



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE DE GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

### MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Elabed Messouda & Nemer Meriem

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : GENIE CIVIL

Option : Structures

### Thème

**Fondations des Structures en Béton Armé :  
Pathologies et Méthodes de Réhabilitation**

**Nom et Prénom**

**Grade**

**Qualité**

Mr. ZAIDI Ali

Professeur

Président

Mr. LAKHDARI Mod Fateh

M.A.A

Examineur

Mr. MERAH Ahmed

M.C. A

Rapporteur

**Promotion : juin -2021**

## Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous tenons tout d'abord à remercier Dieu pour nous avoir donné la force et la patience pour venir à bout de ce mémoire.

C'est un grand sentiment de satisfaction et de joie qui nous anime, et que nous voudrions légitimement partager avec tous ceux qui nous ont soutenues de près ou de loin par leurs conseils, leurs aides et leurs encouragements.

Nous tenons à manifester nos reconnaissances à notre encadreur **Mr Ahmed Merrah**, pour la confiance qu'il nous a accordée, pour ses conseils qui ont éclairé le déroulement de nos travaux et qui nous ont aidés dans nos périodes de doute. Nos remerciements vont également à messieurs **Mr. ZAIDI Ali, Professeur, à l'université de Laghouat** et **Mr. LAKHDARI Mohamad Fateh, Enseignant**, membres de jury ; de nos avoir fait l'honneur d'examiner et de porter un regard critique sur notre travail.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à réaliser ce modeste travail.

## Dédicace

Je dédie ce travail ma famille, qui m'a doté d'une éducation digne, leur amour a fait de moi que je suis aujourd'hui :

Particulièrement à **mes cher's parents** qui m'ont encouragé d'aller de l'avant et qui m'ont donnée tout leur amour pour reprendre mes études, qui ont toujours l'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et les personnes les plus dignes mon respect (que dieu les garde)

à mes chérés frères : **Djaloule, Mohammed** qui m'ont toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études .je keur souhaite souhaite tout le bonheur et la réussite.

A mes chères sœurs et à ma compagne et amie **Messouda** pour son aide et son soutien moral lors de l'élaboration du travail de fin d'étude.

\_sans oublier tous les tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur qui m'ont dirigé vers la porte de la réussite, je les remercie énormément pour tout ce qu'ils m'appris

\_A mes amis et à toutes les personnes que j'aime pour leurs encouragements durant mes études. Sans oublier mes camarades de classe.

**Meriem Nemer**

## Dédicace

Tout d'abord, louange à « ALLAH » qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes reflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et remerciements à :  
mon ange dans la vie, au sens de l'amour et au sens de la tendresse et de dévotion...

ma **très chère mère** que je ne pourrais cessez de la remercier, qui m'a toujours soutenu et encouragé tout le long de mes études.

A celui qui m'a tout fourni. A qui m'efforce pour mon confort et mon succès, **mon cher père**

A ma chère sœur **khadidja**

A mes frères **Ahmed, Ibrahim, zakaria**

A mon binôme **Meriem**

A toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

**Messouda Elabed**

## **Abstract**

The foundations of reinforced concrete structures are important elements that play the role of connecting the structure of buildings with the ground. the Lack of knowledge of it can cause deformation of the foundations, which can cause damage to all the elements of the structure.

The main objective of this work is to do a review on the main pathologies of the foundations of reinforced concrete structures as well as on repair methods.

The main results of this research show that the disorders observed in the foundations of buildings are caused by:

- Disorders due to ignorance of soil behavior
- Disorders caused by backfill
- Disorders caused by water
- Foundations on unstable ground
- Runtime errors
- Attack on foundations from the surrounding environment

**Keywords:** review, pathologies, foundations, soil, repairs, reinforced concrete

## مُلخَص

تعتبر أساسات الهياكل الخرسانية المسلحة عناصر مهمة تلعب دور ربط هيكل المباني بالأرض. يمكن أن يؤدي عدم المعرفة به إلى ظهور أضرار في الأساسات، مما قد يتسبب في تلف جميع عناصر هيكل البناء.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو إجراء مراجعة للأمراض الرئيسية لأساسات الهياكل الخرسانية المسلحة وكذلك طرق إعادة التأهيل.

تظهر النتائج الرئيسية لهذا البحث أن الاضطرابات التي لوحظت في أساسات المباني سببها:

◀ الإضطرابات الناتجة عن الجهل بسلوك التربة

◀ الإضطرابات الناتجة عن الردم الحديث

◀ الإضطرابات الناتجة عن الماء

◀ أساسات على أرضية غير مستقرة

◀ أخطاء الانجاز

◀ وجود الأساسات على أرضية تحتوي على عناصر مؤثر على الخرسانة

الكلمات المفتاحية: مراجعة، أمراض، أساسات، تربة، إصلاحات، خرسانة مسلحة

## ***Résumé***

Les fondations des structures en béton armé sont des éléments importants qui jouent le rôle de liaison de la structure des bâtiments avec le sol. La méconnaissance de celui-ci peut engendrer la déformation des fondations, ce qui peut causer des dégradations sur l'ensemble des éléments de la structure.

L'objectif principal de ce travail, est de faire une revue sur les principales pathologies des fondations des structures en béton armé ainsi que sur les méthodes de réparations.

Les principaux résultats de cette recherche montrent que les désordres constatés dans les fondations des bâtiments sont causés par :

- Les désordres dus à la méconnaissance du comportement des sols
- Les désordres provoqués par les remblais
- Les désordres provoqués par l'eau
- Les fondations sur terrain instable
- Les erreurs d'exécution
- L'attaque des fondations par le milieu qui les enrobe

**Mots-clés :** revue, pathologies, fondations, sol, réparations, béton armé

# Sommaire

List de figure

Introduction générale..... 14

## **Chapitre I: Différents types de fondations**

I.1 Introduction ..... 4

I.2 Différents types de fondations ..... 4

I.2.1 Fondations superficielles..... 4

I.2.1.1 Définition..... 4

I.2.1.2 Types de fondations superficielles..... 5

I.2.1.2.1 Semelles isolées ..... 5

I.2.1.2.2 Semelles continues (filantes)..... 5

I.2.1.2.3 Radiers généraux..... 6

I.2.1.3 Caractéristiques ..... 6

I.2.1.4 Utilisation ..... 6

I.2.2 Fondation profondes et semi profondes ..... 6

I.2.2.1 Définitions ..... 6

I.2.2.2 Classification des pieux ..... 8

I.2.2.3 Micropieux ..... 15

I.2.2.3.1 Type des micropieux dépend de l'injection..... 16

I.2.2.4 Caractéristiques ..... 15

I.2.2.5 Utilisation ..... 16

I.3 Conclusion..... 16

## **Chapitre II: Pathologies des Fondations**

II.1 Introduction..... 18

II.2 Pathologies des fondations superficielles ..... 18

II.2.1 Etude de sol inadéquate..... 18

II.2.2 Mauvaise interprétation de l'étude de sol ..... 19

II.2.3 Présence de singularités dans les couches du sol ..... 19

II.2.4 Ouverture de tranchées a proximité construction existante ..... 20

II.2.5 Les tranchées ou terrassements a proximité d'une maison..... 20

II.2.6 Comportement des sols en profondeur..... 20

II.2.6.1 Tassements différentiels ..... 21

II.2.6.2 Risque de déséquilibre lorsque le terrain de construction est en pente ..... 22

II.2.6.3. Sous-sol partiel est-il un facteur aggravant des tassements différentiels..... 23

II.2.6.4 Tassement causé par un sous-sol faible ou non homogène ..... 23

II.2.6.5 L'interaction sol-structure..... 23

II.2.2 Désordres provoqués par les remblais ..... 24

Ii.2.2.1 Fondations sur remblai ..... 24

II.2.2.1.1 Remblais récents .....	26
II.2.2.1.2 Remblais d'épaisseur variable .....	27
II.2.2.1.3 Remblais n'existant que sous une partie de la construction .....	28
II.2.2.1.4 Fondations partielles sur remblai (fondation hétérogène) .....	28
II.2.2.2 Apports de remblais sur des terrains compressibles ou instables. ....	28
II.2.2.2.1 Remblais responsables de tassements .....	29
II.2.2.3 Désordres provoqués par l'eau .....	29
II.2.2.3.1 Affouillements .....	30
II.2.2.3.2 Les dégâts dus au gel .....	31
II.2.2.3.3 Causes liées aux variations climatiques .....	31
II.2.2.4 Raccordements défectueux ou inexistant des descentes des eaux pluviales....	34
II.2.2.5 Modification des caractéristiques de résistance du sol .....	34
II.2.2.5.1 Diminution de la force portante des terrains .....	35
II.2.2.5.1.1 Eaux de ruissellement .....	34
II.2.2.6 Causes liées aux travaux de reprise en sous-œuvre .....	36
II.2.2.7 L'attaque des fondations par le milieu qui les enrobe .....	36
II.2.2.8 Erreurs d'exécution .....	37
II.2.3 Pathologie des fondations profondes .....	38
II.2.3.1 Défaut de résistance structurale de la fondation .....	38
II.2.3.2 Erreurs de dimensionnement, d'implantation ou d'exécution .....	38
II.2.3.3 Défauts d'exécution en matière de fondations profondes .....	39
II.2.3.5.1 Incidents Dus Au Bétonnage Sous L'eau .....	40
II.2.3.6 Effets Indirects Du Tassement Provoqués Par Les Remblais .....	40
II.2.3.6.1 Frottement Négatif .....	41
II.2.3.6.2 Description Du Phénomène .....	41
II.2.3.7 Remblais Responsables De Glissements .....	41
II.2.3.8 L'influence des déplacements de sol provoqués par les remblais sur les fondations profondes .....	42
II.2.3.8.1 Poussées Obliques .....	43
II.3 Conclusion .....	<b>44</b>

