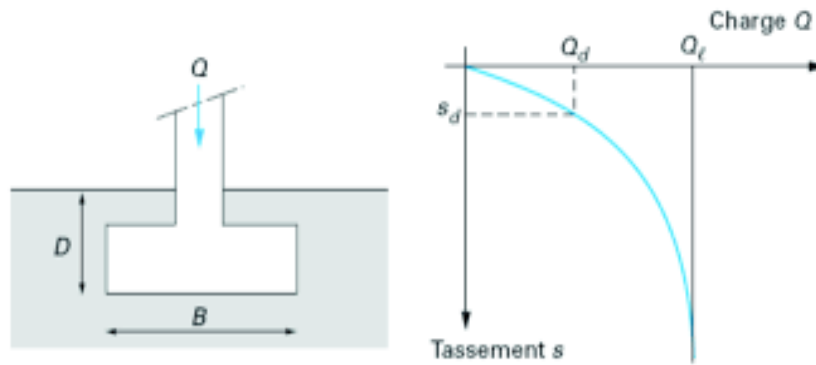
- Les pieux qui sont des fondations élancées et sont composées par la tête, la pointe et le fût.
- Les pieux battus : ce sont des pieux préfabriqués généralement en métal ou en béton armé.
- Les pieux métalliques sont des tubes qui peuvent être ouvert ou fermé à leur base ou bien en forme de « H ».
- Les pieux en béton armé sont fabriqués sur un air à proximité du chantier ; Leur mise en œuvre se fait par battage ou vibration.
- Les pieux forés : on procède d'abord au forage du pieu et c'est après que l'on fait coulé le béton.
- Les puits sont creusés à la main, ils sont soit circulaires avec un diamètre minimum de 1.20m, soit de section quelconque mais avec une largeur minimale de 0.80m et une section minimale de 1.10m<sup>2</sup>.



**Figure I. 8:** Fondation profonde

### **I.8 Généralités sur la capacité portante des fondations superficielles**

Les notions de capacité portante et de tassement sont clairement illustrées par la figure I. 9 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 « D ». Appliquons une charge monotone croissante, d'une manière quasi statique, à une fondation posée à une profondeur « D » donnée et relevons les tassements « s ». Obtenus en fonction de la charge appliquée « Q ».



**Figure I. 10:** Courbe de chargement d'une fondation superficielle.

Au début du chargement, le comportement est sensiblement linéaire, c'est-à-dire que le tassement croît proportionnellement à la charge «  $Q$  » 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 «  $Q_L$  », 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 «  $Q_L$  » est la capacité portante de la fondation (on parle aussi souvent de charge limite, de charge de rupture ou encore de charge ultime) [2].

### I.9. Conclusion

Le choix et le type de fondation dépendent de :

- La nature de la structure.
- Les charges appliquées par la structure.
- Les caractéristiques du sol sous la fondation.
- Enfin le coût des fondations.

# **CHAPITRE II :**

## **Calcul des Tassements**

## II.1. Introduction

Une branche importante de la géotechnique est constituée par l'étude des formations des structures, et parmi elles, la détermination des tassements.

Cette connaissance des tassements doit être la plus complète possible pour le bon comportement ultérieur de l'ouvrage. Les tassements peuvent apparaître juste au début de la construction et se stabiliser.

Sous l'effet d'un chargement (fondation, remblai, etc.), il se développe dans le sol des contraintes qui entraînent des déformations qui peuvent être instantanées ou différées dépendant du temps.

Les tassements sont par définition les déformations verticales du sol vers le bas sous l'action des sollicitations diverses ils peuvent avoir des conséquences non négligeables sur la stabilité des ouvrages supportées par le sol. Si les déformations sont vers le haut, on appelle gonflement (par exemple pendant les excavations).

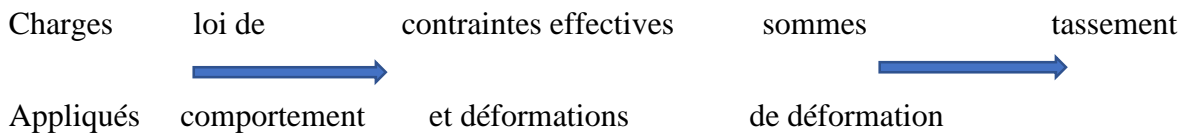
Le tassement peut être uniforme (absolu) qui se traduit par un déplacement de l'ensemble d'une structure vers le bas, ou différentiel provoqué par la différence de déplacement entre deux points d'une même structure selon la nature du sol en place (tour de Pise Italie). Quand le sol est non saturé, les tassements sont instantanés ou immédiat ( $\Delta h_i$ ) tandis que dans les sols saturés, ils peuvent s'étendre sur quelques secondes dans les sols sableux-graveleux, jusqu'à plusieurs années dans les argiles peu perméables.

Le calcul des tassements est nécessaire pour vérifier la conformité des structures vis-à-vis des conditions de sécurité et de service.

**La consolidation :** Lorsqu'un sol fin et saturé est sollicité, son tassement évolue dans le temps. Cette évolution est liée à la vitesse d'évacuation de l'eau interstitielle c.à.d. à la perméabilité du sol. Ce phénomène est appelé consolidation et se définit donc par l'étude de la vitesse de tassement.

La durée dépend de la perméabilité du matériau. Elle prend fin lorsque la pression interstitielle retrouve sa valeur initiale. Parfois, le tassement ne se stabilise pas et continue au-delà de la fin supposée de la consolidation primaire : il s'agit alors de tassement à long terme et ce phénomène est appelé consolidation secondaire ou fluage.

Si la loi de comportement du sol est connue on peut calculer le tassement dû aux charges appliquées selon le schéma suivant :



## II.2. Méthodes de calcul du tassement

Le calcul des tassements, sous une fondation, constitue un problème très important en mécanique des sols. Il existe deux grandes classes de méthodes de détermination du tassement des fondations superficielles :

- Méthode à partir des résultats des essais de laboratoire : qui est l'essai œdométrique, méthode utilisée surtout pour des sols fins à forte cohésion. Elle est appelée aussi méthode d'intégration par tranches.
- Méthodes à partir des résultats des essais In-Situ : qui est l'essai pressiométrique.

## II.3. Composantes du tassement

Le tassement est dû à la compressibilité du sol, c'est à dire au fait qu'il peut diminuer de volume et elle résulte de :

- La compression de l'air dans les pores (l'eau interstitielle supposée incompressible), C'est le tassement instantané.
- L'évacuation de l'eau interstitielle qui constitue la cause principale dans l'étude des tassements, le sol saturé subit une diminution de volume correspondant au volume d'eau expulsée. C'est la consolidation primaire.
- La compression du squelette solide, elle correspond à l'assemblage granulaire, les grains s'arrangent entre eux. C'est la consolidation secondaire.

Pour concevoir des fondations des ouvrages, il faut connaître la quantité totale du tassement et la vitesse à laquelle il se produira.

Le tassement total d'un sol sollicité, se décompose en tassement primaire  $S_p$  et tassement secondaire  $S_s$ . Le tassement primaire a deux composantes, un tassement immédiat  $S_i$  et un tassement différé associé à la consolidation  $S_c$ . D'où la formule globale :

$$S_t = S_p + S_s = S_i + S_c + S_s \quad (\text{II.})$$



Par définition, le tassement immédiat est indépendant du temps, tandis que les tassements de consolidation

Et le tassement secondaire sont des fonctions du temps En général.

- Le tassement immédiat : est évalué en se basant sur la théorie d'élasticité.
- Le tassement de consolidation : se produit dans les sols à grains fins présentant un faible coefficient de perméabilité. La vitesse de tassement dépend du taux d'évacuation de l'eau interstitielle c.à.d. de la perméabilité du sol. Dans ces conditions, le tassement de consolidation peut se prolonger pendant des mois, des années ou même des dizaines d'années.
- Le tassement secondaire : se produit à contrainte effective constante, sans variation de la pression interstitielle, on le définit alors comme un phénomène de fluage du sol.

#### II.4. Evaluation du tassement

L'évaluation du tassement se fait pour chaque couche en tenant compte de ses propriétés physiques et des contraintes mobilisées. La somme des tassements de toutes les couches constitue le tassement du point considéré.

Le calcul du tassement se fait en 3 étapes :

- Première étape : Détermination des propriétés du sol (essai oedométrique)

Pour cela, on divise le massif en plusieurs couches en respectant, bien entendu, les horizons naturels. Par des sondages de reconnaissance, on prélève des échantillons pour chacune de ces couches. Ces échantillons sont analysés pour en déterminer les caractéristiques physiques, lesquelles sont extrapolées à la totalité de la couche représentée.

- Deuxième étape : calcul de l'état de contraintes effectives dans le sol après le changement (la surcharge) :

Pour cette étape, il est en générale fait appel à la théorie de l'élasticité, elle est valable au moins pour les contraintes verticales .

- Troisième étape : calcul des déformations

Le tassement global pour un massif est la somme des tassements des différentes couches qui la composent :

$$S_{totale} = \sum \Delta H_i \quad (II.)$$

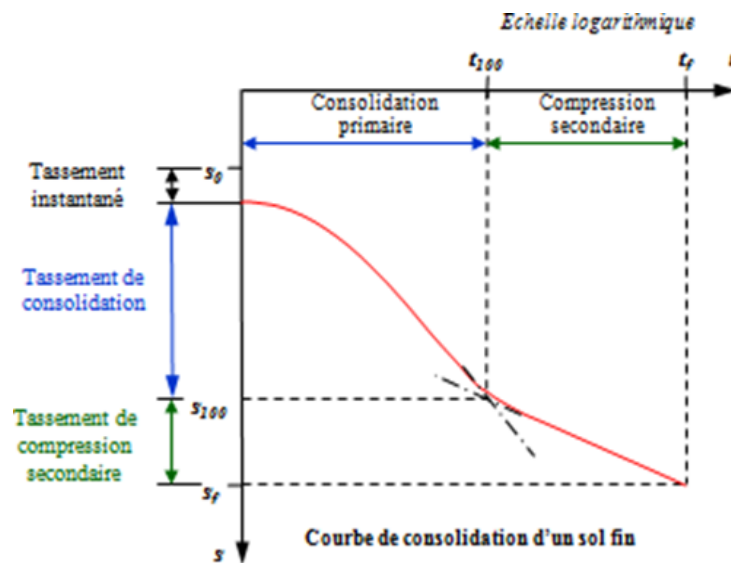
$S_{totale}$  : le tassement final du sol

$\Delta H_i$  : le tassement différentiel de chaque couche

## II.4.1. Evaluation du tassement à partir de l'essai œdométrique

### II.4.1.1. Détermination des propriétés du sol (essai oedométrique)

L'essai œdométrique reproduit les conditions de déformation des sols dans le cas d'un massif à surface horizontale chargé par une pression uniforme et où le sol ne peut se déplacer que verticalement. L'échantillon est drainé sur ses deux faces.



**Figure II. 1:** Courbe de consolidation d'un sol fin.

On distingue trois parties dans cette courbe :

- la compression initiale ou instantanée lors de l'application de la charge.
- la consolidation primaire : qui correspond à la dissipation de la pression interstitielle.
- la compression secondaire : qui se poursuit dans le temps après la dissipation de la surpression interstitielle.

#### II.4.1.1.1. Principe de l'essai œdométrique

Consiste à comprimer un petit échantillon de sol (intact ou remanié selon ce que l'on étudie) sous une contrainte verticale ( $q$ ) entre deux pierres poreuses qui permettent à l'eau d'être expulsée. On mesure la variation de hauteur de l'éprouvette de sol pendant l'application de chaque charge.

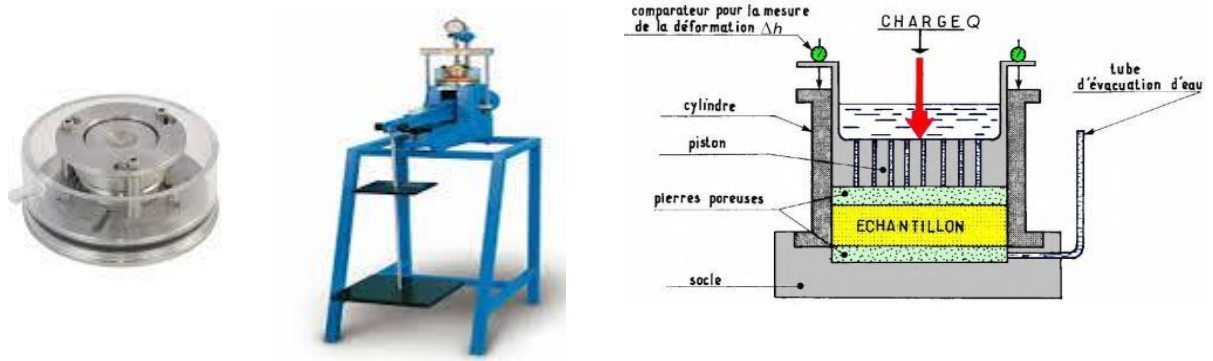


Figure II. 2: Les appareils utilisés dans la méthode œdométrique.

**II.4.1.1.2. Domaine d'application**

La méthode œdométrique pour le calcul des tassements ne sera valable que lorsque la surface d'application de la charge aura une largeur  $B$  plus grande que l'épaisseur  $H_0$  de la couche compressible. Dans le cas contraire les phénomènes de distorsion du sol avec possibilités de déformations latérales conduiront à préférer la méthode pressionométrique [5].

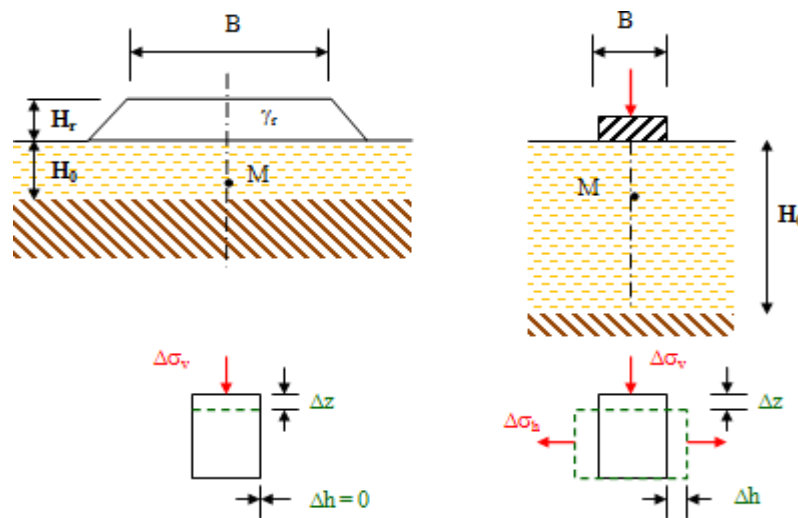


Figure II. 3: Le dimensionnement de la méthode œdométrique.

**II.4.1.1.3. Caractéristiques de la courbe de compressibilité**

Dans un essai œdométrique, comme les déformations horizontales du sol sont nulles, les variations de volume du sol se réduisent à celles qui résultent de la composante verticale du déplacement :

$$\frac{\Delta v}{v_0} = \frac{\Delta h}{h_e} = \frac{\Delta e}{1+e_0} \tag{II.}$$

Avec  $H$  épaisseur initiale de l'échantillon et  $e$  indice des vides initiaux.

L'allure des courbes de compressibilité donnent des indications sur le remaniement éventuel de l'éprouvette d'essai, l'histoire du sol et son comportement sous charge. Il est défini plusieurs paramètres:

a- La contrainte effective de préconsolidation  $\sigma'_p$ :

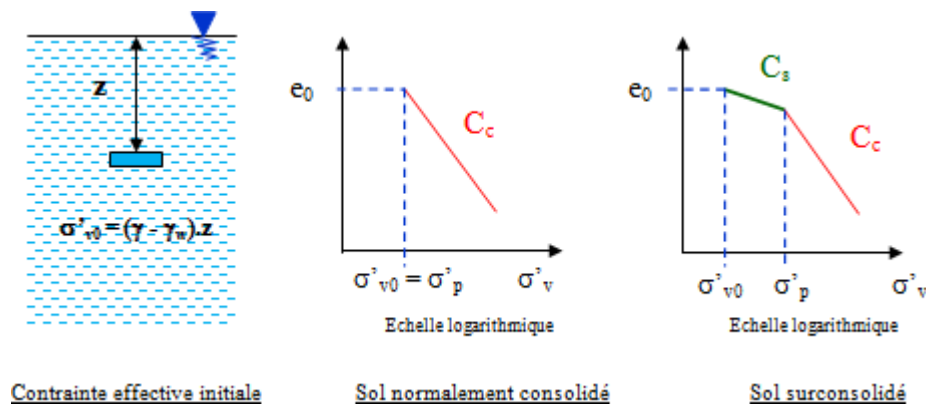
Qui correspond à la contrainte effective maximale sous laquelle le sol s'est déjà consolidé au cours de son histoire,

b- L'indice de compression  $C_c$  : qui par définition est la pente de la tangente à la courbe vierge

$$e_2 - e_1 = -C_c \times (-\log \sigma_2 - \log \sigma_1) = -C_c \log \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \quad (II.)$$

**C. l'indice de décompression  $C_s$  :**

Qui traduit la déformabilité d'un échantillon non gonflant en deçà de la contrainte de consolidation à laquelle il a été soumis.



**Figure II. 4:** Les courbes de caractéristique ‘ $C_c, C_s, e_0, \sigma'_{v0}$ ’ essai œdométrique .

**II.4.1.2. Contraintes effectives final  $\sigma'_v$  :**

Etabli par Karl Terzaghi en 1923, ce principe postule que dans un sol saturé, la contrainte effectivement reprise par les grains du sol, dite contrainte effective, est la différence entre la contrainte total  $\sigma$  reprise par le sol, considéré comme un milieu continu, et la pression interstitielle  $u$  telle que [1] :

$$\sigma'_v = \sigma_{v0} - u$$

- La contrainte normale totale ( $\sigma$ ) sur un plan à l'intérieur de la masse du sol, qui est la force par unité de surface transmise dans une direction normale à travers ce plan.

Sol indéfini à surface horizontale. La composante verticale de la contrainte due au poids propre du sol est :

$$\sigma_{v0} = \gamma \times z_i$$

- pour un sol saturé :  $\sigma_{v0} = \gamma_{sat} \times z_i$
- sol humide :  $\sigma_{v0} = \gamma_h \times z_i$
- sol sec :  $\sigma_{v0} = \gamma_d \times z_i$

- La pression d'eau interstitielle (u), qui est la pression de l'eau remplissant l'espace vide entre les particules solides. à  $t = t_\infty$  on a  $\Delta U = 0$

- La contrainte normale effective ( $\sigma_v'$ ) sur le plan, représentant la contrainte transmise à travers le squelette du sol uniquement (c'est-à-dire due aux forces intergranulaires).