### **Chapitre III: Techniques de reparations des fondations**

III.1 Introduction .....	<b>46</b>
III.2 Demarches d'analyse des desordres des fondations .....	<b>46</b>
III.2.1 Causes des pathologies des fondations .....	46
III.2.2 D'autres causes .....	48
III.2.3 Types de fissures des fondations .....	49
III.3 Diagnostic .....	<b>49</b>
III.3.1 Méthodologie de diagnostic .....	49
III.4 Reparation Des Fondations .....	<b>50</b>
III.4.1 Différentes techniques pour la réparation de fissures sur une fondation .....	50
III.4.1.1 Injection d'époxy .....	50
III.4.1.2 Injection de polyuréthane .....	51

III.4.1.3 Injection de béton a basse pression.....	51
III.4.1.4 Injections sous fondations.....	51
III.4.2 Reprises-en sous-œuvre.....	52
III.4.2.1 Etudes a réaliser avant la reprise en sous-œuvre .....	52
III.4.2.1.1 Sol.....	53
III.4.2.1.2 Structures .....	53
III.4.2.1.3 Fondations .....	54
III.4.2.1.4 Paramètres environnementaux.....	54
III.4.2.2 Techniques de reprise en sous-œuvre .....	53
III.4.2.2.1 Reprises-en sous-œuvre par augmentation de la surface d'appui.....	55
III.4.2.2.2 Reprises-en sous-œuvre sur semelles filantes .....	55
III.4.2.2.3 Reprises-en sous-œuvre sur semelles isolées .....	55
III.4.2.2.4 Reprises-en sous-œuvre par report des charges en profondeur.....	55
III.4.2.2.5 Reprises-en sous-œuvre au niveau inférieur de la fondation .....	55
III.4.2.2.6 Reprises-en sous-œuvre par puits alternés.....	55
III.4.2.2.7 Reprises-en sous-œuvre par micropieux.....	57
III.4.2.2.8 Reprises-en sous-œuvre par pieux .....	58
III.4.2.2.9 Reprises-en sous-œuvre au niveau de la fondation.....	58
III.4.2.3 Transmettre par des micro-pieux les charges jusqu'au bon sol .....	60
III.4.2.4 Rigidifier la structure .....	59
III.4.3 Exemple .....	60
<b>III.5 Conclusion.....</b>	<b>66</b>

### **Conclusion generale et recommandations**

Conclusion generale .....	<b>68</b>
Recommandations .....	<b>70</b>

*References Bibliographiques*

## **List de figure**

Figure I.1 : Différents types de fondation. [2].....	4
Figure I.2: Semelle isolée[4] .....	5
Figure I.3 : Semelle filante[4] .....	5
Figure I.4: Radier général [4] .....	6
Figure I.5 : Les puits [7] .....	7
Figure I.6 : Les pieux [7] .....	8
Figure I.7: Pieux battus préfabriqués [10] .....	9
Figure I.8: Profils métalliques battus [9].....	9
Figure I.9: Pieux battus pilonnés [11] .....	10
Figure I.10 : Pieux battus moulés [11] .....	11
Figure I.11: Mise en place de pieu tube par vibro-fonçage[9] .....	11
Figure I.12: Pieu vissé de type omega à deux pas de vis ou un seul[9] . .....	12
Figure I.13: Méthode de réalisation des colonnes ballastées. [9].....	13
Figure I.14: Méthode de réalisation des pieux forés sous boue, vue d'un trepan et d'une tarière à godets.[9] .....	13
Figure I.15: Pieux forés tubes [11]. .....	14
Figure I.16: Micropieux [11].....	16
Figure II. 1 : Construction fondée sur des points durs [13]. .....	19
Figure II.2 : Excavation à proximité d'une construction existante [13] .....	20
Figure II.3 : Impact d'une tranchée à proximité d'une fondation [14] .....	20
Figure II.4 : Répartition des pressions verticales dans le sol sous une semelle carrée en fonction de la pression de contact $q$ . [16] .....	20
Figure II.5: Répartition des pressions verticales dans le sol sous deux semelles carrées inégalement chargées exerçant la même pression de contact $q = 0.2 \text{ mpa}$ . [16] .....	20
Figure II.6 : Fondation sur un terrain en pente [17] .....	21
Figure II.7 : Fondation dans un sol granuleux ou un sol argileux [17] .....	22

Figure II .8: La «maison basculante» a torun, pologne - un exemple de reglement non-uniforme [18].....	24
Figure II. 9 : Fissures dans un mur de maçonnerie : en haut - un croquis des fissures causees par le tassement de la fondation reposant sur une couche epaisse de sous-sol faible (1 - sol faible, 2 - sol de bons parametres) ; bas - photographies de fissures causees par le tassement du batiment sur un sous-sol faible deformable [18]. .....	24
Figure II .10 : Effets d'un tassement differentiel sur un mur en maçonnerie [16].....	25
Figure II.11 : Fissures dans les murs du pavillon [16]. .....	26
Figure II.12 : Fissures a la jonction du garage et du mur de cloture [16]. .....	26
Figure II.13 : Fissures dans le mur de cloture [16].....	27
Figure II.14 : Construction fondee sur une couche de remblai d'epaisseur variable [13]. ..	27
Figure II.15 : Une partie de la construction est fondee sur un remblai [13].....	28
Figure II.16: Des sondages, pourtant effectues, n'avaient pas permis de deceler la presence d'un ancien chemin remblaye [16].....	29
Figure II.17 : Tassement de l'angle de batiment [16]. .....	29
Figures II .18 et 19 : Desordres provoques par l'apport de remblais sur un sol tres compressible [13]. .....	30
Figure II.20 : Fissures dues au tassement apres degel [16]. .....	31
Figure II.21: Dispositions constructives incorrectes pour les conduites de descente.....	32
Figure II.22 : Degradations dues au gonflement du sol [20]. .....	33
Figure II.23 : Tassement differentiel du terrain au-dessous de la fondation d'un mur (oued zem) [20].....	34
Figure II.24 Tassement differentiel du terrain sous les fondations d'une station de pompage (sp13, garb) [20]. .....	34
Figure II.25: Dans un sol peu permeable, l'eau s'accumule dans le remblai des fouilles si celui-ci est permeable [16]. .....	36
Figure II.26 : Tassement differentiel provoque par des eaux de ruissellement non drainees Sur Un Sol Argileux [16]. .....	36
Figure II.27 : Incidence entre fondations voisines [14].....	37
Figure II.28 : A) Cas d'un pieu flottant. si un remblai surcharge le terrain compressible b) effet de point predominant. c) pieu chemise [16].....	42
Figure II. 29 Glissement provoque par un apport de remblai sur un terrain mou horizontal .....	43

Figure II. 30 Glissement provoqué par un apport de remblai sur un sol argileux humide en pente [13].....	43
Figure II.32 : Principe des poussées obliques sur les pieux [16].....	44
Figure II.33 : Le remblai peut créer des flexions sur les pieux inclinés plus que ceux-ci sont en général très comprimés [16]. .....	44
Figure III.1 : Principe de reprise en sous-œuvre [28] .....	54
Figure III.2 : Reprises-en sous-œuvre par plots discontinus (puits et poutres) [15] .....	57
Figure III.3: Reprises-en sous-œuvre par micropieux [2] .....	57
Figure III.4: Augmentation de la surface de la semelle avec surepaisseur [30].....	58
Figure III.5: Augmentation de la surface de la semelle sans surepaisseur [30]. .....	59
Figure III.6: Pas d'augmentation de la surface de la semelle [30]. .....	59
Figure III.7: Renforcement de fondation à un niveau inférieur au niveau d'origine [30]..	60
Figure III.8 : Bâtiment (r + 3).....	61
Figure III.9 : Fissures dans les murs extérieurs et intérieurs .....	62
Figure III.10 : Le sol des fondations est complètement saturé .....	62
Figure III.11: Colonnes primaires rouillées et fissures importantes dans la fondation .....	63
Figure III.12: Coulee de fondation sans coffrage [26]. .....	63
Figure III.13: Nouvelles conduites d'égout pour évacuer les eaux usées .....	64
Figure III.14: Renforcement de la fondation avec augmentation de l'épaisseur de la fondation sans augmentation de la surface [26]. .....	65
Figure III.15 : Fondation de renforcement avec augmentation de la surface et augmentation de l'épaisseur de la fondation [26]. .....	65
Figure III.16 : Renforcement des fondations et des amorces poteaux [26]. .....	66
Figure III.17: Colonnes de fondation et d'amorce après réparation [26] .....	67
Figure III.18 : Bâtiment après réparation [26].....	67

# *Introduction Générale*

## Introduction générale

Les fondations des structures en béton armé sont des éléments importants qui jouent le rôle de liaison de la structure des bâtiments avec le sol. La méconnaissance de celui-ci peut engendrer la déformation des fondations, Ce qui peut causer des dégradations sur l'ensemble des éléments la structure.

Les fondations sont la partie basse de la structure, car elles transférer la charge au sol. Leur rôle est de recevoir l'ensemble des charges extérieures, horizontales, verticales ou inclinées, qu'elles soient permanentes ou variables (poids propre des éléments de la structure, mobilier, matériel et personnes, vents, séismes et pousser le sol) transférer au sol approprié. De choix des types de fondation dépendra de la capacité portante du sol de la structure à établir, des efforts en jeu et des tassements autorisés.

Les types de fondations sont divisés en deux catégories: les fondations superficielles et les fondations profondes. Si les efforts sont reportés à la surface du sol, les fondations seront dites superficielles; et si les efforts sont reportés en profondeur, il s'agira de fondations profondes. Chaque pied doit supporter la charge concentrée de la colonne et la répartir sur une grande surface afin que le poids réel du sol ne dépasse pas la capacité portante du sol. Les fondations sont des éléments très importants de la construction, Lorsque la fondation ne parvient pas à supporter et à résister aux forces de charge et que la pression du sol dépasse la limite, une défaillance éventuelle de la fondation est inévitable.

Les pathologies dues à des problèmes de fondation entraînent des frais importants, ils sont très variés et d'origines diverses, elles sont causés par une mauvaise identification des conditions du sous sol.

La perte de la capacité portante des fondations d'un bâtiment est l'une des pathologies les plus dangereuses car elles peuvent provoquer la ruine totale des bâtiments. Ce problème concerne tous les acteurs dans l'acte de construire, tels que les ingénieurs, les concepteurs, les entreprises de réalisation.

Des mesures correctives aideront à résoudre le problème et à augmenter les performances de la structure.

L'objectif de notre modeste travail est de dresser un état des lieux des différentes pathologies auxquelles la fondation est exposée, d'expliquer les raisons qui ont conduit à l'émergence de ces pathologies, et de proposer des adéquates.

Notre mémoire est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre consiste en une recherche théorique et en un recueil des informations sur les types, les usages et les caractéristiques des fondations.
- Le deuxième chapitre cherche à recueillir des informations sur les principales pathologies des fondations en béton armé.
- Le dernier chapitre est consacré à la description des méthodes et techniques de réparation des fondations en fonction des causes des dégradations.

Enfin, nous terminons notre mémoire par une conclusion générale et des recommandations.

# **Chapitre I:**

## **Différents types de fondations**

## 1.1 Introduction

Les fondations sont les éléments de la structure assurant l'acheminement ou le transfert des efforts résultant des actions appliquées sur la construction au sol d'assise. 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. Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents types de fondations, leur emploi et domaine d'utilisation.

## 1.2 Différents types de fondations

Les types de fondations sont divisés en trois catégories: les fondations superficielles et les fondations profondes et semi profondes (Figure. I.1). Chaque semelle doit reprendre la charge concentrée de la colonne et la répartir sur une grande surface de sorte que le poids réel du sol ne dépasse pas la capacité portante du sol (Dutra, 2004) [1].

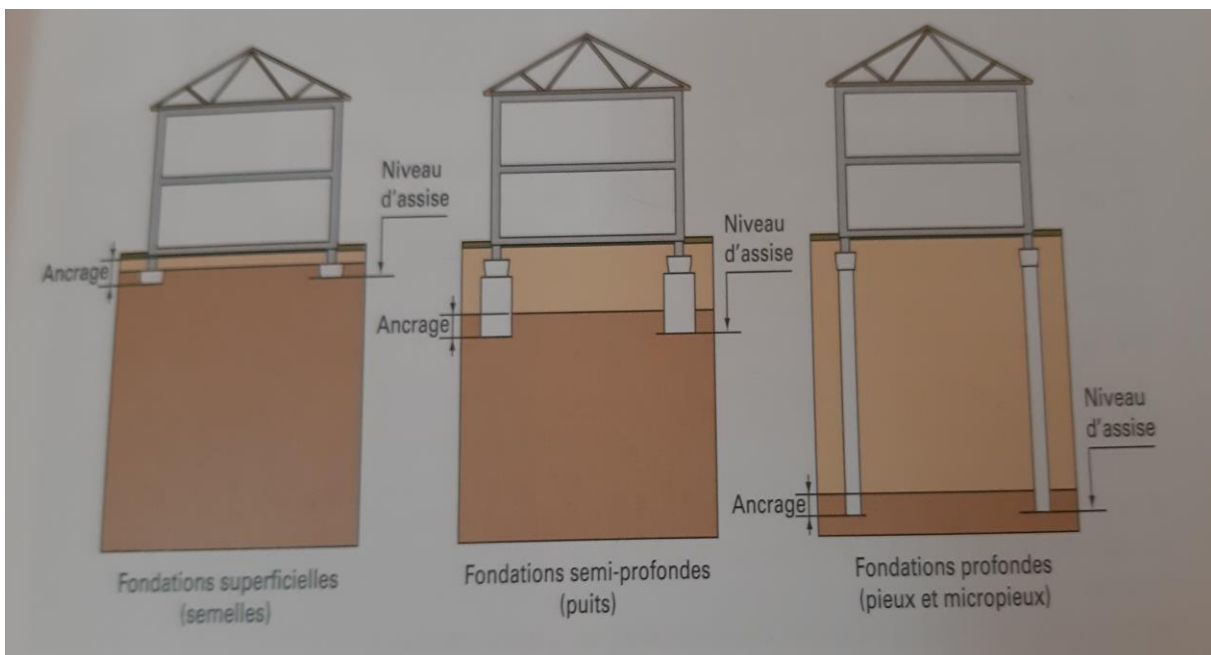


Figure I.1: Différents types de fondation. [2]

### 1.2.1 Fondations superficielles

#### 1.2.1.1 Définition

On appelle « fondations superficielles » toutes les fondations si le rapport encastrement/largeur de la base  $D/B \leq 4$  à  $5$  [3].

### I.2.1.2 Types de fondations superficielles

#### I.2.1.2.1 Semelles isolées

Les semelles isolées ont des sections carrées, rectangulaire ou circulaire et supportant des charges ponctuelles (Figure I.2) [3], elles doivent respecter les règles suivantes:

- Semelle circulaire  $B = 2R$
- Semelle carrée  $B = L$
- Semelle rectangulaire  $B < L < 5R$

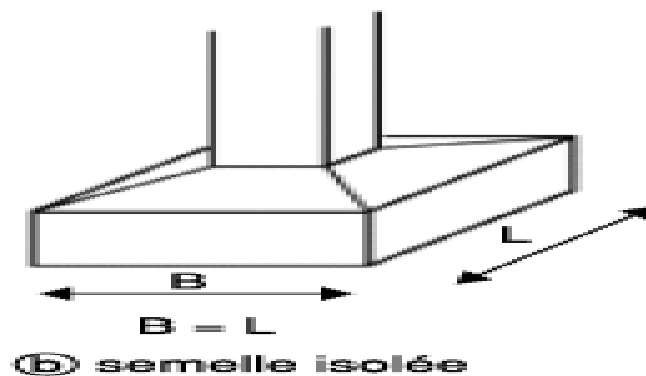


Figure I.2: Semelle isolée [4]

#### I.2.1.2.2 Semelles continues (filantes)

Qui sont des fondations de très grande longueur par rapport à leur largeur et supportant mur paroi. Dans la pratique, on peut considérer qu'une semelle rectangulaire est une semelle filante (Figure I.3) dès que le rapport  $L/B$  atteint ou ne dépasse la valeur 10 à la rigueur 5

$L$  étant la longueur de la semelle et  $B$ , sa largeur [3].

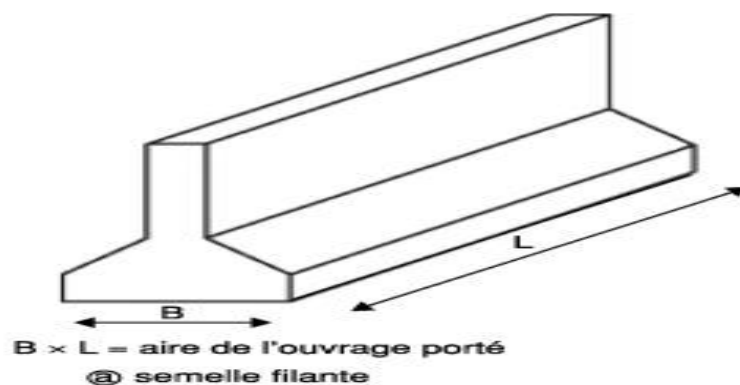


Figure I.3: Semelle filante [4]

### I.2.1.2.3 Radiers généraux

Les radiers (Figure I.4) qui sont de grandes dimensions occupant la totalité de la surface de la structure telle que l'épaisseur  $H$  est comprise entre 0.40 et 0.80. Ils s'imposent:

- Si la résistance du sol est faible
- Si les ouvrages transmettent des charges importantes conduisant à des Semelles dont la surface est voisine de la moitié de celle de la construction [3].

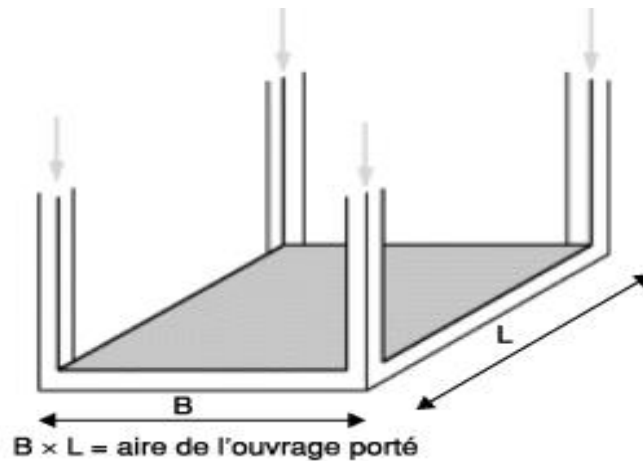


Figure I.4: Radier général [4]

### I.2.1.3 Caractéristiques

Ces types de fondations sont de faible profondeur et sont utilisés pour les constructions légères. 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 [5].

### I.2.1.4 Utilisation

On utilise ce type de fondation lorsque les couches de terrain capables de supporter l'ouvrage sont à faible profondeur. De ce fait, celle-ci est recommandée sur des sols de bonne stabilité, à savoir des sols qui ne nécessitent pas de renforts particuliers au niveau des fondations [5].

## I.2.2 Fondation profondes et semi profondes

### I.2.2.1 Définitions

Les fondations « profondes et semi profondes » sont celles qui permettent de reporter les charges. Lorsque les charges apportées par un ouvrage sont élevées et que les couches

superficielles sont très compressibles (vase, tourbes, argiles moles etc.) on envisage des fondations profondes (pieux) ou semi profondes (puits) afin d'atteindre des couches résistantes en profondeur. **Une fondation est dite profonde lorsque le rapport  $D/B \geq 10$  et semi-profondes si  $4 \leq D/B < 10$**  [3].