Et pour calculer les contraintes effectives final  $\sigma_v'$  on applique le postulat de TERZAGUI

$$\sigma_v' = \sigma_{v0}' + \Delta\sigma_v$$

$\Delta\sigma_v$ : Le surplus de contrainte ramenée par la surcharge q déposée en surface est calculer par l'une des quatre méthodes

### II.4.1.3. Contraintes dues aux surcharges de l'ouvrage

Le calcul s'effectue en générale sur la base de la théorie d'élasticité, en considérant le sol comme un massif élastique homogène isotrope non pesant caractérisé par un module d'Young E et un coefficient de poisson  $\nu$  [5].

#### II.4.1.3.1. Cas d'un massif d'épaisseur infinie

##### ➤ Méthode de NEWMARK:

En cas d'une pression vertical uniforme q agissant à une surface rectangulaire  $L \times B$ , le massif est considéré infiniment épais si son épaisseur H est supérieure à  $L + 2B$

L'augmentation de contraintes  $\Delta\sigma_v$  en point coincident avec un des coins du rectangle  $L \times B$

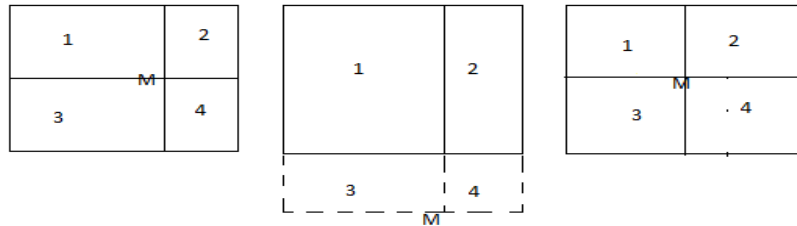
Comme la montre, est calculée par la méthode de Newmark -Steinbrenner [8]

$$\Delta\sigma_v = q \times I_\sigma$$

$I_\sigma$  : est le coefficient d'influence de la surcharge q tel que :

$$I_{\sigma} = \frac{m \times n \times (1 + m^2 + 2n^2)}{2\pi(1 + n^2)(m^2 + n^2)\sqrt{1 + m^2 + n^2}} + \frac{1}{2\pi} \operatorname{arctg} \frac{m}{n\sqrt{1 + m^2 + n^2}}$$

- $m = \frac{L}{B}$  : est l'élanement horizontal de la fondation
- $n = \frac{Z}{B}$  : est la profondeur relative de point étudié



**Figure II. 5:** Schéma de superposition de sous-rectangle.

➤ **Méthode de BOUSSINESQ:**

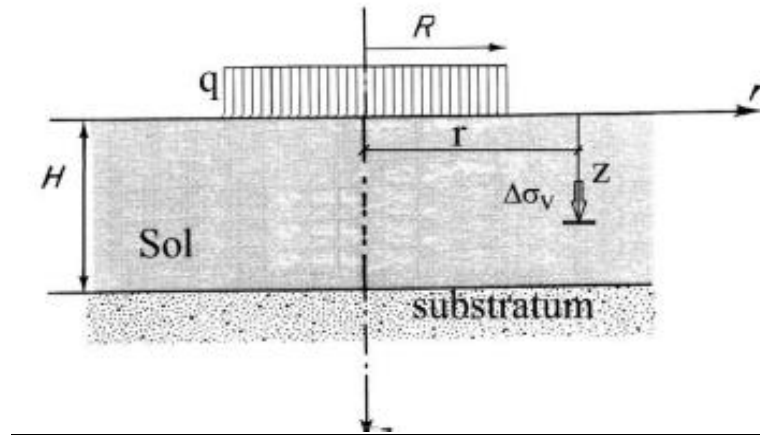
En cas d'une charge circulaire, l'augmentation de contraintes verticales est calculée par la méthode de Boussinesq. On considère qu'un massif sous une surcharge circulaire en surface de rayon  $R$  est considérée comme de profondeur infinie si son épaisseur est plus grande que 6 fois le rayon  $R$ .

L'augmentation des contraintes en un point se trouvant à une profondeur  $z$  par rapport à la surface et à une distance horizontale  $r$  de l'axe de symétrie verticale de la foundation voir (figure II.6), est donnée par [8] :

$$\Delta\sigma_v = q \times I_c$$

$I_c$  est le facteur d'influence la surcharge  $q$ , dépendant de la distance  $r$  et de la profondeur  $z$  du point. Dans le cas particulier où le point se trouve sur l'axe central du cercle ( $r=0$ ), le facteur  $I_c$  peut se calculer par l'expression suivante :

$$I_c = 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{R^2}{z^2}\right)^{3/2}}$$



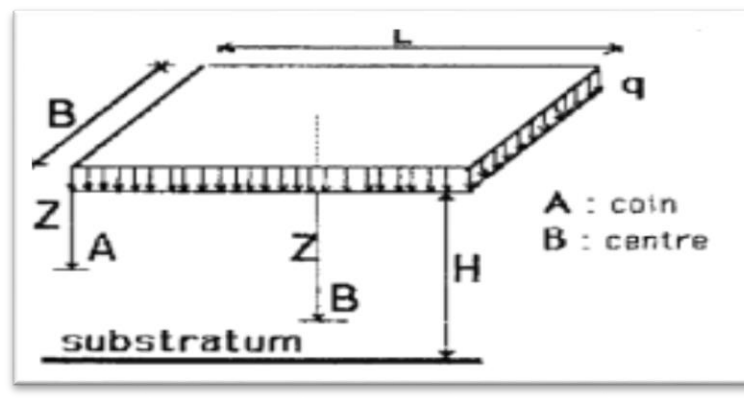
**Figure II. 6:** Schéma de surcharge circulaire en surface du sol.

#### II.4.1.3.1. Cas d'un massif d'épaisseur finie

##### ➤ Méthode de BURMISTER:

Comme le schématise la (figure II.7) en cas de surcharge uniforme  $q$  agissant sur une fondation rectangulaire  $L \times B$  sur un massif d'épaisseur  $H$ , reposant sur un substratum, tel que  $H$  est inférieure à la méthode de Burmister qui stipule que l'augmentation des contraintes se calculi comme suit [8]:

$\Delta\sigma_v = 4 \times q \times KH_0$  (kpa) pour un point sur l'axe vertical central du rectangle (point B)



**Figure II. 7:** Schéma de calcul des contraintes selon la méthode de burmister.

Le facteur d'influence de la surcharge  $KH_0$  dépend des grandeurs adimensionnelles  $Z/H, L/B$ , Le facteur  $\beta$  est égal à  $B/2H$  dans le cas d'un point au centre, et à  $B/H$  pour un point au coin.

Les valeurs  $KH_0$  sont données, à titre indicatif pour  $Z/H = 0.2$ , au tableau (II. 1) et le reste des tableaux est reporté en annexe 1.

Selon Burmister, le coefficient  $KH_0$  dépend peu du coefficient de poisson  $\nu$ . En outre, pour des valeurs de  $Z/H$  autres que celles mentionnées sur les tableaux, on peut effectuer une interpolation linéaire.

➤ **Méthode de MILOVITCH:**

En cas d'une charge circulaire à la surface d'un massif d'épaisseur limitée (soit  $H < 6R$ ), on utilise la méthode de Milovitch. Le calcul de l'augmentation de contraintes peut se faire en n'importe quel point dans le massif comme suit [8]

$$\Delta\sigma_v = q \times KH_Z$$

**Tableau II. 1:** Coefficient d'influence est évalué par  $Z / H = 0.2$

	L/B=1	2	3	4	5	10
<b><math>\beta</math></b>						
0.01	0.0066	0.00265	0.00358	0.00358	0.00571	0.00942
0.02	0.00411	0.00559	0.01340	0.01519	0.01964	0.02787
0.03	0.01008	0.01964	0.02707	0.03251	0.03729	0.04432
0.04	0.01765	0.03370	0.04379	0.04963	0.05560	0.06091
0.05	0.02680	0.04751	0.06011	0.06714	0.07245	0.07590
0.06	0.03755	0.06170	0.07710	0.08254	0.8798	0.09023
0.07	0.04883	0.07763	0.09209	0.09700	0.10165	0.10337
0.08	0.06011	0.09143	0.10589	0.10947	0.11452	0.11571
0.09	0.07232	0.10536	0.11783	0.12314	0.12619	0.12739
0.1	0.06453	0.11850	0.13004	0.13495	0.13668	0.13827
0.2	0.17768	0.20024	0.20369	0.20488	0.20568	0.20634
0.3	0.21762	0.22983	0.22983	0.23102	0.23142	0.23182
0.4	0.23540	0.24297	0.24323	0.24363	0.24337	0.24376
0.5	0.24363	0.24801	0.24801	0.24814	0.24841	0.24854
0.6	0.24841	0.25106	0.25053	0.25093	0.25080	0.25093
0.7	0.25093	0.25226	0.25212	0.25199	0.25186	0.25212
0.8	0.25279	0.25265	0.25265	0.25252	0.25252	0.25265



0.9	0.25332	0.25279	0.25265	0.25292	0.25265	0.25279
1	0.25372	0.25265	0.25279	0.25292	0.25252	0.25305
2	0.25173	0.25093	0.25093	0.25080	0.25066	0.25159
3	0.25053	0.25040	0.25040	0.25040	0.25027	0.25053
4	0.25027	0.25000	0.25013	0.25000	0.25027	0.25027
5	0.25013	0.25027	0.25013	0.25013	0.24987	0.25027
6	0.25000	0.24973	0.24973	0.24973	0.24987	0.25013
7	0.24974	0.24987	0.24987	0.24960	0.24947	0.25013
8	0.24987	0.25000	0.24947	0.24973	0.24973	0.25013
9	0.24987	0.24987	0.25000	0.24987	0.24960	0.25013
10	0.25000	0.25013	0.25027	0.25013	0.25013	0.25040

**Tableau II. 2:** Coefficient d'influence KHZ évalué par  $Z / H$  et  $H / R$  et  $r/R$  et  $\nu$

Z/H	H/R=1	H/R=2	H/R=4	H/R=6
	$r/R=0$	$r/R=0$	$r/R=0$	$r/R=0$

( $\nu=0.3$ )

0	1	1	1	1
0.05	1.003	1.000	0.969	0.913
0.15	1.012	0.980	0.835	0.664
0.25	1.018	0.921	0.635	0.413
0.35	1.018	0.834	0.461	0.259
0.45	1.009	0.739	0.340	0.176
0.55	0.991	0.651	0.262	0.129
0.65	0.965	0.576	0.210	0.101
0.75	0.933	0.516	0.176	0.083
0.85	0.896	0.467	0.153	0.071
0.95	0.853	0.423	0.135	0.063

(v=0.45)

0	1	1	1	1
0.05	1.010	0.991	0.969	0.913
0.15	1.010	0.981	0.835	0.664
0.25	1.021	0.922	0.635	0.413
0.35	1.027	0.839	0.461	0.259
0.45	1.020	0.739	0.340	0.176
0.55	1.002	0.651	0.262	0.129
0.65	0.976	0.576	0.210	0.101
0.75	0.943	0.516	0.176	0.083
0.85	0.901	0.467	0.153	0.071
0.95	0.850	0.423	0.135	0.068

#### II.4.1.4. Calcul de deformation

Le calcul du tassement de la tranche depend de la position de  $\sigma_v'$  par rapport à la contrainte de préconsolidation  $\sigma_c'$ .

- 1<sup>er</sup> cas:  $\sigma_{v0} > \sigma_p$  'sol normalement consolidé'

$$\Delta H(i) = \frac{-H_0}{1+e_0} \times C_c \times \log\left(\frac{\sigma_v'}{\sigma_{v0}}\right)$$

- 2<sup>ème</sup> cas:  $\sigma_v' < \sigma_p$  'sol sur consolidés'

$$\Delta H = \frac{-H_0}{1+e_0} \times C_s \times \log\left(\frac{\sigma_v'}{\sigma_{v0}}\right)$$

- 3<sup>ème</sup> cas:  $\sigma_{v0} < \sigma_p < \sigma_v'$  'sol sous-consolidés'

$$\Delta H = \frac{-H_0}{1+e_0} \times \left[ (C_s \times \log\left(\frac{\sigma_p}{\sigma_{v0}}\right)) + (C_c \times \log\left(\frac{\sigma_v'}{\sigma_p}\right)) \right]$$

Le tassement total des terrains correspond à la somme des tassements des couches élémentaires.

$$S = \sum \Delta H_i$$

### II.4.1.5. Correction de tassement

Le tassement calculé est dit œdométrique car il correspond à des déformations horizontales nulles du sol. Ce cas rencontre dans fondations de dimensions très grandes devant l'épaisseur de la couche du sol argileux, tel qu'un radier fondé sur une couche argileuse mince surmontant un substratum, ou une semelle continue ayant B/H très grand. Par contre, si le rapport B/H est faible, les déformations latérales sont non négligeables et influencent considérablement le tassement fondation. Dans ce cas, le tassement œdométrique ainsi calculé est à corriger par la méthode de Bjerrum & Skempton, pour tenir compte de l'influence des déformations latérales, comme suit [7]

Dans Cas  $B \ll H$

$$S_c = \mu \times S_c^{oed} = (\alpha(1 - A) + A) \times S_c^{oed}$$

Dans Cas  $B \gg H$

$$S_c = S_c^{oed}$$

A est le coefficient de pression interstitielle ou coefficient de skempton à mesurer à partir d'un essai triaxial non drainé avec mesure de sa pression interstitielle.

En absence de mesure du coefficient A, skempton recommande les marges suivantes pour les matériaux argileux dans le tableau (II.3)

**Tableau II. 3:** Marges recommandées du coefficient A de Skempton

sol	Marge de A
Argile molle	$A > 1.00$
Argile normalement consolidée	0.50-1.00
Argile surconsolidée	0.25-0.50
Argile sableuse fortement surconsolidée	0.00-0.25

Le coefficient  $\alpha$  est déduit de la théorie d'élasticité selon la géométrie de la fondation et l'épaisseur de la couche du sol. Les valeurs de  $\alpha$  sont regroupées au tableau (II. 4)

**Tableau II. 4:** Valeurs du coefficient  $\alpha$

H/B	0.0	0.25	0.50	1.0	2.0	4.0	10.0	$\infty$
Fondation circulaire	$\alpha = 1.0$	0.67	0.50	0.38	0.30	0.28	0.26	0.25
Fondation continue	$\alpha = 1.0$	0.74	0.53	0.37	0.26	0.20	0.14	0.00

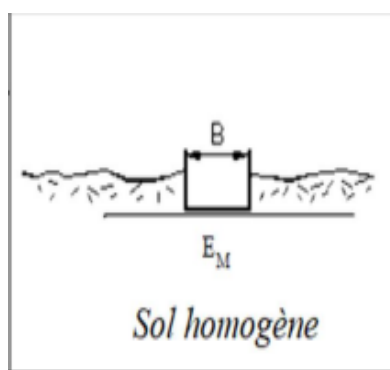
## II.4.2. Essai pressiométrique

L'essai pressiométrique est pratiquement le seul essai in-situ qui permet d'obtenir la relation contrainte-déformation dans le sol. Il est couramment admis que les charges de service d'un ouvrage font travailler.

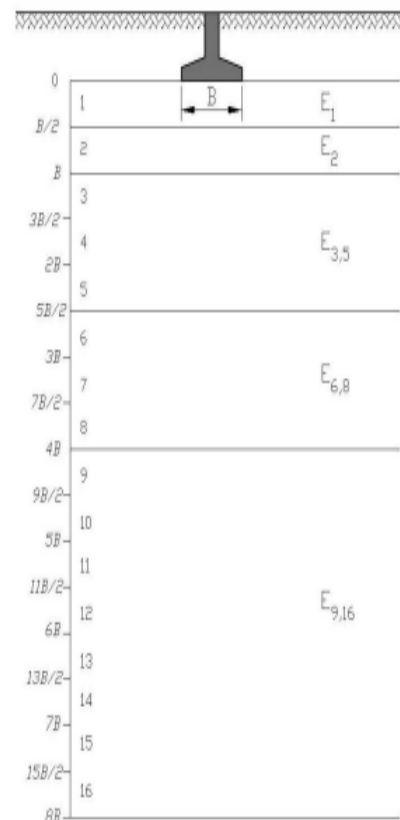
Le sol dans le domaine des petits tassements, c'est à dire celui de l'élasticité. Louis Ménard fut le premier à proposer une méthode basée sur le module de déformation pressiométrique du sol pour évaluer le tassement. Le tassement d'une fondation superficielle ayant une largeur  $B$  et une longueur  $L$ , est la somme des tassements sphérique et dévia torique.

### II.4.2.1. Domaine d'application

La méthode pressiométrique ne s'applique qu'aux fondations dont la largeur est faible par rapport à l'épaisseur des couches compressibles



**Figure II. 8:** Fondations dans sol homogène



**Figure II. 9:** Décomposition du terrain pour le calcul des Modules équivalent.

### II.4.2.2. Principe de calcul des tassements

a-Sol homogène:

Sol homogène :  $E_m = E_d = E_c$

Le tassement total est défini par :  $S = S_d + S_c$

Le tassement de consolidation  $S_c$  dans la zone située directement sous la semelle où les contraintes normales sont élevées, zone dénommée domaine sphérique :

$$S_c = \frac{\alpha}{9 \times E_m} \times (q - \sigma_{v0}) \times \lambda_c \times B \quad \text{Tassement sphérique}$$

Tassement  $S_d$  dû à des déformations de cisaillement. Ces déformations se font à volume constant, appelé domaine déviatorique :

$$S_d = \frac{2}{9 \times E_m} \times (q - \sigma_{v0}) \times B_0 \times \left( \lambda_d \times \frac{B}{B_0} \right)^\alpha \quad \text{Tassement déviatorique.}$$

$\alpha$  : coefficient rhéologique dépendant de la nature des sols

$B$  : largeur de la fondation

$B_0$  : largeur de référence = 0.6 m

$E_m$  : module pression métrique à une profondeur donnée

$\sigma_{v0}$  : contrainte in-situ au niveau de la base de la fondation

Sol fin saturé tassement sphérique  $s_c = \gamma' \times D$  tassement déviatorique  $s_d = \gamma \times D$

Sol fin humide tassement sphérique  $s_c = \gamma_h \times D$  tassement déviatorique  $s_d = \gamma_h \times D$

Sol sec tassement sphérique  $s_c = \gamma_d \times D$  tassement déviatorique  $s_d = \gamma_d \times D$

b-Sol hétérogène :

Le tassement total est défini par :  $S = S_d + S_c$

Tassement de consolidation  $S_c$  dans la zone située directement sous la semelle où les contraintes normales sont élevées, zone dénommée domaine sphérique

$$S_c = \frac{\alpha}{9 \times E_c} \times (q - \sigma_{v0}) \times \lambda_c \times B$$

Tassement  $S_d$  dû à des déformations de cisaillement. Ces déformations se font à volume constant, appelé domaine déviatorique.

$$S_d = \frac{2}{9 \times E_d} \times (q - \sigma_{v0}) \times B_0 \times \left( \lambda_d \times \frac{B}{B_0} \right)^\alpha$$

$\alpha$  : coefficient rhéologique dépendant de la nature des sols

$B$  : largeur de la fondation

$B_0$  : largeur de référence = 0.6 m

$\sigma_{v0}$  : contrainte in-situ au niveau de la base De la fondation

-Sol fin saturé tassement sphérique  $s_c = \gamma' \times D$  tassement déviatorique  $s_d = \gamma \times D$

-Sol fin humide tassement sphérique  $s_c = \gamma_h \times D$  tassement déviatorique  $s_d = \gamma_h \times D$

-Sol fin sec tassement sphérique  $s_c = \gamma_d \times D$  tassement déviatorique  $s_d = \gamma_d \times D$

$E_c$  et  $E_d$  : modules pressiométriques moyens pondérés dans les domainessphériques et déviatoriques

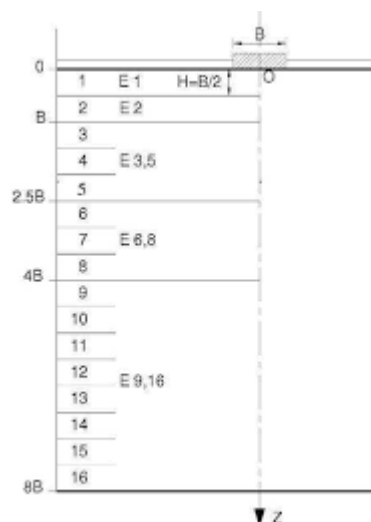
**Tableau II. 5:** Valeurs du coefficient intervenant dans le calcul du tassement

L/B	Cercle	Carré	2	3	5	20
$\lambda_c$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$\lambda_d$	1	1,12	1,53	1,78	2,14	2,65

### II.4.2.3. Valeurs des modules de déformation

Sol homogène :  $E_m = E_d = E_c$

Sol modérément hétérogène : Le sol sous la semelle est découpé en tranches élémentaires fictives d'épaisseur égale à  $B/2$  et numérotées 1 à 16.



$E_c$  et  $E_d$  sont donnés par les formules :

Les modules  $E_{i,j}$  (par exemple  $E_{6,8}$ ) sont eux-mêmes obtenus en considérant la moyenne harmonique des différents modules pressiométriques mesurés à l'intérieur des tranches élémentaires  $i$  à  $j$ .

Si les valeurs de  $E_9$  à  $E_{16}$  ne sont pas connues, mais considérées supérieures aux valeurs sus-jacentes,  $E_d$  se calcule par :

$$\frac{3.6}{E_d} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85E_2} + \frac{1}{E_{3.5}} + \frac{1}{2.5E_{6.8}}$$

De même, si  $E_6$  à  $E_8$  ne sont pas connues,  $E_d$  est calculé par :

$$\frac{3.2}{E_{6.8}} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85E_2} + \frac{1}{E_{3.5}}$$

$E_m$  est donné par la formule suivante :

$$E_c = E_1(kpa) \frac{4}{E_d} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85E_2} + \frac{1}{E_{3.5}} + \frac{1}{2.5E_{6.8}} + \frac{1}{6.16E_{9.16}}$$

Valeurs du coefficient rhéologique  $\alpha$  :

**Tableau II. 6:** Valeurs du coefficient rhéologique

Type de roche	Très peu fracturée	Normale	Très fracturée	Très altérée	Très peu fracturée	Normale
$\alpha$	2/3	1/2	1/3	2/3	2/3	1/2

E : Module pressiométrique

Pl : pression limite

**Tableau II. 7:** Valeurs du coefficient rhéologique

Type	Tourbe		Argile		Limon		Sable		Sable et gravier
	$\alpha$	E/pl	$\alpha$	E/pl	$\alpha$	E/pl	$\alpha$	E/pl	$\alpha$
Sur consolidé ou très serré	-	> 16	1	> 14	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3
Normalement consolidé ou normalement serré	1	9 à 16	2/3	8 à 14	1/2	7 à 12	1/3	6 à 10	1/4
Sous consolidé – altéré et remanié ou lâche	-	7 à 9	1/2	5 à 8	1/2	5 à 7	1/3	-	-



**CHAPITRE III :**  
**Organigramme de calcul de**  
**Tassement**

### **III.1. Introduction**

le tassement est le déplacement vertical descendant d'un ouvrage. Il s'agit d'un phénomène d'interaction sol / fondation qui se manifeste à cause de l'action de la fondation sur le sol par le biais des surcharges.

La transmission des surcharges de l'ouvrage au sol, par biais des fondation, induit systématiquement des déformation de sol , ce qui se traduit entre autres par un tassement, L'analyse des fondation doit être accomplie selon les règles de l'art en utilisant des méthodes réalistes permettant d'estimer le tassement. On se propose dans ce qui suit de faire une revue des méthodes courantes de calcul du tassement des fondation superficielles, en intégrant aussi bien les méthodes basées sur les essais de laboratoire, que celles basées sur les essais in-situ, ainsi que les valeurs admissibles du tassement .

### **III.2. Composantes du tassement**

Le tassement est dû entre autres à la compressibilité du sol, c'est à dire à une diminution de volume et elle résulte de :

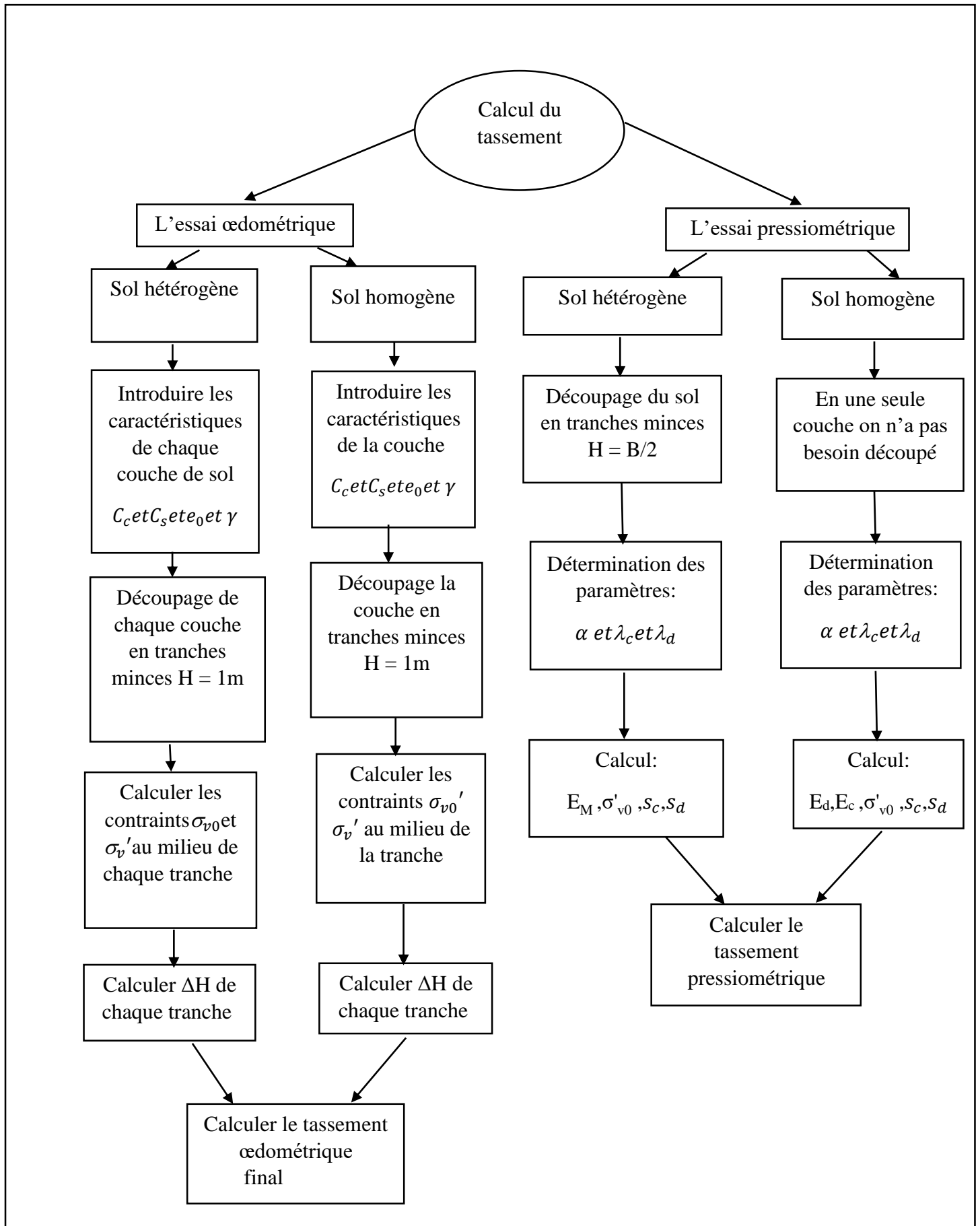
- La compression de l'air dans les pores (l'eau interstitielle supposée incompressible), C'est la consolidation primaire.
- L'évacuation de l'eau interstitielle qui constitue la cause principale dans l'étude des tassements, le sol saturé subit une diminution de volume correspondant au volume d'eau expulsée. C'est la consolidation secondaire.
- la compression du squelette solide, elle correspond à l'assemblage granulaire, les grains s'arrangeant entre eux. C'est le tassement instantané.

### **III.3. Méthodes de calcul du tassement**

On doit aussi reconnaître que certaines méthodes sont limitées à un type de sol donné exemple la méthode oedométrique des tranches est applicable aux sols fin saturés .

et la méthodes pressiométrique est par contre assez générale, en couvrant assez bien les sols pulvérulents que les sols fins

L'évaluation du tassement se fait pour chaque couche en tenant compte de ses propriétés physiques et des contraintes mobilisées. La somme des tassements de toutes les couches constitue le tassement du point considéré.

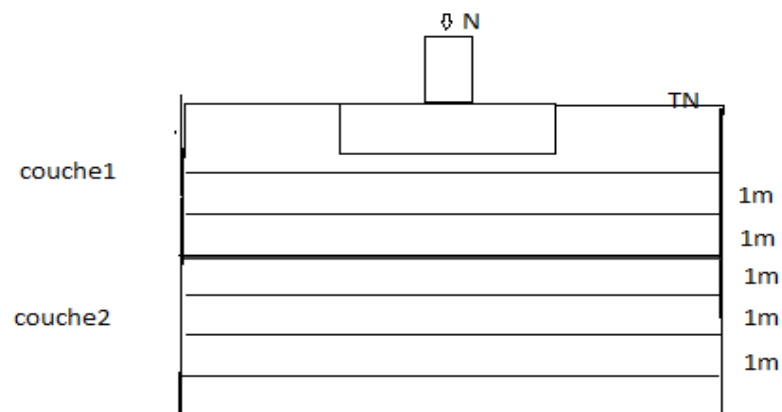


### III.3.1. Calcul du tassement à partir de l'essai oedométrique

Le calcul du tassement de consolidation primaire se base en général sur les résultats de l'essai de compressibilité oedométrique la méthode d'intégration du tassement par tranches est souvent utilisée. Son principal avantage est qu'elle permet de faire une analyse non linéaire du tassement en fonction des contraintes le tassement calculé correspond à la fin de consolidation primaire, et le raisonnement doit se faire par conséquent en contraintes effectives. La référence des profondeurs correspond à la base de la fondation, l'essai oedométrique reproduit les conditions de déformation des sols dans le cas d'un massif à surface horizontale chargé par une pression uniforme et où le sol ne peut se déplacer que verticalement. L'échantillon est drainé sur ses deux faces[5].

La méthodologie de calcul est comme suit :

1. découper le sol en N tranches comme la figure (III.1) suffisamment minces telles que la contrainte effective  $\sigma_v'$  varie linéairement au sein de la tranche.

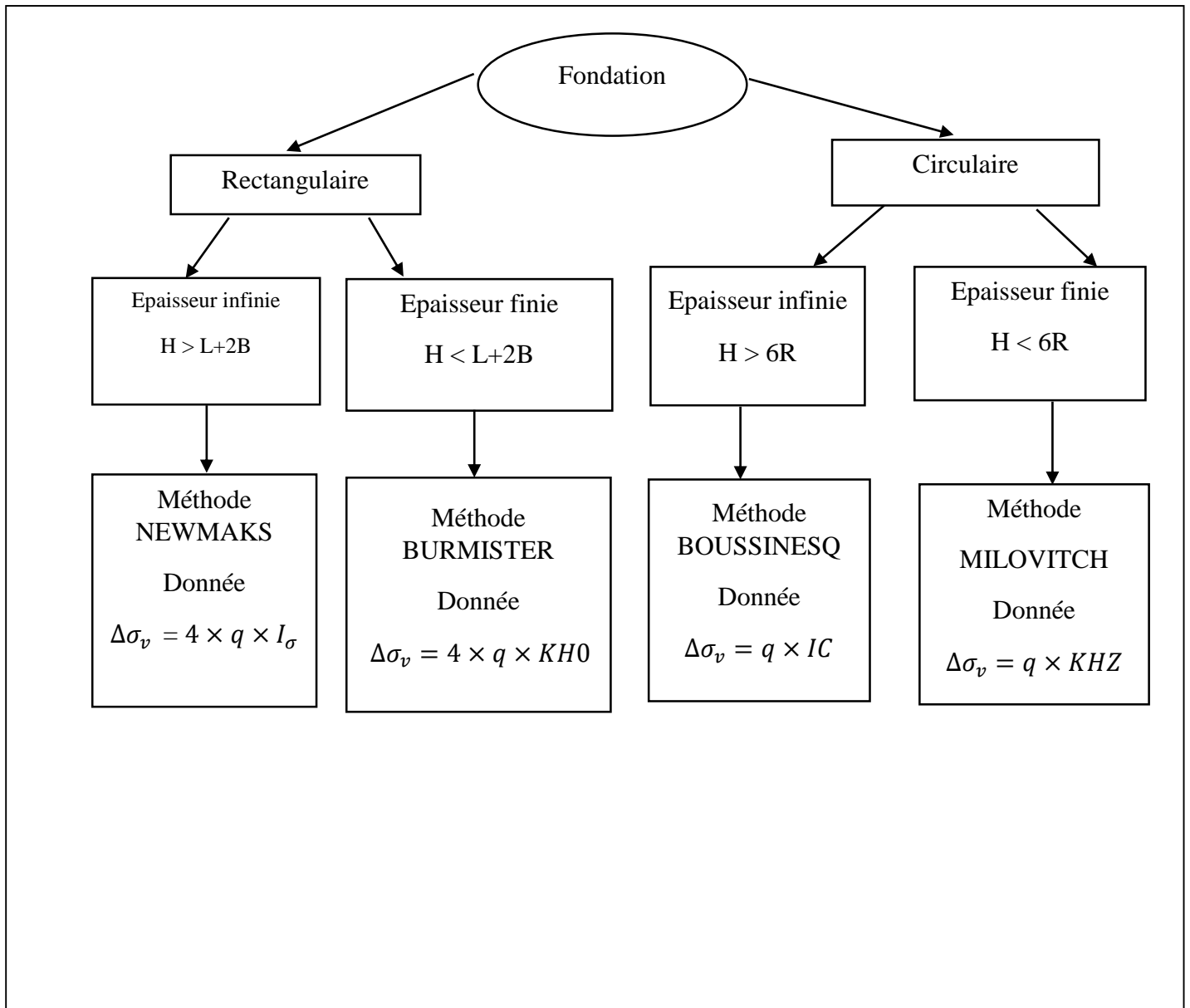


**Figure III. 1:** Découpage des couches a des tranches.

Le découpage continue jusqu'à ce qu'étudie dans  $\Delta\sigma_v'$  devient négligeable dans un massif semi-infini, ou jusqu'à la base de sol étudié dans le cas d'un massif d'épaisseur finie,

2. calculer  $\Delta\sigma_v'$  au milieu de la tranche i à l'aide des méthodes d'élasticité [5].

### II-1 Accroissement de contrainte engendré par la surcharge déposée $\Delta\sigma_v$ :



3. calculer la contrainte effective  $\sigma'_v = \sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v$

4. calculer le tassement  $s_c(i)$  de la tranche  $i$  sous  $\sigma'_v(i)$ . Le calcul du tassement dépend de la position de  $\sigma'_v$  par rapport à la contrainte de préconsolidation  $\sigma'_c$ . en cas où  $\sigma'_v > \sigma'_c$

**III.3.1.1. Calculer le tassement de chaque tranche  $\Delta h_i$** 

Pour calculer  $\Delta h_i$  il faut choisir une des 3 formule

- 1<sup>ère</sup>  $\sigma_{v0} > \sigma_p$  'sol normalement consolidé'

$$\Delta H = \frac{-H_0}{1+e_0} \times C_c \times \log\left(\frac{\sigma_v'}{\sigma_{v0}}\right)$$

- 2<sup>ème</sup>  $\sigma_v' < \sigma_p$  'sol surconsolidés '

$$\Delta H = \frac{-H_0}{1+e_0} \times C_s \times \log\left(\frac{\sigma_v'}{\sigma_{v0}}\right)$$

- 3<sup>ème</sup>  $\sigma_{v0} < \sigma_p < \sigma_v'$  'sol sous-consolidés '

$$\Delta H = \frac{-H_0}{1+e_0} \times \left[ (C_s \times \log\left(\frac{\sigma_p}{\sigma_{v0}}\right)) + (C_c \times \log\left(\frac{\sigma_v'}{\sigma_p}\right)) \right]$$

**III.3.1.2. Calculer le tassement final**

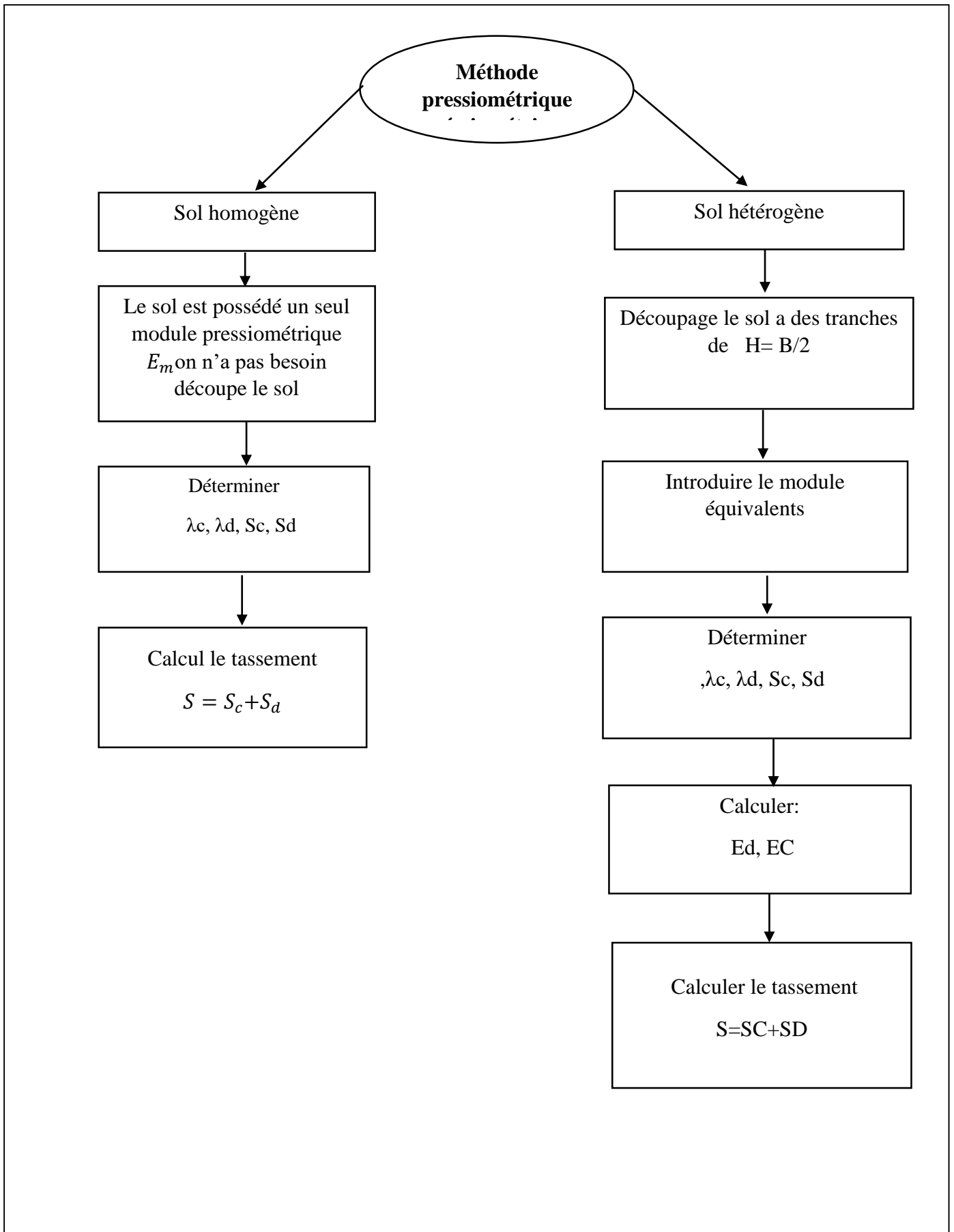
Le tassement global pour un massif est la somme des tassements des différentes couches

$$S = \sum \Delta H_i$$

$\Delta H_i$  : le tassement différentiel de chaque couche

**III.3.2. Le calcul du tassement à partir de l'essai pressionométrique:**

L'essai pressionométrique est pratiquement le seul essai in-situ qui permet d'obtenir la relation contrainte déformation dans le sol. Il est couramment admis que les charges de service d'un ouvrage sollicitent le sol dans le domaine des petits tassement, c'est-à-dire celui de l'élasticité. Louis Ménard était le premier à proposer une méthode basée sur le module de déformation pressionométrique du sol pour évaluer le tassement. Dans ce qui suit on se propose d'exposer sommairement les démarches aboutissant à cette méthode [6].