- **Puits:** Ce sont les intermédiaires entre les fondations profondes et les fondations superficielles. Ils sont donc classés parmi les fondations semi-profondes (Figure I.5). Autrefois exécutés manuellement, de nos jours, ils sont exécutés par des tractopelles à une profondeur maximale de 5 m. Coulés sur place, ils sont généralement dépourvus d'armatures et sont disposés à une profondeur relativement faible. Le frottement latéral est généralement négligé et on ne considère que le terme de pointe [6].

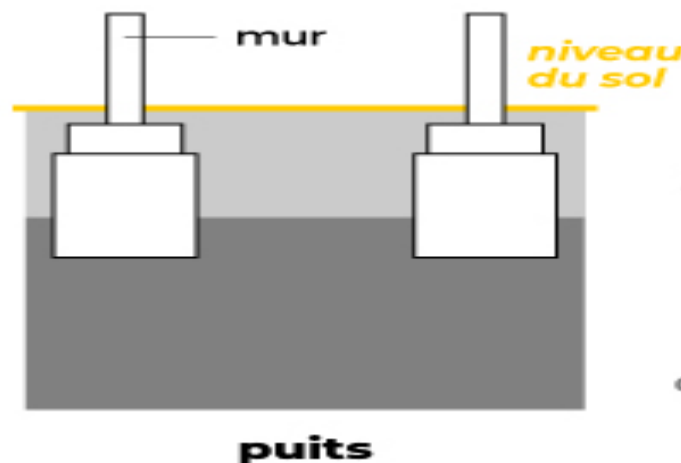


Figure I.5 : Les puits [7]

- **Pieux:** Les pieux font partis des fondations profondes sur lesquelles un bâtiment s'appuie. Il est indispensable d'utiliser ce type de fondation lorsque le sol sur lequel on bâtit un ouvrage n'est pas suffisamment solide et homogène. Les pieux (Figure I.6) auront alors pour fonction de transmettre les charges de l'ouvrage à une couche de sol plus dure qui se trouve plus en profondeur. On peut aussi l'utiliser, pour le renforcement d'une fondation existante. Par ailleurs, les pieux supportent toute la structure de l'ouvrage. Ainsi, il peut être en bois, en béton ou en acier [8].

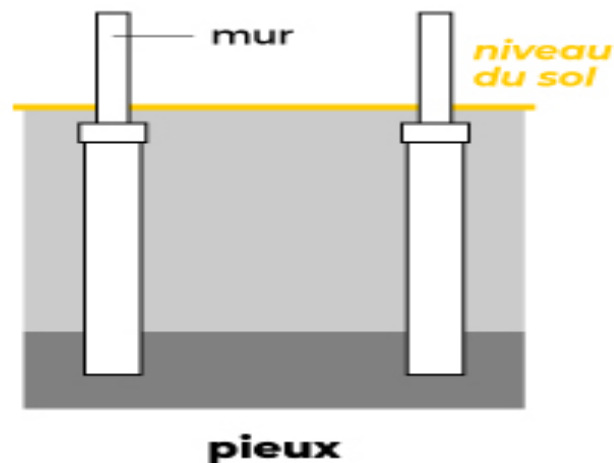


Figure I.6: Les pieux [7]

### I.2.2.2 Classification des pieux

On distingue deux grandes classes des pieux selon le mode d'exécution et le mode de Fonctionnement .

#### a- Pieux refoulant le sol à la mise en place

Une large collection de pieux est mise en place par fonçage, battage et/ou vibrofonçage et éventuellement par lançage [9] .

#### + Pieux en bois

Ce sont des pieux préfabriqués mis en place par battage (associé quelquefois au lançage). Ils travaillent généralement par effort de pointe et frottement latéral moins souvent à l'arrachement, à la flexion ou comme pieux de resserrement. Ils sont à l'heure actuelle très peu utilisée [9] .

#### + Pieux battus préfabriqués

Ces pieux, préfabriqués en béton armé ou précontraint, sont fichés dans le sol par battage ou vibro-fonçage [9] .

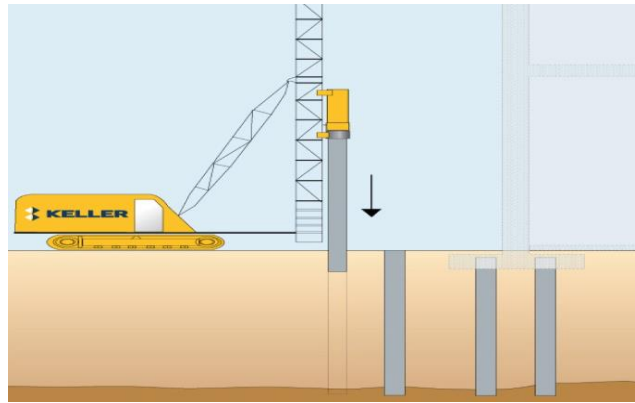


Figure I.7: Pieux battus préfabriqués [10]

### + Pieux métalliques battus

Ces pieux, entièrement métalliques, constitués d'acier E 24.2 ou similaire avec addition éventuelle de cuivre (0,2 à 0,5%), sont fichés dans le sol par battage. Leurs sections sont:

- en forme de H
- en forme d'anneau (tube)
- en forme quelconque, obtenue par soudage de palplanche par exemple

Ils ne sont classés dans cette catégorie que si leur base est obturée, sinon ils font partie des pieux particuliers [9].

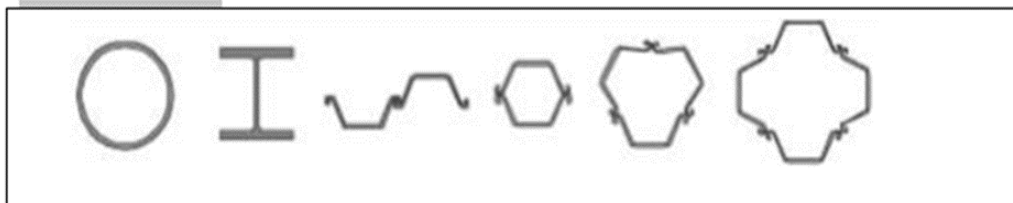


Figure I.8: Profils métallique battus [9]

### + Pieux en béton foncés

Ces pieux sont constitués d'éléments cylindriques en béton armé, préfabriqués ou coffrés à l'avancement, de 0,50 m à 2,50 m de longueur et de 30 à 60 cm de diamètre. Les éléments sont foncés dans le sol à l'aide d'un vérin qui prend appui sous un massif de réaction [9].

### + Pieux métalliques foncés

Ces pieux, entièrement métalliques, sont constitués d'acier E 24.2 ou similaire avec addition éventuelle de cuivre (0,2 à 0,5%). Ils sont foncés dans le sol à l'aide d'un vérin qui prend appui sous un massif de réaction [9] .

### + Pieux battus pilonnés

Un tube, muni à sa base d'un bouchon de béton ferme, est enfoncé par battage sur le bouchon. En phase finale, le béton ferme est introduit dans le tube par petites quantités, successivement pitonnés à l'aide du mouton de battage au fur et mesure de l'extraction du tube. Suivant les cas, les pieux peuvent être armés [9] .

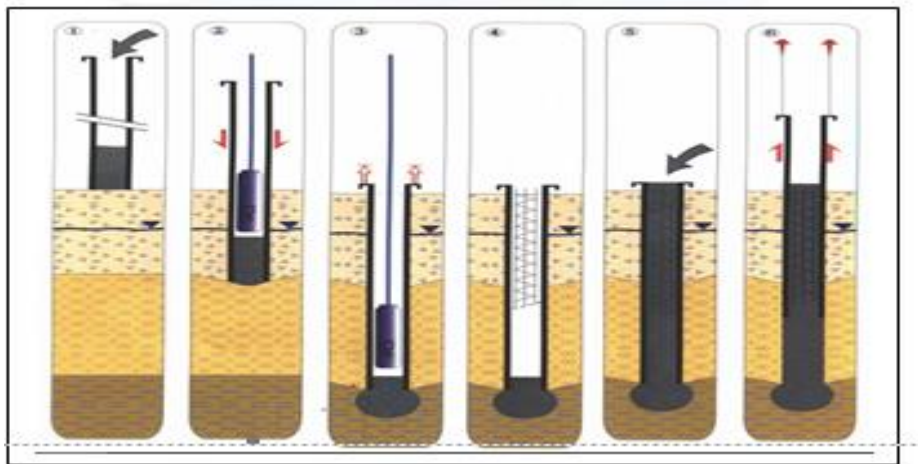


Figure I.9: Pieux battus pilonnés [11]

### + Pieux battus moulés

Un tube, muni à sa base d'une pointe métallique ou en béton armé, ou d'une plaque métallique raidie ou d'un bouchon de béton, est enfoncé par battage sur un casque placé en tête du tube ou par battage sur le bouchon de béton. Le tube est ensuite rempli totalement de béton d'ouvrabilité moyenne, avant son extraction. Le cas échéant, ces pieux peuvent être armés.[9]