### III.3.2.1. Tassement d'un sol homogène

Le tassement total est défini par :  $s = s_c + s_d$

Le tassement de consolidation  $S_c$  dans la zone située directement sous la semelle où les contraintes normales sont élevées, zone dénommée domaine sphérique :

$$s_c = \frac{\alpha}{9 \times E_m} \times (q - \sigma_{v0}) \times \lambda_c \times B$$

Tassement  $S_d$  dû à des déformations de cisaillement. Ces déformations se font à volume constant, appelé domaine déviatorique

$$s_d = \frac{2}{9 \times E_m} \times (q - \sigma_{v0}) \times B_0 \times \left( \lambda_d \times \frac{B}{B_0} \right)^\alpha$$

Sol fin saturé tassement sphérique  $s_c$ ,  $\sigma_{v0} = \gamma' \times D$  tassement déviatorique  $s_d$

$$\sigma_{v0} = \gamma \times D$$

Sol fin humide tassement sphérique  $s_c$   $\sigma_{v0} = \gamma_h \times D$  tassement déviatorique  $s_d$

$$\sigma_{v0} = \gamma_h \times D$$

Sol fin sec tassement sphérique  $s_c$   $\sigma_{v0} = \gamma_d \times D$  tassement déviatorique  $s_d$

$$\sigma_{v0} = \gamma_d \times D$$

$\lambda_c$ ,  $\lambda_d$ : coefficient de forme,  $f\left(\frac{L}{B}\right)$

### III.3.2.2. Tassements d'un sol hétérogène

Tassement sphérique :

$$s_c = \frac{\alpha}{9 \times E_c} \times (q - \sigma_{v0}) \times \lambda_c \times B$$

(Tassement déviatorique)

$$s_d = \frac{2}{9 \times E_d} \times (q - \sigma_{v0}) \times B_0 \times \left( \lambda_d \times \frac{B}{B_0} \right)^\alpha$$

$E_c$  et  $E_d$  c'est calcul par les méthodes suivant :

Les modules  $E_{6.8}$ ,  $E_{3.5}$  sont eux-mêmes obtenus en considérant la moyenne harmonique des différents modules pressiométriques mesurés à l'intérieur des tranches élémentaires.

Le sol sous la fondation est découpé en tranches élémentaire fictive d'épaisseur  $B/2$  et  $n$



$$E_c = E_1 (\text{kpa}) \frac{4}{E_d} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85E_2} + \frac{1}{E_{3.5}} + \frac{1}{2.5E_{6.8}} + \frac{1}{6.16E_{9.16}}$$

Nous découper les couches en des tranches B/2 puis déterminons la position de chaque E ' E<sub>1</sub> et E<sub>2</sub> et E<sub>3.5</sub> et E<sub>6.8</sub> et E<sub>9.16</sub> ' dans les tranches s'il y a plus d'un E, nous calculons la moyenne

si le valeur de E<sub>9.16</sub> ne peut être calculé :

$$\frac{3.6}{E_d} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85E_2} + \frac{1}{E_{3.5}} + \frac{1}{2.5E_{6.8}}$$

si la valeur de E<sub>6.8</sub> ne peut être calculer :

$$\frac{3.2}{E_{6.8}} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85E_2} + \frac{1}{E_{3.5}}$$

$$\frac{3}{E_{3.5}} = \frac{1}{E_3} + \frac{1}{E_4} + \frac{1}{E_5}, \frac{3}{E_{6.8}} = \frac{1}{E_6} + \frac{1}{E_7} + \frac{1}{E_8}$$

Les tranches dépassées à 16 on calculer :

$$\frac{1}{E_{9.16}} = \frac{1}{E_9} + \dots + \frac{1}{E_{16}}$$

$$S = S_d + S_c$$

### III.4. Conclusion

Le choix et le type de méthode de tassement se fait selon :

- La nature du sol étudié alors l'essai utilisée : L'essai œdométrique ou bien pressiométrique.
- Le type de fondation soit Rectangulaire ou circulaire
- les épaisseurs de la couche de sol fini ou infini
- les propriétés du sol.
- Le nombre des couche ' multi couche ou bien une seule couche

## **CHAPITRE 4 :**

**Etablissement du programme en vb.net et  
présentation des grandes options du  
programme**

### **IV.1. Introduction**

Visual Basic .Net est un langage de programmation à la syntaxe similaire à celle de Visual Basic 6. Néanmoins, ces deux langages sont assez peu comparables dans la pratique tant l'évolution entre ceux-ci est énorme. Le principal changement étant sans conteste l'introduction de l'orientation objet dans le langage.

VB.NET permet de développer en .Net via Visual Studio, c'est-à-dire seulement sur les systèmes d'exploitation Windows (98, 2000, XP, Vista, 7). Il existe cependant un projet visant à porter la plateforme Dot Net (et donc VB.NET) sous Linux, MacOS et Open BSD. Ce projet s'appelle Mono et il permet déjà de faire tourner nativement des applications .NET 2.0.

Il est important de rappeler que tout programme VB.NET est compilé dans le même langage intermédiaire (IL) que C# ou tout autre langage de la plateforme dot Net.

### **IV.2. Le principe du programme**

Les huit principes de conception du compilateur VB.net sont :

- Être facile d'utilisation pour les débutants,
- Être un langage généraliste,
- Autoriser l'ajout de fonctionnalités pour les experts (tout en gardant le langage simple pour les débutants),
- Être interactif,
- Fournir des messages d'erreur clairs et conviviaux,
- Avoir un délai de réaction faible pour les petits programmes,
- Ne pas nécessiter la compréhension du matériel de l'ordinateur,
- Isoler l'utilisateur du système d'exploitation.

### IV.3. L'interface de Visual Studio

Pour créer un élément, il faut aller dans la boîte à outils à gauche dans l'IDE (Integrated Développement Environnement). Sélectionnez le composant à ajouter au formulaire (bouton, label...) puis positionnez-le dans le formulaire.

#### IV.3.1. L'aspect graphique

Dans la fenêtre dite concepteur de vues de VB, nous pourrons facilement aller piocher les différents objets que nous voulons voir figurer dans notre application, les poser sur notre formulaire, modifier leurs propriétés par défaut, etc.

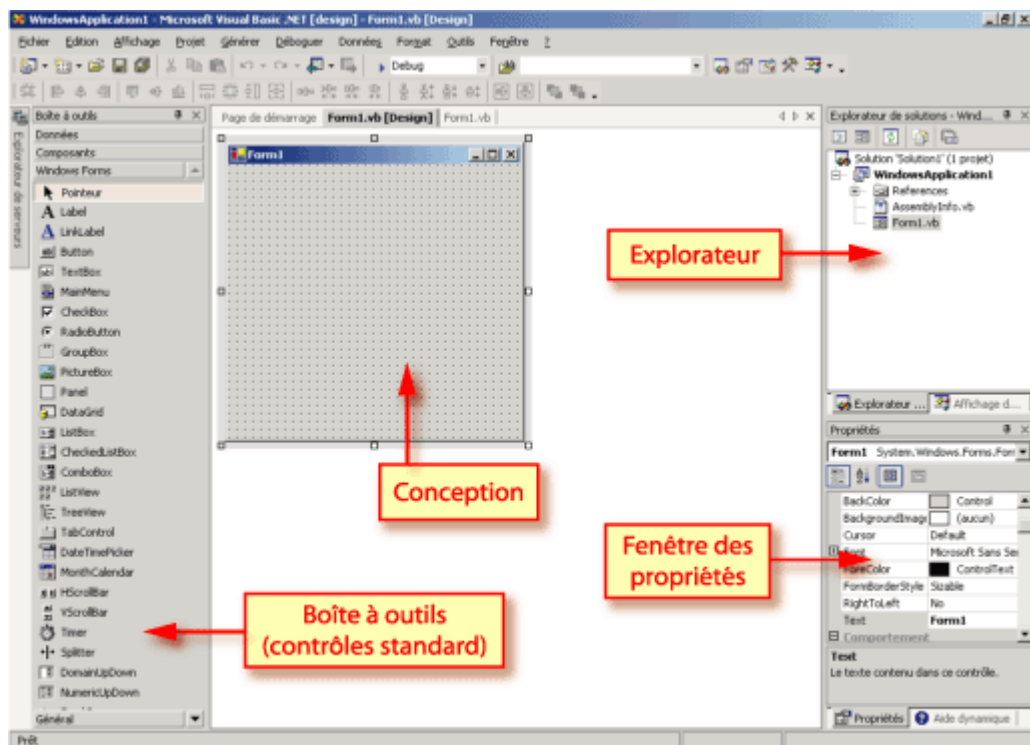


Figure IV. 1: L'aspect graphique

**A. Boîte à outils :** Sur la gauche de l'interface, nous avons accès à la boîte à outils. Pour afficher cette boîte, vous allez devoir cliquer sur le petit onglet qui dépasse sur la gauche. Une fois la boîte sortie, cliquez sur la punaise pour la « fixer » et la maintenir visible. La boîte à outils (voir figure suivante) nous sera d'une grande utilité lorsque nous créerons la partie graphique de nos applications, mais inutile lors de l'écriture du code VB. Dès lors, si vous voulez la rentrer automatiquement, cliquez une nouvelle fois sur la punaise.

**B. Fenêtre de propriétés :** La fenêtre **Propriétés** affiche les propriétés d'éléments uniques ou multiples sélectionnés. Si plusieurs éléments sont sélectionnés, l'intersection de toutes les propriétés pour tous les objets sélectionnés s'affiche.

Les événements affichés dans la fenêtre **Propriétés** sont principalement utilisés avec des objets liés au code. Les événements sont affichés uniquement dans la fenêtre **Propriétés** lorsqu'il existe une liaison entre le code en cours d'exécution et certains événements associés à des objets spécifiques.

**C. Conception :** Cette partie correspond à notre espace de travail : c'est ici que nous allons créer nos fenêtres, entrer nos lignes de code.

**D. Fenêtre de solutions (explorateur) :** De l'autre côté de notre écran, nous remarquons la fenêtre de solutions (voir figure suivante) : elle récapitule l'arborescence de notre projet. Elle servira également à gérer les bases de données, mais plus tard.

### IV.3.2. La fenêtre du code

Passons au code. Visual Studio, dans sa grande magnanimité, va tâcher de faire au mieux pour nous faciliter la vie. Il va en fait décrypter notre code au fur et à mesure de sa rédaction, et nous donner en temps réel des indications via un système de couleurs, comme on peut le voir sur la figure ci-dessus. :

- Les titres de procédures seront automatiquement écrits en gris
- Les mots-clés du langage seront automatiquement portés en bleu
- Les commentaires seront automatiquement en vert
- Toute ligne comportant une faute de syntaxe, ou posant un problème au compilateur, sera immédiatement soulignée.

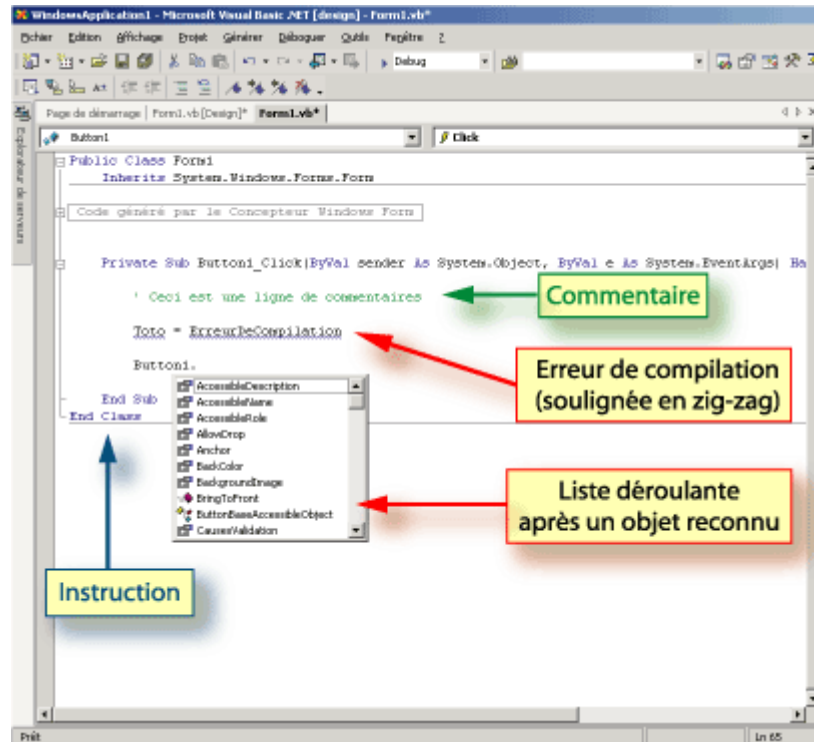


Figure IV. 2: Fenêtre du code

### Les commentaires :

Commenter un code est une chose très importante lorsqu'on écrit un programme en vb.net, trois Forms sont possibles

- le commentaire sur une ligne : pour écrire un commentaire sur une ligne il suffit de commencer la ligne par un apostrophe << ' >> ou par << REM >>
- le commentaire de documentation automatique de programme :
- le commentaire

## IV.4. Les classes utilisées

### IV.4.1. La Classe Form

La classe Form (qu'on appelle également le formulaire), issue de la classe Windows. Form, est l'élément de base, obligé et fondamental, de toute application VB pour Windows.

Nous pouvons d'entrée noter plusieurs propriétés de la classe Windows. Form (donc de tous les objets Form créés à partir de cette classe),

#### **IV.4.2. La class button**

Le bouton est le composant le plus important puisque c'est grâce à lui que l'utilisateur pourra interagir avec le programme. Un bouton permet essentiellement de valider ou d'annuler une fonction.

#### **IV.4.3. La class label**

Un label est un élément permettant d'informer l'utilisateur d'une chose. Par exemple, pour indiquer à l'utilisateur d'entrer son nom dans une `TextBox`, on utilise un 'Label'. Ils renseignent donc sur l'utilisation du programme. Un label ne peut pas être modifié par l'utilisateur.

#### **IV.4.4. La classe TextBox**

Les *TextBox* sont des emplacements pour accueillir du texte (d'où le nom de *TextBox*). Elles sont très utiles pour récupérer du texte. Par exemple dans MSN vous entrez votre login et votre mot de passe dans des `TextBox` prévues à cet effet. Une *TextBox* peut donc être modifiée par l'utilisateur.

#### **IV.4.5. La classe Comobox**

Les *ComboBox* sont des menus déroulants. Elles permettent de choisir une option parmi plusieurs. Exemple : Quelle est ta couleur préférée ? On utilisera une *ComboBox* pour afficher les réponses possibles (Rouge, Bleu, Vert, Noir...)

### IV.5. Les Variables

- Une variable possède :
  - Un identificateur (Nom)
  - Un type
- La déclaration d'une variable se fait comme suite :
  - `Dim <nom de variable> As <type>`
  - `Dim Taux as Single`
  - `Dim Réponse as String`

#### IV.5.1. Les types des variables

- Boolean = true ou false
- Integer: de -32768 à 32767
- Long: -2147483648 à 2147483647
- Single: décimaux en simple précision
- Double: décimaux en double précision
- String: jusqu'à 65000 caractères
- Date : 1er Janvier 100 au 31 décembre 9999

#### IV.6. Les Tableaux

- Dim Nom Tab (borne Inférieur to Borne Supérieur) As Type
  - Dim Semaine (1 to 7) as String
  - Semaine (1) = " Lundi "
- Dim Nom Tab (Borne Sup) as Type
  - Dim Adresses (50) as String
  - Par défaut, l'indice minimum sera 0

#### IV.7. Les Opérateurs

Pour travailler avec les variables, on utilise des opérateurs. Il en existe de trois sortes : les opérateurs d'arithmétiques et de concaténation (mise bout à bout de chaîne de caractères), les opérateurs de logiques et les opérateurs de comparaisons.

##### IV.7.1. Opérateurs arithmétiques

Les opérateurs arithmétiques sont des opérateurs qui permettant d'effectuer des calculs mathématiques.

- + : addition classique,
- - : soustraction,
- \* : multiplication,
- / : diviser deux nombres et renvoie en résultat un nombre à virgule flottante (Double),
- \ : Diviser deux nombres et renvoie un nombre entier,
- ^ : Permet d'élever un nombre à une puissance,
- Mod : Permet de diviser deux nombres en ne renvoyant que le reste



### IV.7.2. Opérateurs de comparaison

Les opérateurs de comparaison comparent deux nombres ou chaînes pour voir si ces nombres ou chaînes sont égaux, différents, supérieurs ou inférieurs

- < : inférieur à,
- <= : inférieur ou égal à
- > : supérieur à
- >= : supérieur ou égal à
- = : égal à
- <> : différent de

### IV.7.3. Opérateurs de concatenation

- L'opérateur & permet de réunir à la suite des chaînes de caractères
- Si on l'utilise avec une chaîne et un nombre, le nombre est automatiquement converti en chaîne
- Exemple MsgBox ("nom Faculté : " & nomFaculté)  
Str1 = nomFaculté & " " & adresseFaculté

### IV.7.4. Opérateurs logiques

- And, Or, Not, Xor
  - Condition composée : Une expression composée de conditions simples reliés par des opérateurs logiques.
- Exemple:
  - (prix\_vente > 120) Or Not bon\_état
  - Type de prix\_vente, bon\_état ??
- Priorité des opérateurs
  - Not > And > Or

**Tableau IV. 1:** Les opérateurs logiques

Opérateurs	Syntaxe	Emploi
And (et)	Var_1 And Var_2	True si Var_1 et Var_2 sont vraies
Or (ou)	Var_1 Or Var_2	True si une des deux est vraie
Xor (ou exclusif)	Var_1 Xor Var_2	True si une et une seule est vraie
Not (non)	Not Var_1	True si Var est faux et vice versa

#### IV.8. Les structures de conditionnelles

Les conditionnelles comme les boucles permettent de gérer le déroulement du code. Il existe deux grands types de conditionnelles : celles avec « If - Then » et celles avec « Select Case - End Select »

##### **Structure Générale:**

```
If condition1 Then
    'exécuter instructions
Else
    'exécuter autres intructions
End If
```

**Figure IV. 3:** Structure générale de conditionnelle type « If - Then »

- **If** : mots-clé signifiant « si » et qui ouvre la structure
- **Then** : mots-clé signifiant « alors »
- **Else** : mots-clé signifiant « sinon »
- **End if** : mots-clé permettant de fermer la structure

## IV.9. Les boucles

Les boucles permettent de répéter un bloc d'instruction autant de fois qu'on l'a indiqué à la boucle. Elles sont très utilisées par exemple pour faire des calculs itératifs (Méthode d'Euler) ou de lister le contenu d'un tableau. Il en existe quatre types majeurs : celles avec « For - Next », celles avec « Do - Loop », celles avec « While - End While » et celles avec « For Each - Next »

### IV.9.1 La boucle « For - Next »:

Structure générale :

```
For Variable = Debut To Fin
    'Execute la boucle
Next Variable
```

Figure IV. 4: Structure générale de la boucle « For - Next »

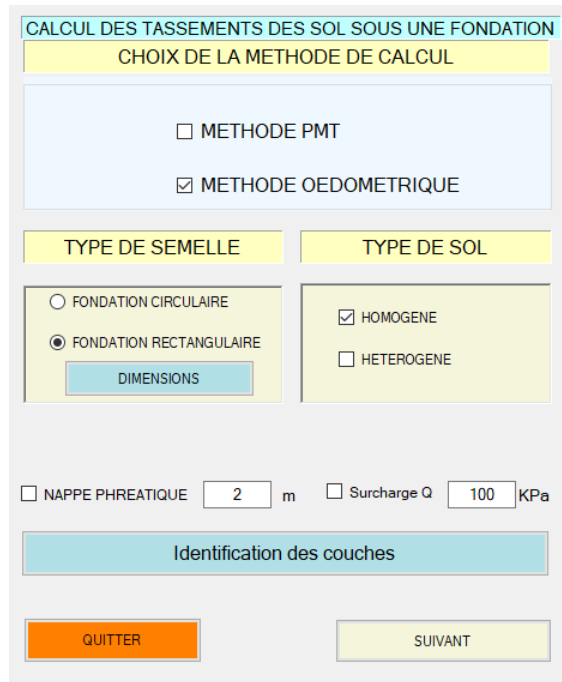
- **For** : Mot-clé permettant d'ouvrir la boucle.
- **To** : Mot-clé signifiant « jusqu'à »
- **Next** : Mot-clé pour fermer la boucle.
- **Variable** : Variable qui va servir de compteur pour la boucle.
- **Début**: Début du compteur.
- **Fin**: Fin du compteur.

## IV.10. Mode d'emploi

Pour utiliser le programme que nous avons créé, vous devez suivre les étapes suivantes :

Etape 01 : le choix de la méthode de calcul

Tout d'abord, vous devez choisir la méthode de calcul et appuyer sur la case correspondante à l'une des deux méthodes, soit pressiométrique (PMT) ou œdométrique voir figure (IV.5)



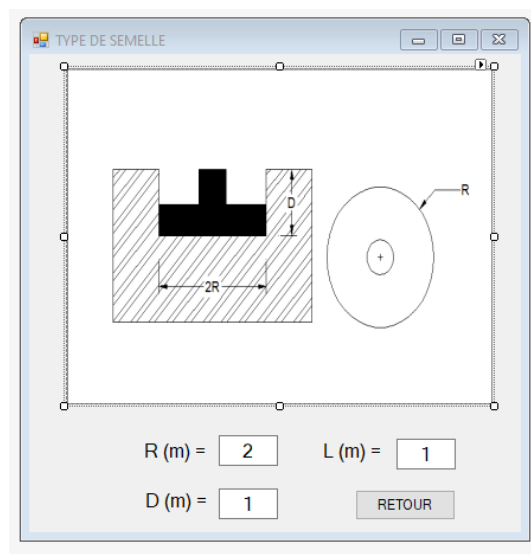
**Figure IV. 5:** Interface principale du programme.

Etape 02 : le choix de type de semelle

A l'étape suivante vous devez choisir le type de semelle et appuyer sur la case correspondante à l'une des deux types soit semelle rectangulaire ou circulaire, puis appuyer sur le bouton 'dimension'.

Ensuite une interface apparaîtra pour la dimension de la semelle sélectionnée, les données doivent donc être comme le montre la figure (IV.6)

Ensuite, vous devez appuyer sur le bouton "RETOUR" pour terminer les étapes restantes.

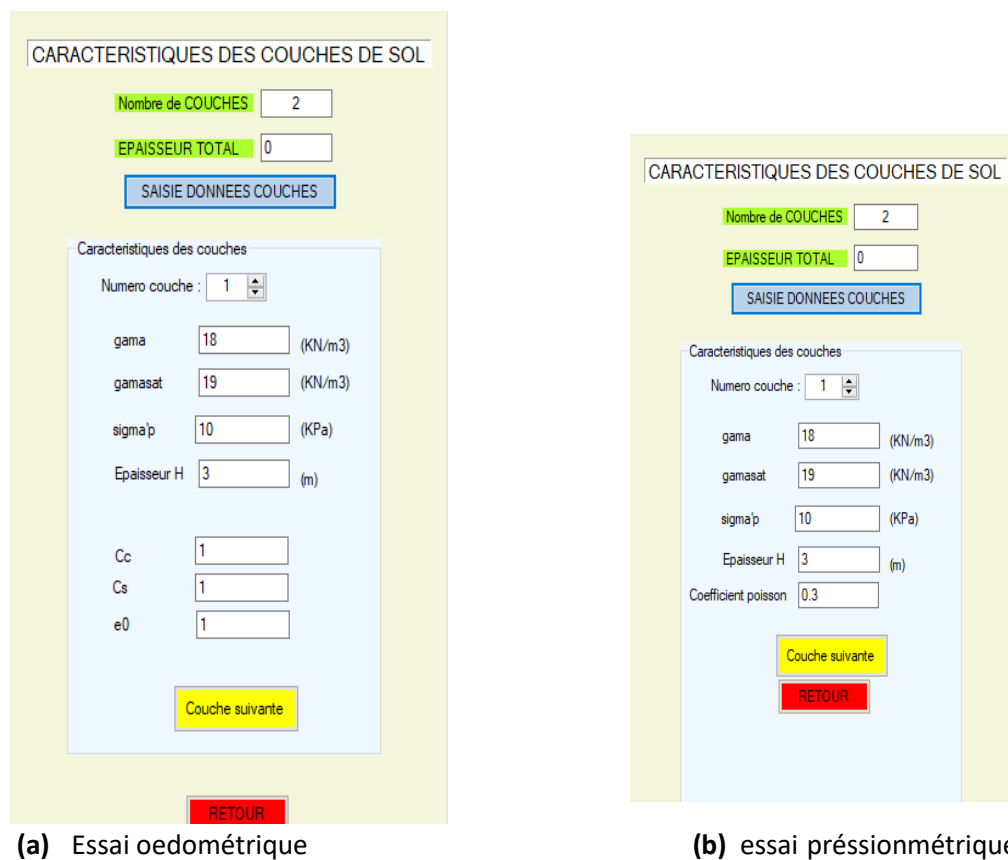


**Figure IV. 6:** Type de semelle

Etape 3 : après cela vous devez choisir le type de sol et appuyer sur la case correspondante à l'une des deux types soit sol homogène ou hétérogène, et remplissez la valeur de la surcharge et le niveau de la nappe phréatique.

Etape 4 : identification des couches :

Dans cette étape il faut juste appuyer sur le bouton "identification des couches", ensuite une interface apparaîtra comme indiqué dans la Figure (IV.7). lorsque vous avez fini de remplir les données de la première couche, vous devez cliquer sur le bouton "couche suivante" pour compléter les couches suivantes. et enfin appuyer sur "retour"



**Figure IV. 7:** Identification des couches : (a) pour l'essai oedométrique ; (b) pour l'essai prèssionmétrique

Etape 5 : l'interface des résultats

-Si la méthode de calcul est PMT et le sol était homogène voici de l'interface des résultats (figure IV. 8), le bouton "calcul des coefficient" permet de d'ouvrir une autre fenêtre (figure IV. 9) qui permet de choisir le type du sol ainsi que le type de consolidation.

The screenshot shows a window titled 'PMT' with the following content:

- coefficient alpha et lambda**: A button 'Calcul des coefficients' is present. Below it, the values are: alpha = 0.33333, Lambda\_s = 0.33333, Lambda\_d = 0.33333.
- Charges**: SigmaVQ(D) = 18 KPa. A text box for 'q =' contains the value '100' with the unit 'KN'.
- Em**: A text box contains the value '16' with the unit '(MPa)'. Below it is a 'RETOUR' button.
- TASSEMENTS**: A large box containing:
  - TASSEMENT SPHERIQUE: 0,05 mm
  - TASSEMENT DEVIATORIQUE: 0,30 mm
  - TASSEMENT TOTAL: 0,35 mm

**Figure IV. 8:** Interface des résultats méthode PMT sol homogène

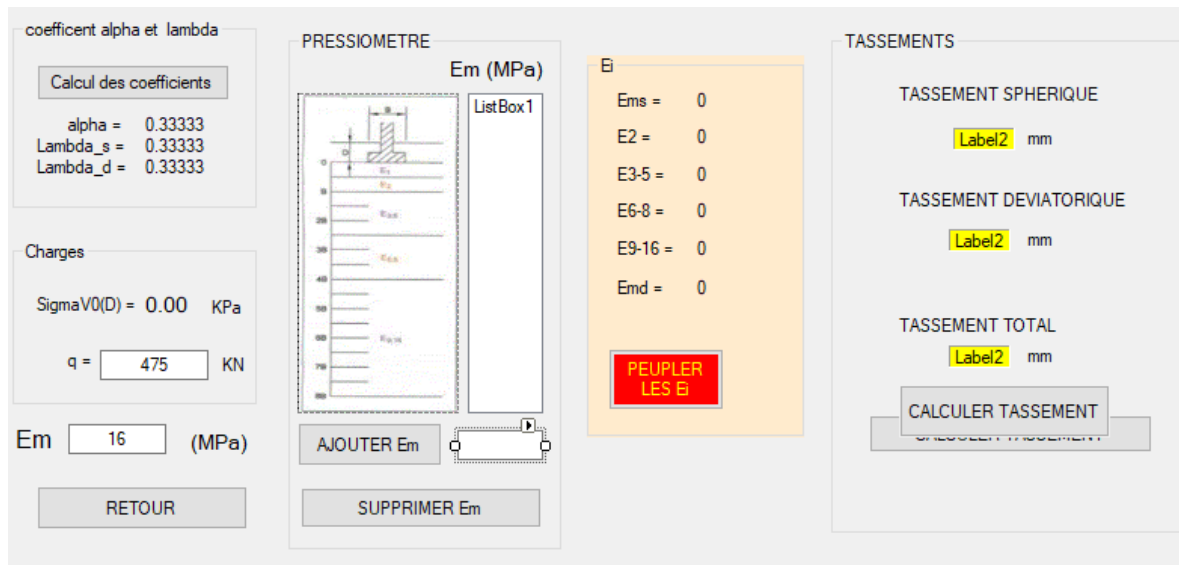
The screenshot shows a window titled 'Form6' with the following content:

- TYPE SOL**: Radio buttons for Argile (selected), Tourbe, Limon, Sable, and Gravel.
- TYPE DE CONSOLIDATION**: Radio buttons for Surconsolidé, Normalement consolidé (selected), and Sous consolidé.
- Caracteristiques sol**: Text boxes for Gam\_sat (18), Gam\_h (20), and Gam\_d (19). A 'Valider' button is to the right.

**Figure IV. 9:** les caractéristiques du sol

Lorsque vous avez terminé, appuyer sur "valider" pour revenir a l'interface des résultats (figure IV. 10).

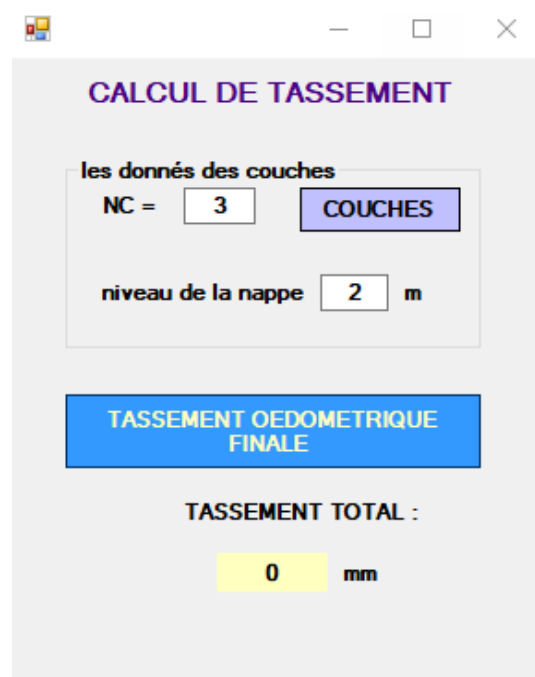
-Si la méthode de calcul est PMT et le sol était hétérogène voici de l'interface des résultats (figure (IV. 10)).



**Figure IV. 10:** Interface des résultats méthode PMT sol hétérogène

Dans cette étape il faut calculer les coefficients voir figure (IV.11) remplir le tableau de  $E_M$  après appuyer sur "publier les  $E_i$ " et enfin "calculer le tassement" pour voir le résultat final.

-si la méthode de calcul était œdométrique ; une interface apparaîtra vous devez remplir le la case NC (nombre des couches) et appuyer sur le bouton "calculer le tassement œdométrique final" pour voir le résultat final voir figure (IV.11)



**Figure IV. 11:** Interface des résultats méthode œdométrique





## **CHAPITRE V :**

# **Vérification du programme par un calcul manuel et applications**

### V.1.Introduction

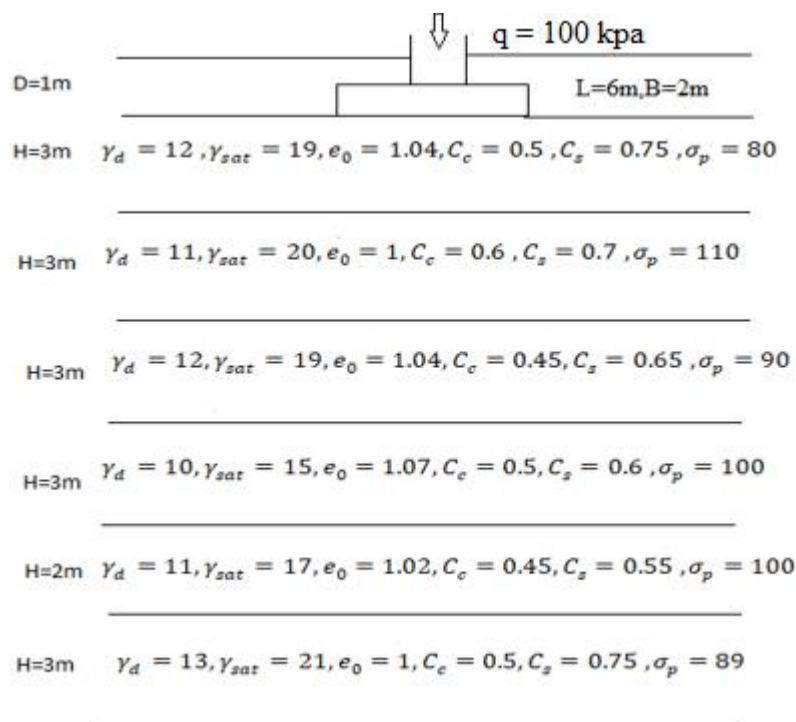
Le tassement peut être uniforme ‘absolu’ qui se traduit par un déplacement de l'ensemble d'une structure vers le bas, ou différentiel provoqué par la différence de déplacement entre deux points d'une même structure selon la nature du sol en place. Quand le sol est non saturé, les tassements sont instantanés ou immédiat ( $\Delta h_i$ ) tandis que dans les sols saturés, ils peuvent s'étendre sur quelques secondes dans les sols sableux-graveleux, jusqu'à plusieurs années dans les argiles peu perméables.

Le calcul des tassements est nécessaire pour vérifier la conformité des structures vis-à-vis des conditions de sécurité et de service.