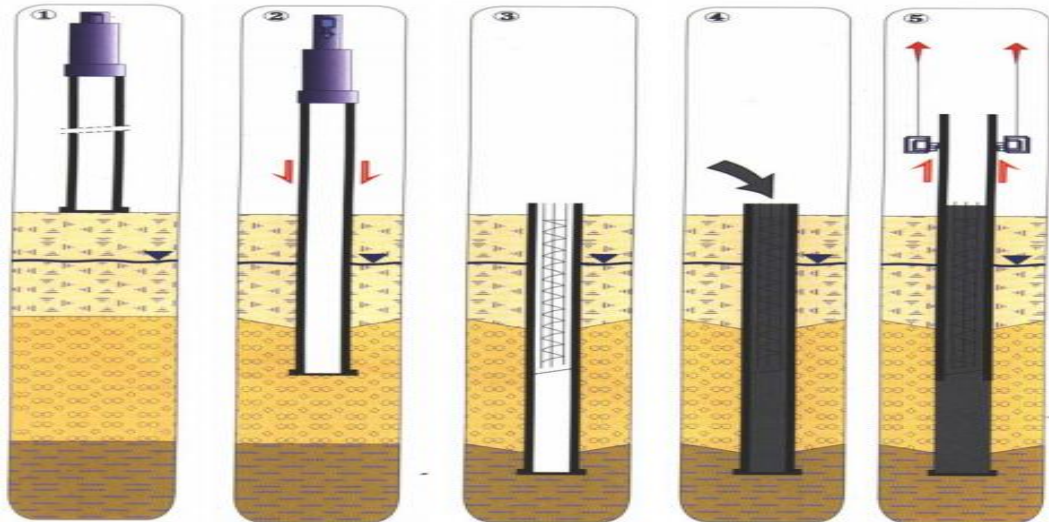


Figure I.10 : Pieux battus moulés [11]

### ✚ Pieux battus enrobés

Ce pieu, à âme métallique (acier E 24.2 ou similaire), est constitué :

- de tubes d'acier de 150 à 500 mm de diamètre extérieur
- de profilés H
- de caissons formés de profilés ou de palplanches à 2, 3 ou 4 éléments. La pointe du pieu comporte un sabot débordant qui assure un enrobage du métal du fût du pieu de 4 cm au minimum, Au fur et à mesure du battage, un mortier est envoyé par un ou plusieurs tubes débouchant au voisinage du sabot, afin de constituer l'enrobage en remplissant le vide annulaire laissé par le débord de celui-ci [9] .

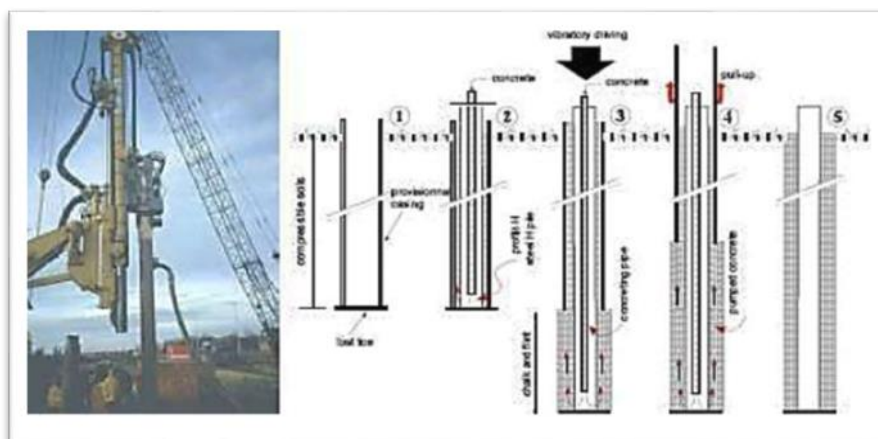


Figure I.11: Mise en place de pieu tube par vibro-fonçage [9] .

### + Pieux tubulaires précontraints

Ce pieu est constitué d'éléments tubulaires en béton légèrement armé assemblés par précontrainte, antérieurement au battage. Les éléments ont généralement 1,5 à 3 m de longueur et 0,70 à 0,90 m de diamètre intérieur. Leur épaisseur est voisine de 0,15 m. Des passages longitudinaux de 2 à 4 cm de diamètre sont ménagés pour permettre l'enfilage des câbles de précontrainte. La mise en œuvre est normalement faite par battage avec base ouverte. Le lançage et le havage (benne, émulseur) peuvent être utilisés pour la traversée des terrains supérieurs. Ils sont interdits sur la hauteur de la fiche [9].

### + Pieux vissés moulés

Ce procédé, qui ne s'applique pas aux sols sableux sans cohésion situés sous la nappe, en raison des éboulements importants qu'il risquerait de provoquer, consiste à faire pénétrer dans le sol, par rotation et fonçage, un outil en forme de double vis surmonté d'une colonne cannelée. Cet outil est percé dans l'axe de la colonne cannelée et muni d'un bouchon. Au sommet de la colonne est disposé un récipient rempli de béton.

L'extraction de l'outil est obtenue en tournant dans le sens inverse de celui de la pénétration. Le béton prend en continu, sous l'effet de la gravité, la place laissée par l'outil (figures I.12) [9].



Figure I.12: Pieu vissé de type oméga à deux pas de vis ou un seul [9].

### + Colonnes ballastées

Les colonnes ballastées sont constituées par des fûts de matériaux d'apport granulaires, sans cohésion et sans liant mis en place par refoulement dans le sol et compactés dans le sol par pilonnage ou à l'aide d'un vibreur radial placé à la pointe d'un tube qui lui sert de support et par l'action du lançage (eau ou air). Le matériau d'apport ( $d_s > 0,1\text{mm}$  ;  $d_{30} > 40\text{ mm}$  ;  $d_{100} < 150\text{ mm}$ ) doit descendre jusqu'à la pointe du vibreur soit par le forage lui-même, soit

par l'espace annulaire maintenu entre le vibreur et le sol environnant, soit par tube latéral associé au vibreur, (figure I.13) [9].

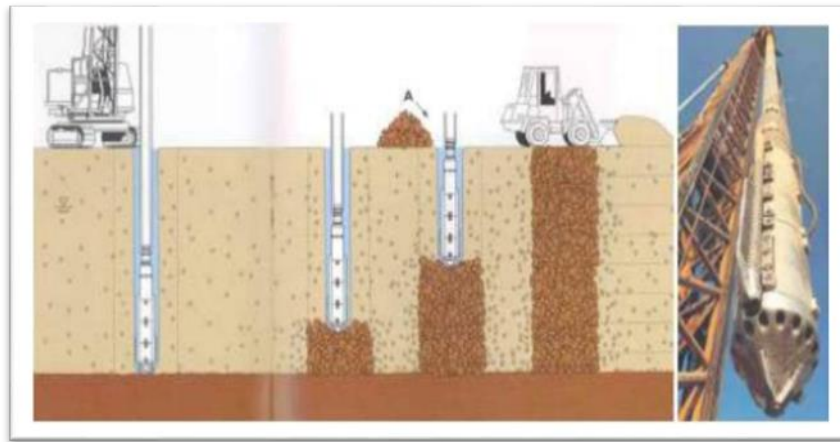


Figure I.13: Méthode de réalisation des colonnes ballastées. [9]

#### b- Pieux ne refoulant pas le sol à la mise en place

##### + Pieux forés simples

Mis en œuvre à partir d'un forage exécuté dans le sol par des moyens mécaniques tels que tarière, benne, etc. Ce procédé, qui n'utilise pas de soutènement de parois, ne s'applique que dans des sols suffisamment cohérents et situés au-dessus des nappes phréatiques [9].

##### + Pieux forés avec boue et barrettes

Mis en œuvre à partir d'un forage exécuté dans le sol par des moyens mécaniques tels que tarière, benne, etc., sous protection d'une boue de forage benthonique ou avec polymères. Le forage est rempli de béton de grande ouvrabilité sous la boue, en utilisant une colonne de bétonnage [9].

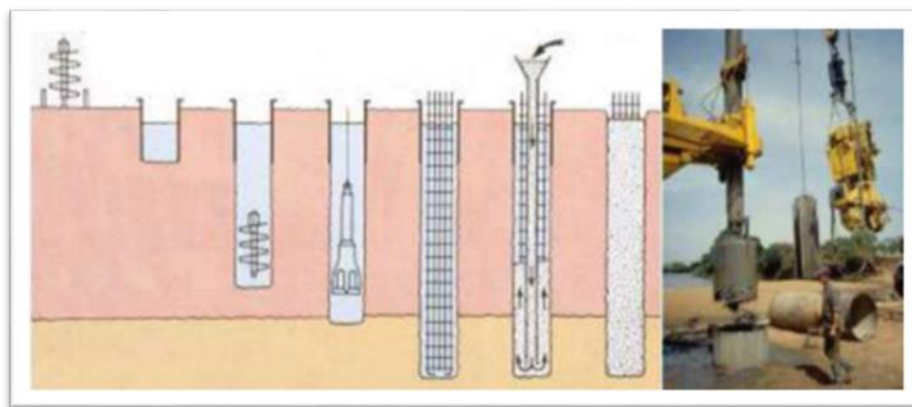


Figure I.14: Méthode de réalisation des pieux forés sous boue, vue d'un trépan et d'une tarière à godets. [9]

### ✚ Pieux forés tubés

Mis en œuvre à partir d'un forage exécuté dans le sol par des moyens mécaniques tels que tarière, benne, etc., sous protection d'un tubage dont la base est toujours située au-dessous du fond de forage. Le tubage peut être enfoncé jusqu'à la profondeur finale par vibration ou foncé avec louvoisement au fur et à mesure de l'avancement du forage. Le forage est rempli partiellement ou totalement d'un béton de grande ouvrabilité, puis le tubage est extrait sans que le pied du tubage puisse se trouver à moins de 1 m sous le niveau du béton, sauf au niveau de la cote d'arase [9].