### V.2. Les exemples de l'essai œdométrique

#### V.2.1. Exemple 1

Soit la coupe géotechnique du sol représenté par la figure (V.1) :



**Figure V. 1:** La fondation de semelle rectangulaire dans le sol multi couche ‘‘6 couches’’ épaisseur infini

Il s'agit d'un terrain infiniment épais ( $6 + 2 \times 2 < 17$ ). Le calcul de l'augmentation des contraintes provoquées par l'ouvrage se fait par la méthode de **NEWMARK** :

Les résultats de calcul des contraintes et tassement finale récapitulés au tableau V.1

**Tableau V. 1:** Les résultats d'exemple 1 méthode NEWMARK

	Z(m)	$I_{\sigma}$	$\sigma_{v0}'$ (kpa)	$\Delta\sigma$ (kpa)	$\sigma_v'$ (kpa)	$\Delta H$ (m) manuel	$\Delta H$ (m) programme
Couche1	1.5	0.2235	18	89.42	107.42	-0.267	-0.269
	2.5	0.1830	22.5	73.21	95.71	-0.221	-0.221
	3.5	0.1466	31.5	58.57	90.15	-0.162	-0.162
Couche2	0.5	0.2485	38	99.43	137.43	-0.191	-0.191
	1.5	0.2235	48	89.42	137.42	-0.155	-0.155
	2.5	0.1830	58	73.21	131.21	-0.120	-0.120
Couche3	0.5	0.2485	67.5	99.43	166.93	-0.100	-0.100
	1.5	0.2235	76.5	89.42	165.92	-0.082	-0.081
	2.5	0.1830	85.5	73.21	158.71	-0.062	-0.061
Couche3	0.5	0.3485	92.5	99.43	191.93	-0.078	-0.078
	1.5	0.2235	97.5	89.42	186.92	-0.069	-0.068
	2.5	0.1830	102.5	73.21	175.71	-0.056	-0.056
Couche4	0.5	0.2485	108.5	99.43	207.93	-0.063	-0.062
	1.5	0.2235	115.5	89.42	204.92	-0.055	-0.055
Couche5	0.5	0.4856	124.5	99.43	223.93	-0.064	-0.063
	1.5	0.22355	135.5	89.42	224.92	-0.055	-0.055
	2.5	0.18302	146.5	73.21	219.71	-0.044	-0.044

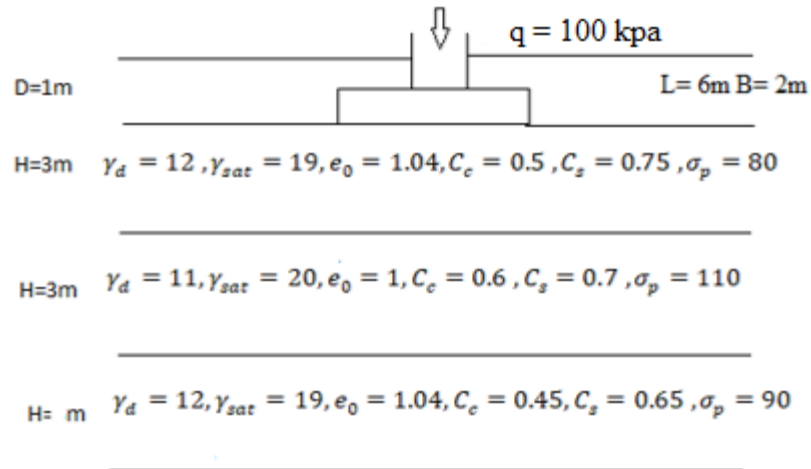
Tassement final manuel:  $S = \sum \Delta H_l = -1,8464 \times 10^3 mm$

Tassement final du programme:  $S = \sum \Delta H_l = -1,8456 \times 10^3 mm$

**Nous remarquons que les résultats des tassements finaux sont très proche**

**V.2.2. Exemple 2**

Soit la coupe géotechnique du sol représenté par la figure (V.2) :



**Figure V.2:** La fondation de semelle rectangulaire dans sol multi couches’’  
3couche’’episseure fini

Dans ce cas l’épaisseur de la couche infinie  $H < L + 2 \times B$  ‘  $9 < 10$  ‘ et la fondation est rectangulaire donc par la méthode de **BURMISTER** nous avons calculer l :

La nappe phréatique se trouve à 2m donc :

La contrainte totale de la couche 1 :

$$\sigma_{v0} = \gamma_h \times H_{nappe} + (H_1 - H_{nappe}) \times \gamma'$$

$$\sigma_{v0} = 2 \times 12 + 1 \times 9 = 33 \text{ kpa}$$

La contrainte totale de la tranche 1 :

$$z1 = D + 0,5 = 1.5 \text{ m}$$

$$\sigma_{v0} = 1.5 \times \gamma_h = 18 \text{ kpa}$$

Dans la première tranche :  $\Delta\sigma = 4 \times q \times kh_0$

Pour calculer  $kh_0$  de la 1<sup>er</sup> couche:

$\frac{Z}{H} = 0.16 < \frac{Z}{H} = 0.2$  dans ce cas on propose que toutes les valeurs de Z/H qui sont inférieurs a 0,2 sont calculée par le tableau de Z/H=0.2

$$\frac{L}{B} = 3 \text{ et } 0.1 < \beta = 0.11 < 0.2$$

On calcul **kh0**

$$Z/H = 0.2 \text{ et } (\beta = 0.1, kh0 = 0,13004) \text{ et } (\beta = 0.2, kh0 = 0,20369)$$

1. on fait interpolation linéaire et on trouve l'équation suivante :

$$Y=0.7365X+0.05639$$

$$X=\beta=0.11 \text{ trouve } \mathbf{kh0=0.13705}$$

<b>Kh0 =0.13705</b>
---------------------

-Si la valeur de Z/H est varié entre deux tableaux on fait une interpolation entre les deux tableaux.

$$\Delta\sigma = 4 \times q \times kh0 = 54.962 \text{ kpa}$$

$$\text{La contrainte effective finale : } \sigma_v' = \sigma_{v0} + \Delta\sigma$$

$$\sigma_v' = 18 + 54.962 = 72.962 \text{ Kpa}$$

$$\sigma_v' = 72.962 \text{ kpa} \quad , \quad \sigma_p = 80 \text{ kpa} \quad \sigma_v' < \sigma_p \quad 72.962 < 80$$

$$\Delta H = \frac{-H_0}{1+e_0} \times C_c \times \log\left(\frac{\sigma_v'}{\sigma_{v0}}\right) = -0.223 \text{ mm}$$

Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau (V. 2)

**Tableau V. 2:** Les résultats d'exemple 2 méthode BURMISTER

	Z (m)	KH <sub>0</sub>	$\sigma_{v0}'$ (kpa)	$\Delta\sigma$ ( kpa)	$\sigma_v'$ ( kpa )	$\Delta H(m)$ Manuel	$\Delta H(m)$ programme
Couche 1	1.5	0,138	18	54,96	72,96	-0,223	-0.2235
	2.5	0,114	22.5	45,43	67,93	-0,176	-0.1765
	3.5	0,078	31.5	30,46	61,96	-0,108	-0.1081
Couche 2	0.5	0,137	38	54,96	92,962	-0,116	-0.1161
	1.5	0,137	48	54,96	102,96	-0,088	-0.0879
	2.5	0,114	58	45,43	103,43	-0,071	-0.0714
Couche 3	0.5	0,137	67.5	54,96	122,46	-0,06	-0.0696
	1.5	0,137	76.5	54,96	131,46	-0,058	-0.0583
	2.5	0,113	85.5	45,44	130,93	-0,116	-0.1161

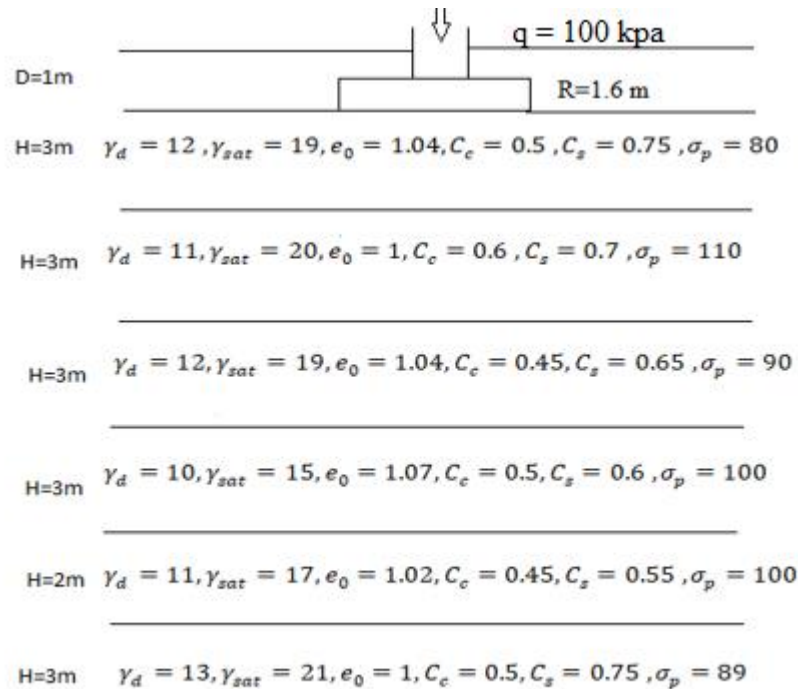
Tassement final manuel :  $S = \sum \Delta H_i = -1,047314544 \times 10^3 mm$

Tassement final du programme :  $S = \sum \Delta H_i = -1.0275 \times 10^3 mm$

Nous remarquons que les résultats des tassements finales sont très proche.

### V 2.3. Exemple 3

Soit la coupe géotechnique du sol représenté par la figure ci-après :



**Figure V. 3:** La fondation de semelle circulaire dans le sol multi couche “6 couches” épaisseur infini

L'épaisseur de la couche infinie  $H > 6 \times R$  '  $17 > 9$  ' et la fondation est rectangulaire

Donc la méthode de **BOUSSINESQ** :

La contrainte totale de la couche 1 :

$$\sigma_{v0} = \gamma_h \times H_{nappe} + (H_1 - H_{nappe}) \times \gamma'$$

$$= 2 \times 12 + 1 \times 9 = 33 kpa$$

La nappe à =2m

$$z1 = 0.5 + D = 1.5 m \quad , \quad \sigma_{v0} = 1.5 \times \gamma = 18 kpa$$

$$\Delta\sigma = q \times Ic = 64.6446609 kpa$$

la contrainte effective finale :  $\sigma_v' = \sigma_{v0} + \Delta\sigma$

$$\sigma_v' = 82.6446609 \text{ kpa}$$

$$\sigma_p = 80 \text{ kpa} \quad \sigma_{v0} < \sigma_p < \sigma_v' \quad 18 < 80 < 82.64$$

Donc on utilise la formule suivante pour calculer le tassement de la 1<sup>er</sup> tranche :

$$\Delta H = \frac{-H_0}{1+e_0} \times [(C_s \times \log\left(\frac{\sigma_p}{\sigma_{v0}}\right)) + (C_c \times \log\left(\frac{\sigma_v'}{\sigma_p}\right))] = -0.2416 \text{ mm}$$

Et calculer les tassements de chaque tranche :

Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau (V. 3)

**Tableau V. 3:** Les résultats d'exemple 3 méthode BOUSSINESQ

	Z	I <sub>c</sub>	$\sigma_{v0}'$ (kpa)	$\Delta\sigma$ (kpa)	$\sigma_v'$ (kpa)	$\Delta H(m)$ Manuel	$\Delta H(m)$ programme
Couche1	1.5	0.65	18	64.64	82.64	-0.2416	-0.2417
	2.5	0.37	23	36.95	59.45	-0.16	-0.16
	3.5	0.22	32	22.35	53.85	-0.0856	-0.087
Couche2	0.5	0.97	38	96.84	134.84	-0.19	-0.193
	1.5	0.65	48	64.64	112.64	-0.13	-0.123
	2.5	0.37	58	36.95	94.95	-0.15	-0.154
Couche3	0.5	0.97	68	96.84	164.34	-0.099	-0.099
	1.5	0.65	77	64.64	141.14	-0.07	-0.066
	2.5	0.37	90	36.94	126.95	-0.03	-0.036
Couche4	0.5	0.97	93	96.84	189.34	-0.08	-0.081
	1.5	0.65	98	64.65	162.14	-0.054	-0.054
	2.5	0.37	103	36.95	139.45	-0.031	-0.031
Couche5	0.5	0.97	109	96.84	205.34	-0.062	-0.062
	1.5	0.65	116	64.65	180.15	-0.043	-0.043
Couche6	0.5	0.97	125	96.84	221.34	-0.062	-0.062
	1.5	0.65	136	64.65	200.14	-0.042	-0.042
	2.5	0.37	147	36.95	183.45	-0.024	-0.024

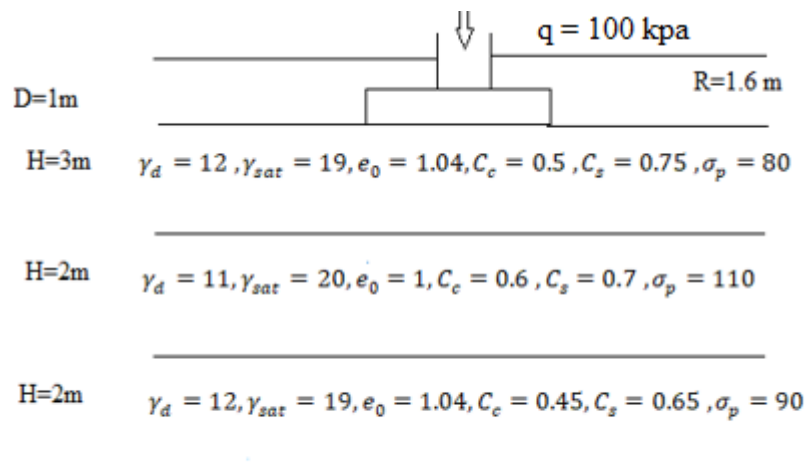
Tassement final manuel  $S = \sum \Delta H_i = -1.54166 \times 10^3 mm$

Tassement final programme  $S = \sum \Delta H_i = -1.5166 \times 10^3 mm$

Nous remarquons que les résultats du tassements finales sont très proches

#### V 2.4. Exemple 4

Soit la coupe géotechnique du sol représenté par la figure ci-après :



**Figure V. 4:** La fondation de semelle circulaire dans sol multi couches''  
3couche''episseure fini

L'augmentation des contraintes totales est calculée selon la méthode de Milovitch puisque le massif est finie  $H = 7 < (6 \times R) = 9$ , les résultats de calcul sont regroupés au tableau V. 4

-  $Kh_z$  : facteur d'influence est évalué par la  $Z/H, H/R, \nu$  :

Dans la **quatrième tranche**  $4 < H/R=4.6 < 6$  et  $\nu = 0.3$  et  $0.15 < Z/H=0.21 < 0.25$

On calcul  $kh_{z1}$

$H/R=4.$  et  $(Z/H=0.15, kh_z=0.835)$  et  $(Z/H=0.25, kh_z=0.635)$

$$1. \quad 0.835 = 0.15a + b, \quad 0.635 = 0.25a + b$$

On fait une interpolation linéaire et trouve équation suivante

$$\mathbf{kh_{z1}=0.722}$$

On calcul  $kh_{z2}$

$H/R = 6$  et  $(Z/H = 0.15, kh_z = 0.664)$  et  $(Z/H = 0.25, kh_z = 0.413)$



2.  $0.664 = 0.15a + b$  ,  $0.413 = 0.25a + b$  on fait une interpolation et on trouve:  
 **$kh_{z2} = 0.513$**

3. Nous faisons l'interpolation entre  **$kh_{z1}$  et  $kh_{z2}$**  est trouvé  **$kh_z$**  lorsque  $H/R = 1.33$   
 $0.722 = 4a + b$   $0.513 = 6a + b$   $Y = -0.1044 X + 1.1398$  en remplace  $X$   
 $= 4.6$  on trouve  **$KhZ = 0.659$**

- La contrainte totale de la couche 1 :

$$\sigma'_{v0} = \gamma_h \times H_{nappe} + (H_1 - H_{nappe}) \times \gamma'$$

$$\sigma'_{v0} = 2 \times 12 + 1 \times 9 = 33 \text{ kpa}$$

La nappe à =2m

$$z1 = 0.5 + D = 1.5 \text{ m} , \sigma_{v0} = 1.5 \times \gamma = 18 \text{ kpa} , \Delta\sigma = q \times khz = 99.4 \text{ kpa}$$

La contrainte effective finale :  $\sigma'_v = \sigma_{v0} + \Delta\sigma$

$$\sigma'_v = 117.4 \text{ kpa} , \sigma_p = 80 \text{ kpa} \quad \sigma_{v0} < \sigma_p < \sigma'_v$$

$$\Delta H = \frac{-H_0}{1+e0} \times [(C_s \times \log\left(\frac{\sigma_p}{\sigma_{v0}}\right)) + (C_c \times \log\left(\frac{\sigma'_v}{\sigma_p}\right))] = -0,2432 \text{ m}$$

Le tableau ci-dessus représente tous les résultats trouvés dans ce problème :

**Tableau V. 4:** Les résultats d'exemple 4 méthode MILOVITCH

	Z	KHZ	$\sigma'_{v0}$ (kpa)	$\Delta\sigma$ (kpa)	$\sigma'_v$ (kpa)	$\Delta H$ manuel (m)	$\Delta H$ programme (m)
Couche1	1.5	0,66	18	65,9	83,9	-0,2432	-0.2406
	2.5	0,4	22.5	40	62,5	-0,1631	-0.1594
	3.5	0,27	31.5	25,6	57,1	-0,0949	-0.0937
Couche3	0.5	0,92	38	91,83	129,83	-0,1831	-0.1826
	1.5	0,66	48	65,9	113,9	-0,1305	-0.1283
Couche4	0.5	0,91	67.5	91,8	159,3	-0,096	-0.1120
	1.5	0,66	76.5	65,9	142,4	-0,067	-0.0786

Tassement final manuel :  $S = \sum \Delta H_i = -0,977952661 \times 10^3 \text{ mm}$

Tassement final du programme.  $S = \sum \Delta H_i = -0,9489 \times 10^3 \text{ mm}$

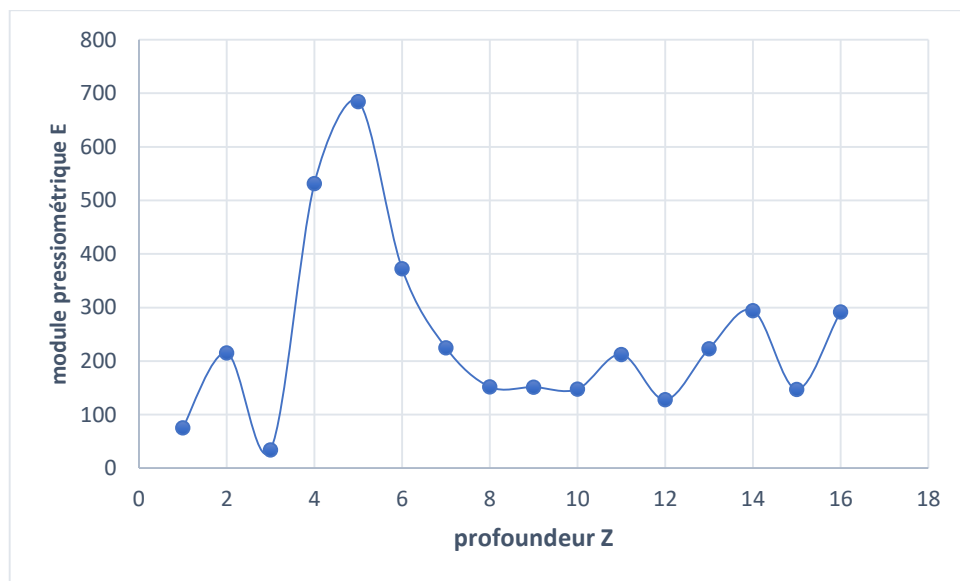
**V.3. L'essai pressiométrique :**

**V.3.1. Exemple 1**

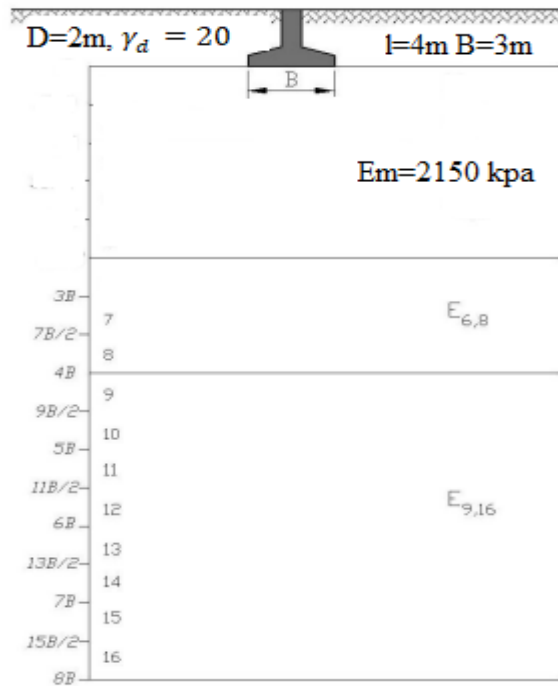
D'essai périmétrique **sol hétérogène**

**Tableau V. 5:** Module pressiométrique Em

z(m)	1	2	3	4	5	6	7	8
Em	75,4	215,4	34,6	531,5	684,8	372,4	225	152,08
z(m)	9	10	11	12	13	14	15	16
Em	151,48	147,77	212,46	127,94	223,38	294,5	147,55	292,06



**Figure V. 5:** Le graphe de module pressiométrique Em sur le plan de 1 m



**Figure V. 6:** Décomposition du terrain pour le calcul des modules équivalents

- Calcul le tassement à long terme

$$q = 1842 \text{ kN} \quad \Delta\sigma_0 = 40 \text{ kpa}$$

**Sol hétérogène** d'après le graphe

$$\frac{2}{E_1} = \frac{1}{E_c} = \frac{1}{215.4} + \frac{1}{34.6} = E_c = 59.6 \text{ bar}$$

$$\frac{2}{E_2} = \frac{1}{531.5} + \frac{1}{684} = E_2 = 598.5 \text{ bar}$$

$$\frac{4}{E_{3.5}} = \frac{1}{372.4} + \frac{1}{255} + \frac{1}{152.08} + \frac{1}{151.08} = E_{3.5} = 202.17 \text{ bar}$$

$$\frac{4}{E_{6.8}} = \frac{1}{147.77} + \frac{1}{212.46} + \frac{1}{127.94} + \frac{1}{223.38} = E_{6.8} = 168.3 \text{ bar}$$

$E_{9.16}$  ne peut être calculé

$$\frac{3.6}{E_d} = \frac{1}{59.6} + \frac{1}{0.85 \times 589.5} + \frac{1}{202.17} + \frac{1}{2.5 \times 168.3} = E_d = 138.1 \text{ bar} = 13810 \text{ kpa}$$

$$E_c = 59.6 \text{ bar} = 5960 \text{ kpa}$$

**Tableau V. 6:** Valeurs du coefficient intervenant dans le calcul du tassement

L/B	cercle	carré	2	3	5	20
$\lambda_c$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$\lambda_d$	1	1,12	1,53	1,78	2,14	2,65

**L/B = 4/3=1.33**

En fait interpolation on carré et 2

1.10 = 1a + b ... (1)

1.20 = 2a + b ... (2)

(1)-(2) on trouve Y= 0.1X + 1 en remplace X = 1.33 trouve Y= $\lambda_c$ = 1.13

1.12 = 1a + b ... (1)

1.53 = 2a + b ... (2)

(1)-(2) on trouve Y= 0.41X + 0.71 en remplace X = 1.33 trouve Y= $\lambda_d$ = 1.25

$\lambda_c$  =1.13 par interpolation

$\lambda_d$  =1.25 par interpolation

**Tableau V. 7:** Valeurs du coefficient rhéologique

Type	Tourbe	Argile		Limon		Sable	
	$\alpha$	E/pl	$\alpha$	E/pl	$\alpha$	E/pl	$\alpha$
Sur consolidé ou très serré	-	>16	1	>14	2/3	>12	1/2
Normalement consolidé ou normalement serré	1	9 à 16	2/3	8 à 14	1/2	7 à 12	1/3
Sous consolidé – altéré et remanié ou lâche	-	7 à 9	1/3	5 à 8	1/2	5 à 7	1/3

Nous avons sol limon sur consolidé ou très serre

$$\alpha = 2/3$$

$$E_c = 59.6 \text{ bar} = 5960 \text{ kpa}$$

$$E_d = 138.1 \text{ bar} = 13810 \text{ kpa}$$

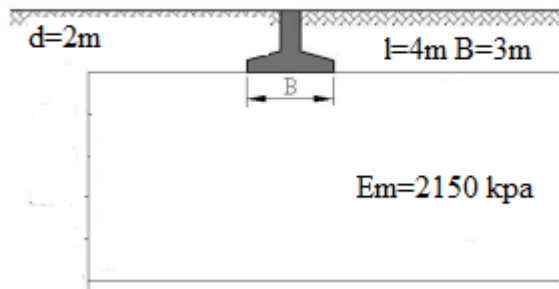
$$S_c = \frac{0.66}{9 \times 5960} \times (1842 - 40) \times 1.13 \times 3 = 0.07 \text{ m}$$

$$S_d = \frac{2}{9 \times 13810} \times (1842 - 40) \times 0.6 \left(1.25 \times \frac{3}{0.6}\right)^{2/3} = 0.059 \text{ m}$$

$$S_f = 0.075 + 0.059 = 0.134 \times 10^3 \text{ mm}$$

### V.3.1. Exemple 2

- Sol homogène
- $q = 1842 \text{ kpa}$        $\sigma_{v_0} = 40 \text{ KN}$



**Figure V. 7:** Fondations dans sol homogène un seul module pressiométrique.

$$S_c = \frac{0.66}{9 \times 2150} \times (1842 - 40) \times 1.13 \times 3 = 0.2083614884 \text{ m}$$

$$S_d = \frac{2}{9 \times 2150} \times (1842 - 40) \times 0.6 \left(1.25 \times \frac{3}{0.6}\right)^{2/3} = 0.3791767864 \text{ m}$$

$$S_f = 0.2083614884 + 0.3791767864 = 0.5875382748 \times 10^3 \text{ mm}$$

Application :

Un établissement scolaire est constitué de blocs reposant sur des semelles isolées de 2×3 m , ancrées à 1m de profondeur dans une couche d'argile saturée de grande épaisseur

caractérisée par:  $\gamma_s = 18.81 \frac{KN}{m^3}$  ,  $\gamma_d = 4 \frac{KN}{m^3}$  ,  $C_s = 0.025$  ,  $C_c = 0.10$  ,

$$q = 191.2kpa$$

a) Calculer  $\Delta\sigma_v = f(z)$  aux points se trouvant sur l'axe de semelle pour : Z= de 0 à16 m.

b) Calculer le tassement œdométrique de se sol d'ouvrage

**La solution :**

Tranche	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z(m)	0	2	4	6	8	10	12	14	16
$I_\sigma$	25	10.7	38	1.8	1.1	0.7	0.5	0.4	0.3
$\Delta\sigma_v$	191.2	81.8	29.1	13.7	8.4	5.3	3.8	3.1	2.3
$\sigma_v'$	200	108.3	73.1	75.4	87.7	102.0	118	135	152

b) -Au-delà de 16 m, on constate que l'influence de la pression est négligeable. On se contente dans le calcul du tassement des 16 premiers mètres de ce terrain. Le terrain peut être découpé en 9 tranches, la première étant épaisse de 1 m et les autres de 2m.

$$S_{c1} = \frac{1}{1+0.928} \times \left( 0.025 \times \log\left(\frac{100}{13.2}\right) \right) + 0.1 \times \log\left(\frac{194.5}{100}\right) = 26.4mm$$

$$S_{c2} = \frac{2}{1+0.928} \times \left( 0.025 \times \log\left(\frac{100}{26.4}\right) \right) + 0.1 \times \log\left(\frac{108.3}{100}\right) = 18.6mm$$

$$S_{c3} = \frac{2}{1+0.928} \times \left( 0.025 \times \log\left(\frac{73.1}{44}\right) \right) = 5.70mm$$

$$S_{c4} = \frac{2}{1+0.928} \times \left( 0.025 \times \log\left(\frac{75.4}{61.7}\right) \right) = 2.27mm$$

$$S_{c5} = \frac{2}{1+0.928} \times \left( 0.025 \times \log\left(\frac{87.7}{79.3}\right) \right) = 1.13mm$$

$$S_{c6} = \frac{2}{1+0.928} \times \left( 0.025 \times \log\left(\frac{100}{96.9}\right) \right) + 0.1 \times \log\left(\frac{102.3}{100}\right) = 1.37mm$$

$$S_{c7} = \frac{2}{1+0.928} \times \left( 0.025 \times \log\left(\frac{118.3}{114.5}\right) \right) = 1.49mm$$

$$S_{c8} = \frac{2}{1+0.928} \times \left( 0.025 \times \log\left(\frac{135.2}{132.1}\right) \right) = 1.07mm$$

$$S_{c9} = \frac{2}{1 + 0.928} \times \left( 0.025 \times \log\left(\frac{152}{149.7}\right) \right) = 0.70 \text{ mm}$$

Le tassement œdométrique final de consolidation est la somme des tassements partiels des tranches :

$$S_{Total} = 59 \text{ mm}$$

**Problème 2 :**

Une salle d'attente dans une gare ferroviaire doit être bâtie sur des semelles continues de 1.50 m, ancrées à 1.50 m par rapport au terrain naturel. Le sol d'assise est de l'argile limoneuse saturée caractérisée par un poids volumique saturée de 21 kN/m<sup>3</sup> et un coefficient de pression des terres au repos de 0.50. Le sondage pressiométrique montre que le terrain est relativement homogène avec une pression limite de 850 Kpa et un module pressiométrique de 8500 kpa

Calculer le tassement total de la fondation sachant que l'ouvrage transmet à la fondation une charge de 300 KN/m<sup>3</sup>

**La solution :**

Le site est homogène des caractéristiques. Le tassement de semelle continue est évalué par la formule suivante :

$$S = \frac{4}{18 \times E_m} \times (q - \sigma_{v0}) \times B_0 \times \left( \lambda_d \times \frac{B}{B_0} \right)^\alpha + \frac{\alpha}{9 \times E_m} \times (q - \sigma_{v0}) \times \lambda_s \times B$$

L'argile limoneuse est caractérisée par un rapport  $E_m / P_1$  égal à 10.

$\alpha = 2/3$  et la coefficients  $\lambda_s = 1.41$ ,  $\lambda_d = 2.19$

$$S = \frac{4}{18 \times 8500} \times (237.5 - 21 \times 1.5) \times 0.6 \times \left( 2.19 \times \frac{1.5}{0.6} \right)^{2/3} + \frac{2/3}{9 \times 8500} \times (237.5 - 11 \times 1.5) \times 1.4 \times 1.5$$

$$S = 14.1 \text{ mm}$$

#### **V.4. Conclusion**

Le calcul de tassement dépend de plusieurs facteurs telle que :

- La charge déposé au fondation
- Les dimensions de la semelle étudié
- Les caractéristique physique et mécanique
- La nature de sol étudié
- les épaisseurs de la couche de sol fini ou infini
- Le nombre des couche « multi couche ou bien une seul couche »



**CHAPITRE VI :**  
**Etude Paramétrique**

## VI.1. Introduction

Le tassement d'un ouvrage est un problème traditionnel d'interaction sol/fondation assez complexe qui dépend d'une multitude de facteurs physiques. Ce phénomène est du soit à l'action de la fondation sur le sol, par le biais des surcharges, soit à celle du sol avoisinant sur la fondation, comme c'est le cas de la proximité d'un nouvel ouvrage. Le calcul usuel Les fondations en génie civil comportent, outre la vérification de la capacité portante du sol sous-jacent, l'estimation des tassements de l'ouvrage. Il s'agit en fait d'un critère à respecter absolument lors du dimensionnement des fondations. Le cumul des constatations à partir des accidents d'ouvrages illustre qu'un bon nombre de sinistres auraient pu être évités si l'analyse des tassements était au préalable sérieusement mené.

## VI.2. Etude paramétrique

### VI.2.1. Analyse dimensionnelle

$F(s, q, B, D, h, H, E_s, E_p)$

À une relation équivalente entre des termes adimensionnels appelés

S : Tassement d'un point de la base de la fon- dation, en général au centre ou au bord.

Q : Pression appliquée à la surface de la fon- dation.

D : Fiche de la fondation dans de sol.

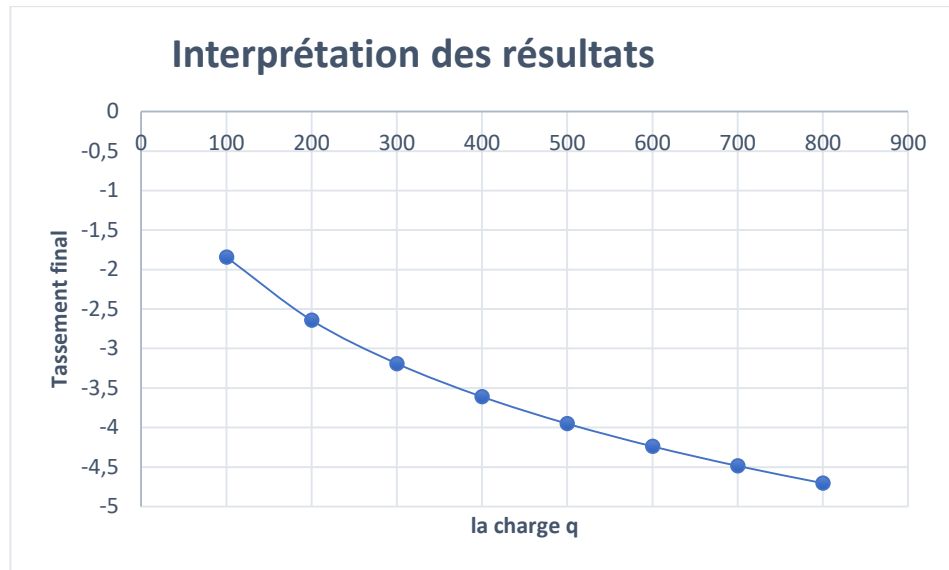
H : Hauteur de la couche du sol supposée

#### VI.2.2.1. Analyse dimensionnelle en Changeant la charge appliquée sur le sol

A chaque fois on augmente la charge 'q' et on calcule le tassement

**Tableau VI. 1:** Variation de tassement en fonction de la charge q

La charge q (KN)	100	200	300	400	500	600	700	800
Tassement final (mm) × 10 <sup>3</sup>	-1.844	-2.643	-3.191	-3.611	-3.952	-4.239	-4.487	-4.705



**Figure VI. 1:** Le tassement final en fonction de la charge q

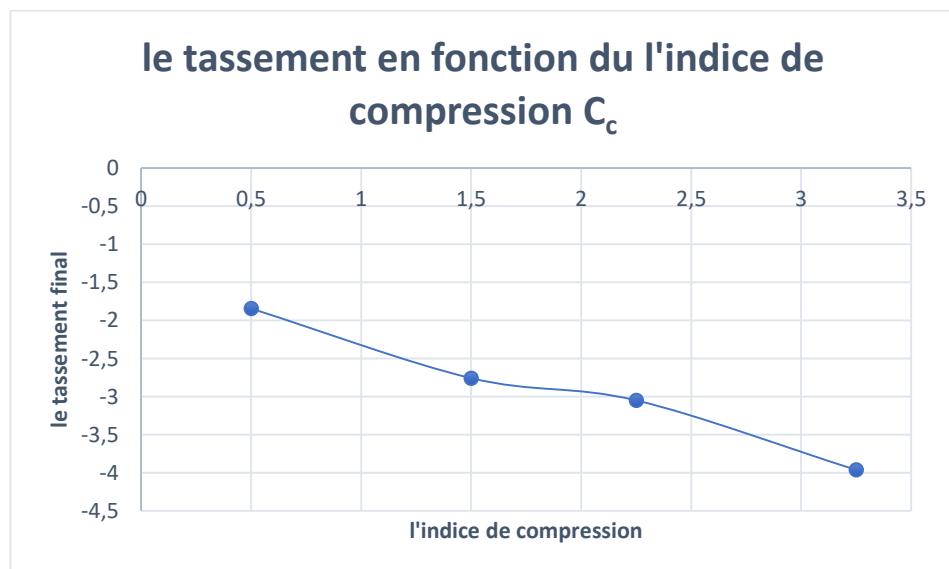
On constate que le tassement final augmente en fonction de la charge appliquée aux fondations.