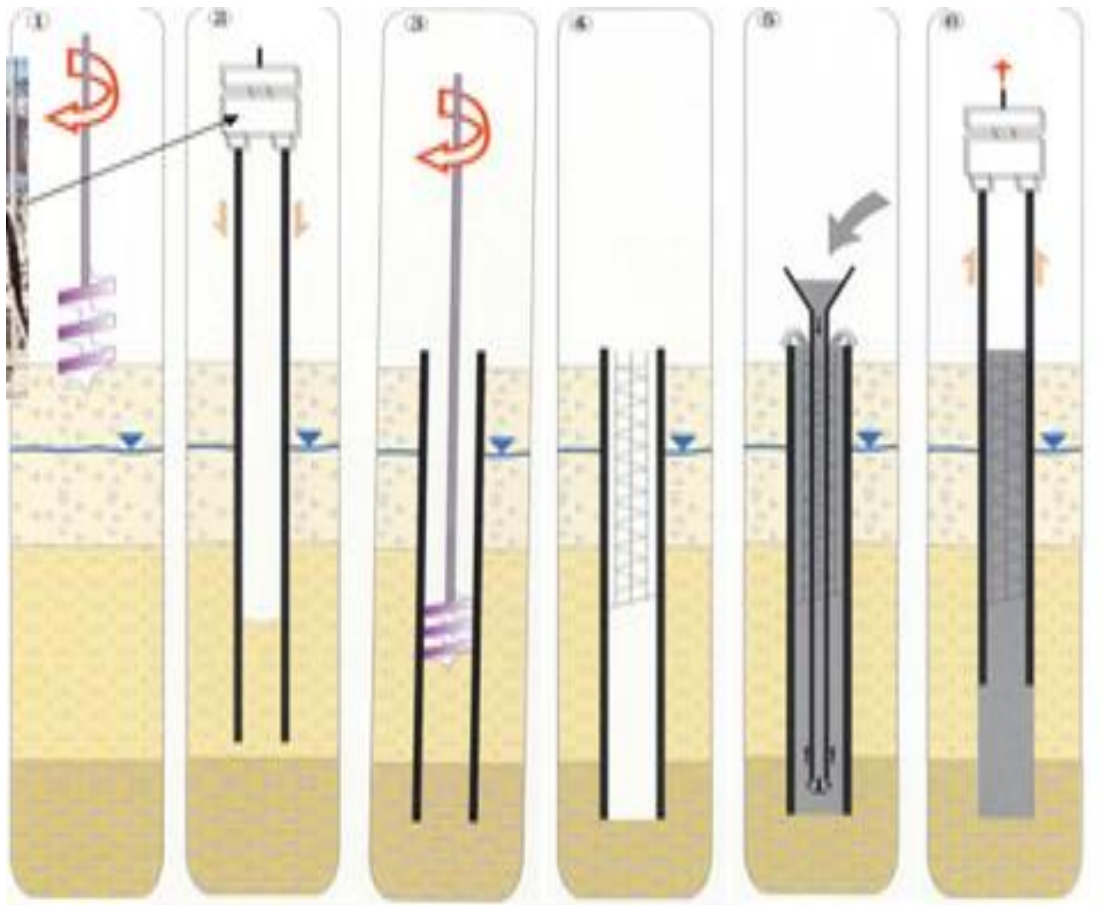


Figure I.15: Pieux forés tubés [11].

### ✚ Pieux injectés, sous haute pression, de gros diamètre

Ce type de pieu, par opposition aux micropieux du type II, regroupe des pieux de forts diamètres, supérieurs à 250mm. L'armature est en principe constituée par un tube équipé d'un dispositif d'injection comprenant des clapets anti-retours. Le dispositif d'injection doit permettre le scellement au terrain sous haute pression.[9]

### I.2.2.3 Micropieux

Les micropieux sont des éléments de fondation profonds, forés, de faible diamètre (inférieur à 250 mm). Le forage est équipé d'une armature (tube ou tige) enrobés de mortier de scellement.

Après un forage à l'air, à l'eau ou au coulis, l'armature du micropieu est mise en place et l'injection est réalisée.[12]

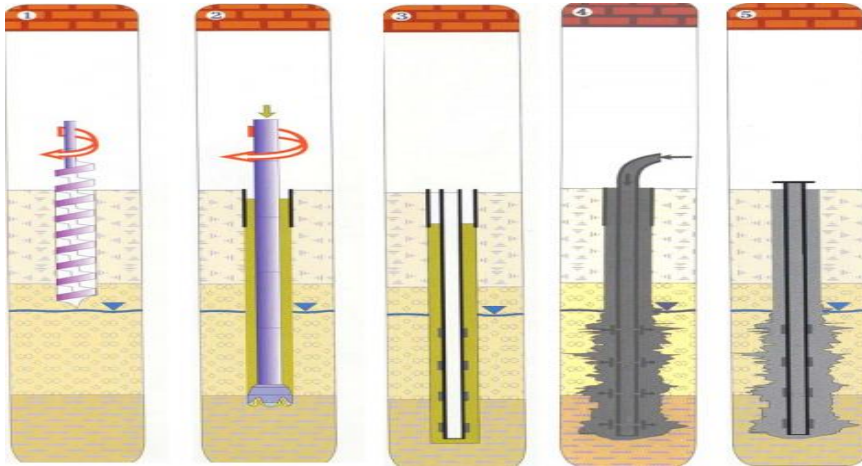


Figure I.16: micropieux [11]

#### I.2.2.3.1 Type des micropieux dépend de l'injection

Le forage est équipé ou non d'armatures et rempli d'un mortier au tube plongeur. Le tubage est ensuite obturé en tête et l'intérieur du tubage au-dessus du mortier mis sous pression. Le tubage est récupéré en maintenant la pression sur le mortier. Ce type de micropieux n'est pratiquement pas utilisé pour les ouvrages d'art.[12]

Cette méthode de fondation consiste à transférer au sol les charges apportées par l'ouvrage, par l'intermédiaire d'un pieu foré de faible diamètre (inférieur à 250 mm) équipé le plus souvent d'une armature métallique (barre HA, tube...).

Les micropieux peuvent être réalisés pour travailler en compression, en traction ou en compression et traction [12].

#### I.2.2.4 Caractéristiques

Ce type de fondation repose sur la reprise de charge par le sol en dessous de la base de la fondation et à cela s'ajoute le frottement latéral entre ces deux derniers. On distingue deux, principaux types de fondations profondes :

Les puits qui sont creusés à la main. Ils sont soit circulaires avec un diamètre minimum de 1,20 m, soit de section quelconque mais avec une largeur minimale de 0,80 m et une section minimale de 1,10 m<sup>2</sup>.

Les principaux types de pieux sont :

Les pieux en bois, les pieux battus, les pieux métalliques, les pieux en béton armé, les pieux forés [5].

### **I.2.2.5 Utilisation**

Son utilisation est requise lorsque le sol résistant se trouve à une très grande profondeur ou dans le cas d'une structure très importante [5] .

Les fondations sur pieux sont utilisées dans les situations suivantes :

Lorsque le bon sol est situé à une grande profondeur.

## **I.3 Conclusion**

Dans ce Chapitre nous avons présenté des principaux types de fondation qui sont les suivants:

- Fondations superficielles  $D/B \leq 4$  à 5
- Fondations sime profondes  $4 \leq D/B < 10$
- Fondations profondes  $D/B \geq 10$

## **Chapitre II:**

# **Pathologies des Fondations**

## II.1 Introduction

Un mauvais choix des fondations peut être à l'origine de désordres dont la gravité peut aller jusqu'à la ruine totale de la construction.

## II.2 Pathologies des fondations superficielles

Les principales causes des désordres dans les fondations superficielles sont:

### II.2.1 Etude de sol inadéquate

La condition pouvant mener à un choix d'un système de fondation adaptée à la construction considérée passe par une étude de sol complète au laboratoire et in-situ. Cette étude ne peut être menée à bien que si elle repose sur les résultats d'une reconnaissance préalable du site tout insuffisance de l'étude de sol peut avoir comme conséquence la ruine totale des fondations.

### II.2.2 Mauvaise interprétation de l'étude de sol

Des essais in situ ou de laboratoire mal réalisés, à mène est à des résultats erronées qui menent à une fausse interprétation [13].

### II.2.3 Présence de singularités dans les couches du sol

La présence de certains points durs (comme bloc rocheux, fondations anciennes) sous quelques semelles fausse les hypothèses faites sur les contraintes envisagées, ce qui entraîne des dégradations de différentes formes [13].

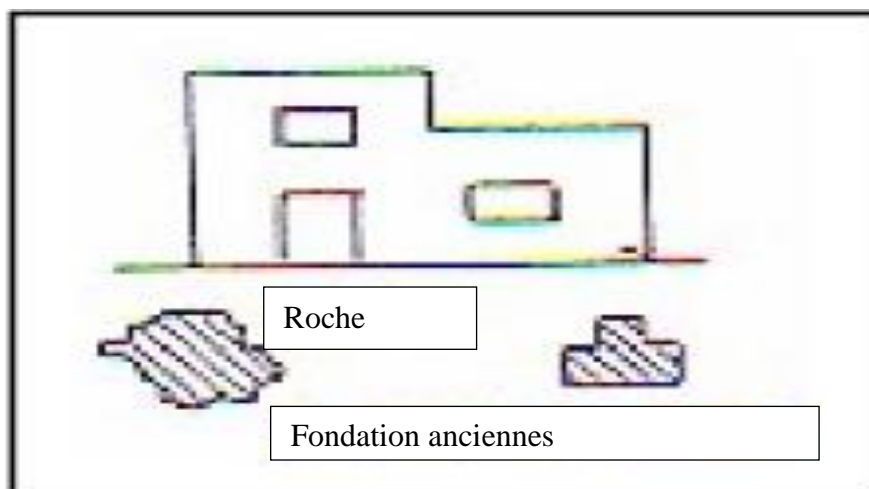


Figure II. 1: Construction fondée sur des points durs [13].

### II.2.4 Ouverture de tranchées à proximité construction existante

L'ouverture d'un terrassement dans un terrain peu stable contre un bâtiment voisin, et dont le niveau de fond de fouille est inférieur à celui des fondations de l'immeuble existant (Figure II.2) et sans la prise en compte des dispositions nécessaires, entraîne la décompression du terrain de fondation provoquant des tassements causant des désordres dans la structure [13].