#### VI.2.2.2. Analyse dimensionnelle en Changeant les caractéristiques de sol

A chaque fois on augmente l'indice de compression  $C_c$  et l'indice de décompression  $C_s$  et on obtient

**Tableau VI. 2:** Les Résultats de calcul de tassement

$C_c$	0.5	1.5	2.25	3.25
$C_s$	0.75	1.75	2	3
Tassement final (mm)	-1.8463	-2.7591	-3.05042	-3.9628



**Figure VI. 2:** Le tassement final en fonction de l'indice de compression  $C_c$

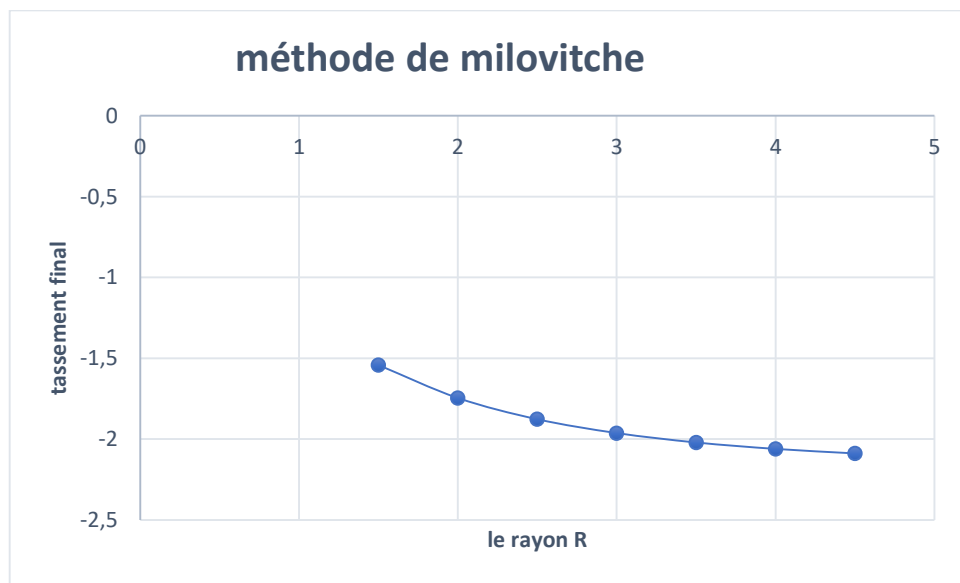
Comparer les tassements nous concluons que chaque fois que  $C_s$  et  $C_c$  diminuent le tassement fait mieux diminue

### VI.2.2.3. Analyse dimensionnelle en Changent le rayon R de la semelle

On augmente la charge 'R'

**Tableau VI. 3:** Les Résultats du tassement après le changement des forces

Rayon (m)	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
Tassement(mm)	-1.5416	-1.74547	-1.8772	-1.9628	-2.0211	-2.0609	-2.0889



**Figure VI. 3:** Le tassement final en fonction de le rayon R

Comparer les tassements nous concluons que chaque fois qu'augmente la rayon R le tassement augmenter

### VI.2.2.4. Analyse dimensionnelle en Changent le Module équivalent $E_m$ de sol

$E_m = 2150$  kpa

$$S_c = \frac{0.66}{9 \times 2150} \times (1842 - 40) \times 1.13 \times 3 = 0.2083614884 \text{ m}$$

$$S_d = \frac{2}{9 \times 2150} (1842 - 40) \times 0.6 \times \left(1.25 \times \frac{3}{0.6}\right)^{\frac{2}{3}} = 0.3791767864 \text{ m}$$

$$S_f = 0.2083614884 + 0.3791767864 = 0.5875382748 \times 10^3 \text{ mm}$$

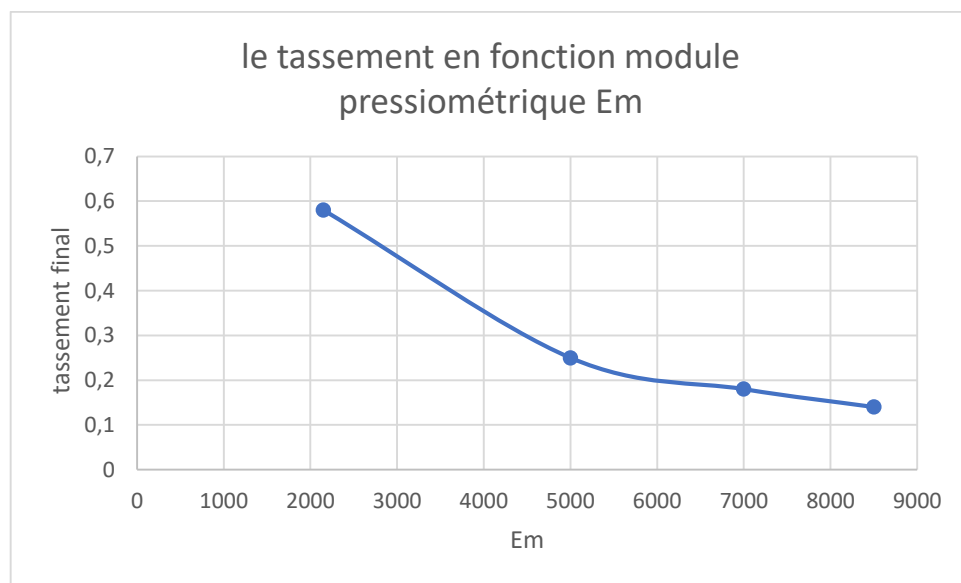
$E_m = 5000$  kpa

$$S_c = \frac{0.66}{9 \times 5000} \times (1842 - 40) \times 1.13 \times 3 = 0.08959544 \text{ m}$$

$$S_d = \frac{2}{9 \times 5000} (1842 - 40) \times 0.6 \left(1.25 \times \frac{3}{0.6}\right)^{\frac{2}{3}} = 0.1630460182 \text{ m}$$

$$S_f = 0.08959544 + 0.1630460182 = 0.2526414582 \times 10^3 \text{ mm}$$

<b>Module pressiométrique</b>	2150	5000	7000	8500
<b><math>E_m</math> (kpa)</b>				
<b>Tassement final S (mm)</b>	0.58753	0.25264	0.18	0.14



**Figure VI. 4:** Le tassement final en fonction de module pressiométrique  $E_m$

Comparer les tassements nous concluons que chaque fois qu'on augmente le module équivalent diminuer le tassement

### VI.3. Conclusion

Nous concluons que le tassement est affecté par des facteurs paramétrique tels que :

- La charge  $q$
- Les caractéristiques de sol  $C_c$  et  $C_s$
- La dimension de la semelle circulaire ( $R$ ) et rectangulaire ( $l$  et  $B$ )
- Le module de pressiométrique  $E_M$

## CONCLUSION GENERALE

Nous avons présenté dans ce mémoire un travail de recherche numérique sur le tassement des fondations superficielles sous différentes charges appliquées axialement sur la surface de la semelle.

La recherche bibliographique nous a permis d'apercevoir la multitude et la variété des fondations (fondations superficielles et profondes). Ou que chacune d'entre elles se distingue par son type et son domaine d'application approprié.

L'élaboration de ce modeste travail nous a donné l'occasion de se plonger dans un domaine très intéressant pour notre spécialité qui est le calcul des fondations superficielles et l'estimation des déformations du sol sous les sollicitations dues à l'infrastructure.

Le présent travail nous a permis de souligner certaines conclusions:

l'établissement d'un programme permet de mieux comprendre le calcul du tassement et par conséquent, mieux maîtriser les paramètres influençant le calcul du tassement

le calcul automatique du tassement nous a permis d'analyser l'effet de certains paramètres sur le calcul du tassement.

la convivialité du programme facilite à l'utilisateur l'introduction des données et l'affichage des résultats.

L'étude paramétrique dévoile que certains paramètres ont une influence importante sur le tassement, par exemple:

le tassement est proportionnel à la charge appliquée la largeur de la semelle;

Le tassement est étroitement lié aux caractéristiques du sol, d'où -La reconnaissance de sol est une phase très importante dans le calcul du tassement, elle doit être faite soigneusement et par des spécialistes.

Nous souhaitons que notre mémoire puisse donner un outil de calcul des tassements aux géotechniciens (laboratoire et bureaux d'études).

Nous recommandons de poursuivre ce modeste travail et le rendre plus général, en introduisant d'autres méthodes de calcul du tassement.

## Références

- [1]. AKABLI Moussa type de fondation 2septemper 2018p site BTP.
- [2]. AMIROUCHE MED EL-ARABI ET BOUGUENOUN OUSSAMA ; MEMOIRE CALCUL DE LA CAPACITE PORTANTE DYNAMIQUE DES FONDATIONS SUPERFICIELLES, juin 2017 ; université 8 Mai1945 de Guelma.
- [3]. Bakour, Azzedine : Ecole de Technologie Supérieure université Québec : *comportement aspects Structuraux et Géotechnique*, mémoire de magistère en Génie de la construction à l'école de Technologie Supérieure, Montréal 2008
- [4]. Bouafia A (2009) *Mécaniques des sols appliqués- problèmes résolus*, 2<sup>em</sup> édition 160 pages, Edition OPU, Alger.
- [5]. BOUAFIA, A,MIR,m. (2010) "*introduction à la mécanique des sols*"
- [6]. BOUAFIA, A. (2018). *conception et calcul des ouvrages géotechniques*. pages bleues.
- [7]. Bru J\_B, baguelien F (1973) *Prévision de tassement au pressionmètre et constatation*, opmte rendue du 8<sup>e</sup> congrès international de mécanique des sols et de traveaux des fondations CIMSFT, moscou,6-11 aout 1973.
- [8]. Giroud, J-P (1973) "*tables de calculdes fondations*", 3 tomes,editions dunod.

# **Annexe**



**Annexe 1 : Tableaux de coefficient  $KH_0$**

**Tableau 1: Coefficient d'influence est évalué par  $Z / H = 0.2$**

	L/B=1	2	3	4	5	10
<b><math>\beta</math></b>						
0.01	0.0066	0.00265	0.00358	0.00358	0.00571	0.00942
0.02	0.00411	0.00559	0.01340	0.01519	0.01964	0.02787
0.03	0.01008	0.01964	0.02707	0.03251	0.03729	0.04432
0.04	0.01765	0.03370	0.04379	0.04963	0.05560	0.06091
0.05	0.02680	0.04751	0.06011	0.06714	0.07245	0.07590
0.06	0.03755	0.06170	0.07710	0.08254	0.8798	0.09023
0.07	0.04883	0.07763	0.09209	0.09700	0.10165	0.10337
0.08	0.06011	0.09143	0.10589	0.10947	0.11452	0.11571
0.09	0.07232	0.10536	0.11783	0.12314	0.12619	0.12739
0.1	0.06453	0.11850	0.13004	0.13495	0.13668	0.13827
0.2	0.17768	0.20024	0.20369	0.20488	0.20568	0.20634
0.3	0.21762	0.22983	0.22983	0.23102	0.23142	0.23182
0.4	0.23540	0.24297	0.24323	0.24363	0.24337	0.24376
0.5	0.24363	0.24801	0.24801	0.24814	0.24841	0.24854
0.6	0.24841	0.25106	0.25053	0.25093	0.25080	0.25093
0.7	0.25093	0.25226	0.25212	0.25199	0.25186	0.25212
0.8	0.25279	0.25265	0.25265	0.25252	0.25252	0.25265
0.9	0.25332	0.25279	0.25265	0.25292	0.25265	0.25279
1	0.25372	0.25265	0.25279	0.25292	0.25252	0.25305
2	0.25173	0.25093	0.25093	0.25080	0.25066	0.25159
3	0.25053	0.25040	0.25040	0.25040	0.25027	0.25053
4	0.25027	0.25000	0.25013	0.25000	0.25027	0.25027
5	0.25013	0.25027	0.25013	0.25013	0.24987	0.25027
6	0.25000	0.24973	0.24973	0.24973	0.24987	0.25013
7	0.24974	0.24987	0.24987	0.24960	0.24947	0.25013
8	0.24987	0.25000	0.24947	0.24973	0.24973	0.25013
9	0.24987	0.24987	0.25000	0.24987	0.24960	0.25013
10	0.25000	0.25013	0.25027	0.25013	0.25013	0.25040

**Tableau 2: Coefficient d'influence est évalué par  $Z / H = 0.4$** 

	L/B=1	2	3	4	5	10
$\beta$						
0.01	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028
0.02	0.0003	0.0019	0.0027	0.0043	0.0059	0.0109
0.03	0.0022	0.0054	0.0078	0.0107	0.0125	0.0200
0.04	0.0046	0.0098	0.0135	0.0173	0.0208	0.0281
0.05	0.0074	0.0148	0.0199	0.0249	0.0288	0.0366
0.06	0.0104	0.0200	0.0276	0.0329	0.0376	0.0450
0.07	0.0144	0.0264	0.0355	0.0417	0.0469	0.0537
0.08	0.0184	0.0331	0.0442	0.0510	0.0553	0.0621
0.09	0.0228	0.0397	0.0530	0.0591	0.0641	0.0695
0.1	0.0275	0.0476	0.0619	0.0682	0.0727	0.0778
0.2	0.0859	0.1207	0.1368	0.1383	0.1392	0.1404
0.3	0.1426	0.1761	0.1858	0.1865	0.1859	0.1869
0.4	0.1869	0.2152	0.2157	0.2155	0.2156	0.2155
0.5	0.2131	0.2318	0.2326	0.2341	0.2341	0.2344
0.6	0.2313	0.2422	0.2425	0.2449	0.2450	0.2453
0.7	0.2434	0.2490	0.2493	0.2513	0.2513	0.2517
0.8	0.2523	0.2525	0.2527	0.2542	0.2542	0.2543
0.9	0.2570	0.2545	0.2543	0.2557	0.2555	0.2557
1	0.2584	0.2550	0.2551	0.2555	0.2557	0.2558
2	0.2520	0.2508	0.2506	0.2504	0.2608	0.2501
3	0.2501	0.2502	0.2500	0.2502	0.2501	0.2501
4	0.2499	0.2511	0.2497	0.2511	0.2499	0.2499
5	0.2500	0.2515	0.2499	0.2515	0.2500	0.2499
6	0.2499	0.2515	0.2499	0.2513	0.2501	0.2499
7	0.2499	0.2516	0.2499	0.2515	0.2500	0.2499
8	0.2502	0.2516	0.2500	0.2516	0.2500	0.2500
9	0.2500	0.2516	0.2500	0.2516	0.2500	0.2500
10	0.2500	0.2515	0.2500	0.2515	0.2500	0.2498

**Tableau 3: Coefficient d'influence est évalué par  $Z / H = 0.6$** 

	L/B=1	2	3	4	5	10
$\beta$						
0.01	0.0000	0.0000	0.0005	0.0009	0.0015	0.0023
0.02	0.0003	0.0007	0.0014	0.0019	0.0030	0.0067
0.03	0.0009	0.0021	0.0037	0.0052	0.0066	0.0125
0.04	0.0020	0.0045	0.0069	0.0090	0.0112	0.0185
0.05	0.0036	0.0075	0.0107	0.0140	0.0164	0.0251
0.06	0.0056	0.0107	0.0147	0.0197	0.0222	0.0313
0.07	0.0076	0.0145	0.0193	0.0249	0.0282	0.0377
0.08	0.0103	0.0181	0.0247	0.0301	0.0345	0.0439
0.09	0.0123	0.0223	0.0304	0.0370	0.0410	0.0501
0.1	0.0147	0.0265	0.0358	0.0432	0.0473	0.0558
0.2	0.0501	0.0612	0.0969	0.1041	0.1082	0.1089
0.3	0.0916	0.1412	0.1483	0.1524	0.1517	0.1527
0.4	0.1347	0.1826	0.1846	0.1855	0.1863	0.1875
0.5	0.1730	0.2096	0.2103	0.2107	0.2096	0.2113
0.6	0.2034	0.2266	0.2261	0.2274	0.2266	0.2274
0.7	0.2250	0.2361	0.2383	0.2390	0.2366	0.2393
0.8	0.2378	0.2433	0.2441	0.2443	0.2443	0.2446
0.9	0.2446	0.2471	0.2475	0.2475	0.2477	0.2478
1	0.2510	0.2497	0.2499	0.2498	0.2498	0.2499
2	0.2464	0.2464	0.2464	0.2464	0.2464	0.2467
3	0.2446	0.2474	0.2473	0.2474	0.2447	0.2474
4	0.2478	0.2493	0.2494	0.2494	0.2478	0.2494
5	0.2514	0.2513	0.2516	0.2514	0.2514	0.2513
6	0.2528	0.2528	0.2528	0.2528	0.2528	0.2526
7	0.2525	0.2528	0.2528	0.2527	0.2527	0.2525
8	0.2516	0.2516	0.2517	0.2516	0.2516	0.2516
9	0.2502	0.2502	0.2502	0.2503	0.2502	0.2502
10	0.2483	0.2483	0.2484	0.2483	0.2483	0.2482

**Tableau 4: Coefficient d'influence est évalué par  $Z / H = 0.8$** 

	L/B=1	2	3	4	5	10
$\beta$						
0.01	0.0000	0.0000	0.0005	0.0007	0.0008	0.0011
0.02	0.0002	0.0006	0.0008	0.0014	0.0019	0.0038
0.03	0.0007	0.0015	0.0020	0.0031	0.0046	0.0082
0.04	0.0015	0.0031	0.0047	0.0060	0.0078	0.0128
0.05	0.0025	0.0047	0.0072	0.0092	0.0115	0.0183
0.06	0.0035	0.0070	0.0102	0.0127	0.0159	0.0247
0.07	0.0049	0.0092	0.0136	0.0170	0.0209	0.0292
0.08	0.0063	0.0122	0.0176	0.0219	0.0257	0.0349
0.09	0.0078	0.0152	0.0214	0.0264	0.0307	0.0397
0.1	0.0097	0.0182	0.0260	0.0319	0.0364	0.0449
0.2	0.0359	0.0610	0.0764	0.0853	0.0889	0.0910
0.3	0.0702	0.0162	0.1234	0.1303	0.1299	0.1299
0.4	0.1086	0.1537	0.1623	0.1640	0.1653	0.1646
0.5	0.1448	0.1862	0.1898	0.1898	0.1697	0.1913
0.6	0.1787	0.2073	0.2092	0.2098	0.2095	0.2104
0.7	0.2031	0.2203	0.2215	0.2224	0.2215	0.2232
0.8	0.2204	0.2300	0.2313	0.2324	0.2313	0.2331
0.9	0.2307	0.2370	0.2378	0.2384	0.2377	0.2388
1	0.2380	0.2410	0.2412	0.2412	0.2412	0.2416
2	0.2429	0.2441	0.2443	0.2444	0.2444	0.2444
3	0.2425	0.2457	0.2456	0.2456	0.2457	0.2457
4	0.2469	0.2479	0.2279	0.2479	0.2477	0.2480
5	0.2488	0.2471	0.2471	0.2472	0.2471	0.2471
6	0.2493	0.2455	0.2455	0.2456	0.2458	0.2455
7	0.2494	0.2450	0.2450	0.2450	0.2451	0.2450
8	0.2488	0.2444	0.2446	0.2447	0.2447	0.2444
9	0.2486	0.2443	0.2443	0.2443	0.2444	0.2444
10	0.2482	0.2442	0.2442	0.2442	0.2444	0.2441

**Tableau 5: Coefficient d'influence est évalué par  $Z / H = 1$**

	L/B=1	2	3	4	5	10
$\beta$						
0.01	0.0001	0.0005	0.0007	0.0008	0.0011	0.0015
0.02	0.0002	0.0004	0.0008	0.0012	0.0016	0.0030
0.03	0.0005	0.0013	0.0016	0.0023	0.0035	0.0059
0.04	0.0014	0.0025	0.0034	0.0043	0.0063	0.0098
0.05	0.0018	0.0036	0.0053	0.0072	0.0092	0.0142
0.06	0.0022	0.0052	0.0078	0.0102	0.0127	0.0190
0.07	0.0031	0.0071	0.0107	0.0136	0.0163	0.0239
0.08	0.0043	0.0091	0.0136	0.0174	0.0200	0.0281
0.09	0.0053	0.0117	0.0166	0.0217	0.0246	0.0330
0.1	0.0065	0.0138	0.0206	0.0251	0.0286	0.0372
0.2	0.0275	0.0476	0.0621	0.0677	0.0713	0.0766
0.3	0.0568	0.0667	0.1028	0.1096	0.1112	0.1113
0.4	0.0873	0.1250	0.1387	0.1391	0.1402	0.1408
0.5	0.1186	0.1581	0.1656	0.1665	0.1662	0.1664
0.6	0.1469	0.1867	0.1871	0.1872	0.1875	0.1879
0.7	0.1703	0.2071	0.2072	0.2071	0.2072	0.2070
0.8	0.1914	0.2210	0.2210	0.2208	0.2206	0.2214
0.9	0.2057	0.2290	0.2292	0.2294	0.2291	0.2290
1	0.2179	0.2356	0.2358	0.2358	0.2356	0.2358
2	0.2393	0.2426	0.2426	0.2425	0.2425	0.2426
3	0.2429	0.2462	0.2462	0.2463	0.2463	0.2462
4	0.2465	0.2484	0.2484	0.2484	0.2484	0.2485
5	0.2499	0.2509	0.2507	0.2507	0.2510	0.2509
6	0.2499	0.2514	0.2512	0.2512	0.2514	0.2514
7	0.2500	0.2516	0.2513	0.2513	0.2515	0.2515
8	0.2498	0.2513	0.2513	0.2512	0.2514	0.2513
9	0.2502	0.2509	0.2510	0.2510	0.2510	0.2510
10	0.2502	0.2504	0.2504	0.2504	0.2504	0.2503