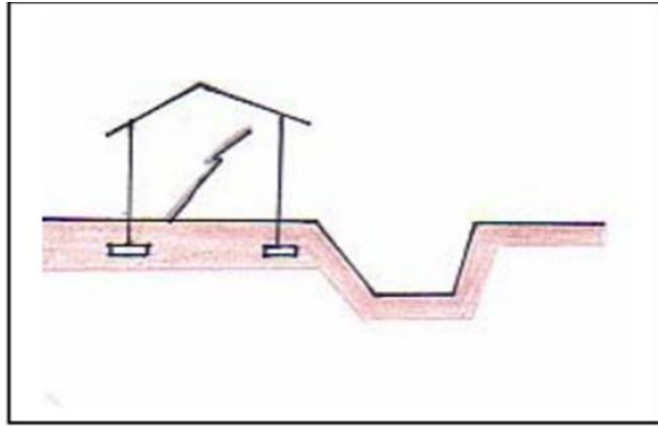


Figure II.2 : Excavation à proximité d'une construction existante [13]

### II.2.5 Les tranchées ou terrassements à proximité d'une maison

Les tranchées (ou les terrassements) réalisées à proximité immédiate d'une maison perturbent le transfert du poids de l'habitation vers le sol si l'excavation intercepte le bulbe de report des efforts (figure II.3). Il se crée alors un phénomène d'appel au vide qui tend à attirer la fondation vers la tranchée, générant ainsi un déplacement néfaste. Ceci doit impérativement être évité [14].

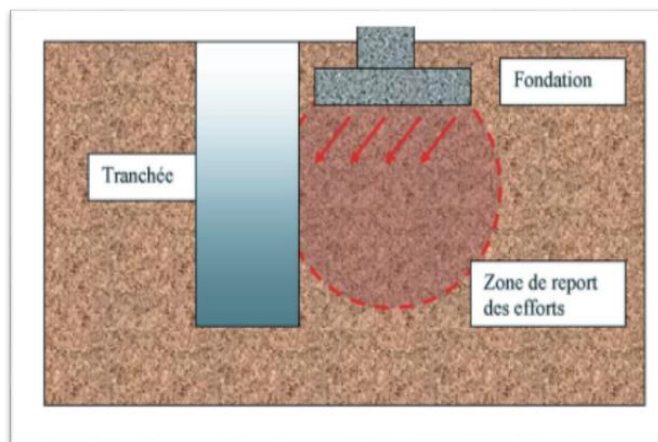


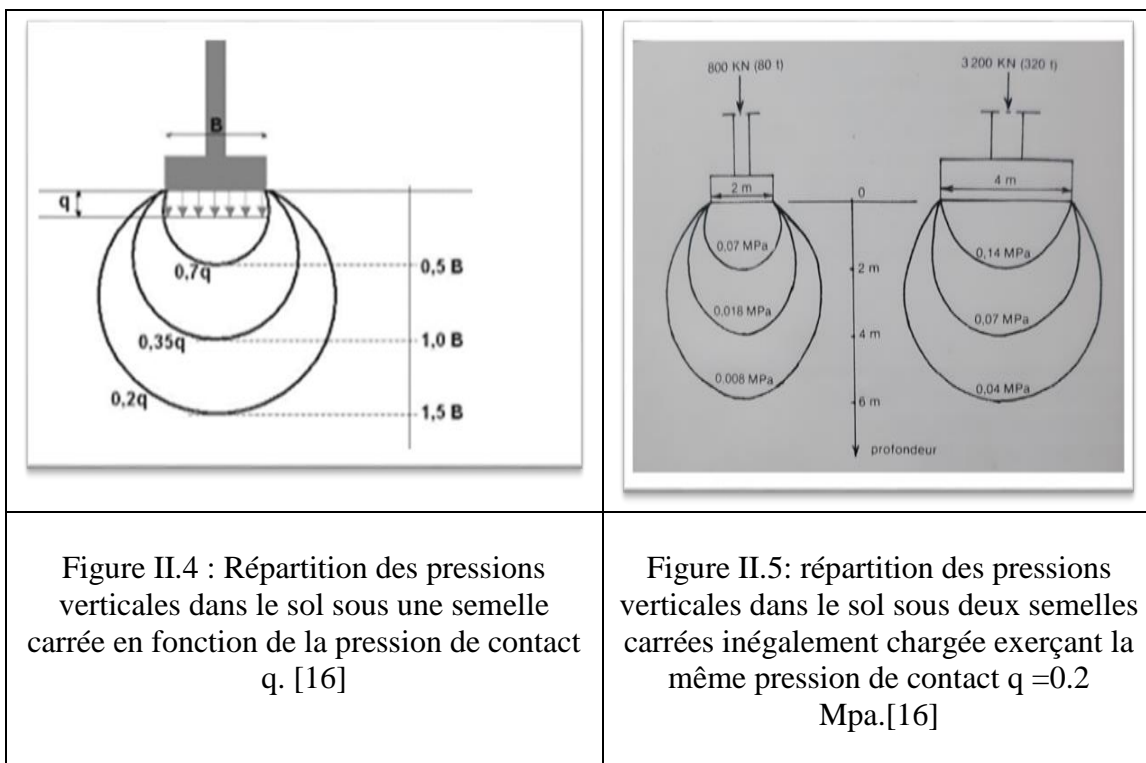
Figure II.3 : Impact d'une tranchée à proximité d'une fondation [14]

## II.2.6 Comportement des sols en profondeur

### II.2.6.1 Tassements différentiels

Les tassements différentiels résultent d'un déplacement non-uniforme du sol d'assise des fonde. Les tassements différentiels produisent des tensions sur la structure d'ensemble du bâtiment, favorisant la survenue de ruptures structurales, aussi appelées fissures. Les origines des tassements différentiels sont diverses et variées, au même titre que les dangers présentés pour le logement et ses habitants [15].

Théoriquement, les équations de Bousinesq permettent de mettre en évidence les courbes d'égale pression dans le sol (Figure. II.4) en fonction de la contrainte-supposée uniforme- exercée par la semelle à son contact avec le terrain. Cela nous montre l'utilité de tracer ces courbes afin de quantifier les tassements différentiels sous la fondation [16].



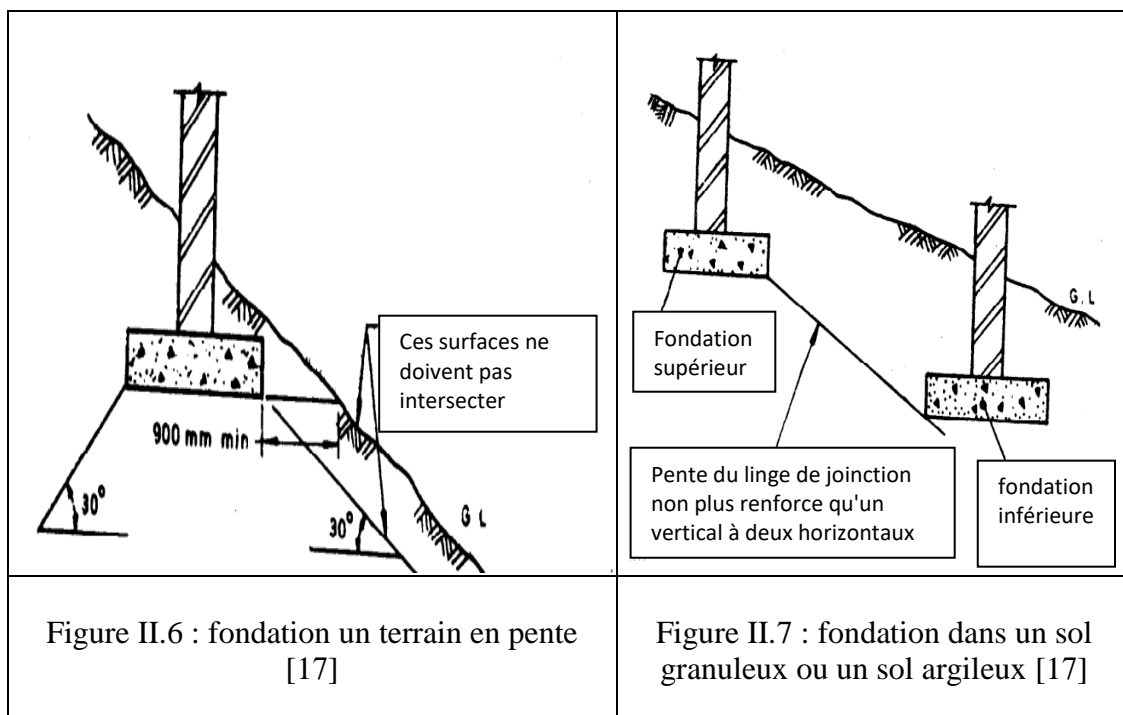
Comme exemple et dans le cas de 2 semelles adjacentes, exerçant sur le sol la même contrainte, sont de dimensions différentes (ce qui signifie que la semelle la plus petite est la moins chargée), les contraintes qu'elles provoquent à une profondeur donnée ne sont pas les mêmes : la semelle la plus grande (la plus chargée) exerce une contrainte supérieure à celle que provoque, à la même profondeur, la semelle la plus petite (figure II.5). Or,

l'application de pressions à un sol consolidation des grains, ce qui se traduira par des tassements [16].

### II.2.6.2 Risque de déséquilibre lorsque le terrain de construction est en pente

Les problèmes de tassements différentiels surviennent bien plus fréquemment, lorsque le terrain sur lequel repose la construction est en pente. En effet, en présence d'un terrain en pente, les fondations de la structure devront être ancrées en fonction du degré d'inclinaison, soit à des profondeurs différentes du sol. Un ancrage hétérogène des fondations favorise la survenue des tassements différentiels et augmente les risques d'apparition de fissures sur le bâtiment. En cas de non-respect d'une ou plusieurs dispositions constructives, comme par exemple les dimensions des fondations, des tassements différentiels peuvent également se produire [15].

Dans certaines zones, les mouvements de masse du sol sont susceptibles de résulter de causes indépendantes des charges appliquées par les fondations des structures. Il s'agit notamment de l'affaissement minier, des glissements de terrain sur les pentes instables et du fluage sur les pentes d'argile [17].


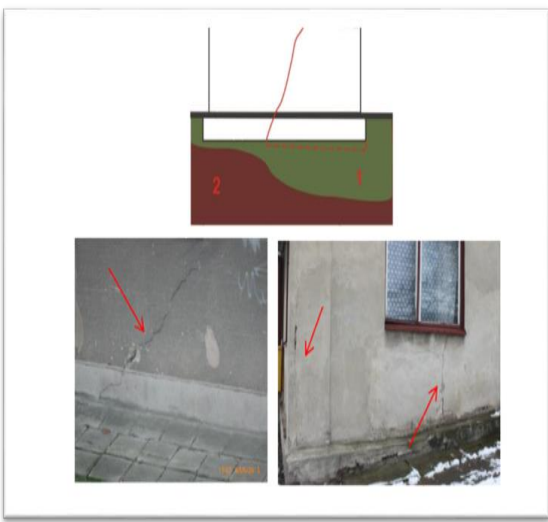


### II.2.6.3. Sous-sol partiel est-il un facteur aggravant des tassements différentiels

Pour qu'une construction puisse être stable, les fondations de la structure doivent être ancrées à la même profondeur. Mais la présence d'un sous-sol partiel implique la mise en œuvre de fondations à l'ancrage hétérogène, ce qui favorise les risques de tassements différentiels. Bien souvent, lorsqu'un tassement différentiel affecte une construction équipée d'un sous-sol partiel, les désordres occasionnés sont généralement visibles à la jointure de deux corps de bâtiments, en particulier s'ils sont de masse différente, ou en cas de fondations ancrées à une profondeur inégale [18].

### II.2.6.4 Tassement causé par un sous-sol faible ou non homogène

Certaines erreurs de conception relativement fréquentes liées aux tassements proviennent d'une identification inexacte des conditions du sous-sol, en particulier des paramètres du sol et de l'épaisseur de ses couches, ainsi que du niveau des eaux souterraines. Cela peut conduire au choix d'une zone de fondation insuffisante ou à la conception d'une semelle continue au lieu de plaques ou de pieux. Dans le cas des édifices patrimoniaux, une telle situation n'est pas causée par des erreurs de conception mais plutôt par le manque de sensibilisation des constructeurs. La pose de fondations ne correspondant pas au sous-sol faible ou non-homogène peut entraîner un basculement (Figure.II.8) ou une fissuration des travaux de construction (Figure. II.9) [18].

	
<p>Figure II .8: La «maison basculante» à Toruń, Pologne - un exemple de règlement non-uniforme [18].</p>	<p>Figure II. 9 : Fissures dans un mur de maçonnerie : en haut - un croquis des fissures causées par le tassement de la fondation reposant sur une couche épaisse de sous-sol faible (1 - sol faible, 2 - sol de bons paramètres) ; bas - photographies de fissures causées par le tassement du bâtiment sur un sous-sol faible déformable [18].</p>

Des fissures dans un mur peuvent également apparaître dans le cas d'une fondation non uniforme, dont un exemple est présenté sur la (Figure.II.9). L'angle de ce bâtiment est fondé en partie sur un sous-sol d'argile et en partie sur les travaux de maçonnerie plus anciens. Cela a provoqué l'apparition de fissures traversant le mur sur toute sa hauteur. Une bonne pratique de conception consiste à supposer la largeur de la semelle par rapport à sa charge, de sorte que les contraintes sous toutes les fondations aient une valeur similaire. Si cette règle n'est pas respectée, cela peut également conduire à un tassement non uniforme des fondations [18].

### II.2.6.5 L'interaction sol-structure

Les désordres sont à craindre dans une structure lorsqu'il peut y avoir, entre les divers points d'appui, des tassements différentiels d'une certaine importance. On ne peut traiter un problème de fondation en faisant abstraction des actions réciproques du sol et de la structure. En effet, si le bâtiment comporte des éléments (murs porteurs et cloisons) rigides, ceux-ci ne pourront supporter sans désordres les tassements différentiels de deux

points d'appui qui les portent, dès l'instant que ces tassements atteignent une certaine amplitude [16].

En première approximation, on peut estimer que des fissures apparaissent dans un mur en maçonnerie moderne lorsque les deux extrémités de ce mur subissent, l'une par rapport à l'autre, une dénivellation comprise entre,  $1/500$  et  $1/1000$  de la distance entre ces deux extrémités. Cela veut donc dire que si un mur en maçonnerie est porté, à ses extrémités, par deux semelles distantes de 5m, des fissures y apparaîtront pour des tassements différentiels compris entre 5 et 10 mm (figure II. 10) [16].

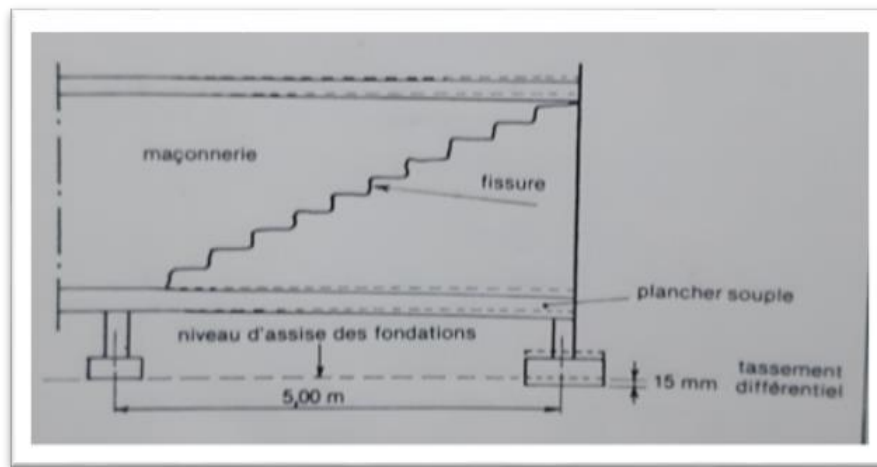


Figure II .10 : Effets d'un tassement différentiel sur un mur en maçonnerie [16]

## II.2.2 Désordres provoqués par les remblais

### II.2.2.1 Fondations sur remblai

Exception faite de certains remblais industriels, qui sont réalisés avec des matériaux choisis, mis en place par couches régulières et soigneusement compactées, les remblais tassent. C'est une évidence et pourtant, chaque année, nombre de constructions sont édifiées sans précautions spéciales sur de tels terrains [16].

Les fondations sur remblais présentent des risques dans les cas suivants:

- Les remblais récents mal compacts;
- Les remblais d'épaisseur variable ;
- Les remblais qui n'existent que sous une partie de la construction;

- les remblais surmontant un terrain compressible et instable [16].

### II.2.2.1 Remblais récents mal compacts

- **Exemple**

Un bâtiment avait été édifié à emplacement ancienne, sur un remblai récent et hétérogène atteignant par endroits 10 m d'épaisseur. Sol par l'intermédiaire de simples rigoles en béton non-armé. les chainages étaient pour ainsi dire inexistantes. Ce système ne présentait donc aucune rigidité vis-à-vis des tassements différentiels; peu de temps après la construction, des fissures très importantes (jusqu'à 6 m) sont apparues, tant dans le pavillon (figure II. 11) Que dans ses dépendances (jonction du garage et du mur de clôture, (figure II.12) Et, mur de clôture, figure II.13) [16].

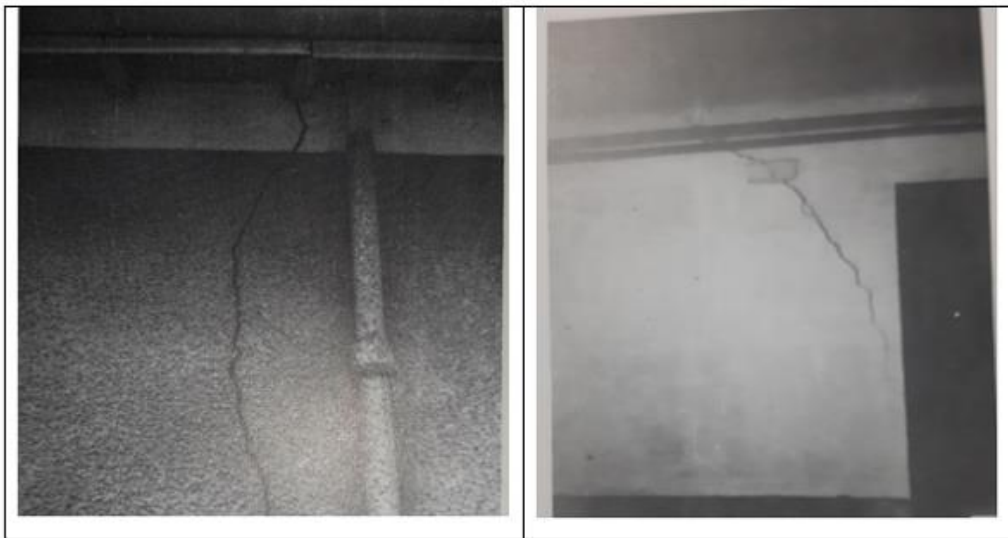


Figure II.11 : Fissures dans les murs du pavillon [16].



Figure II.12 : Fissures à la jonction du garage et du mur de clôture [16].



Figure II.13 : Fissures dans le mur de clôture [16].

### II.2.2.1.2 Remblais d'épaisseur variable

Des constructions d'une certaine importance édifiées sur du remblai tasseront d'autant plus que le remblai sera épais. Il faut donc s'attendre, avec des remblais d'épaisseur variable, à des tassements différentiels [16].

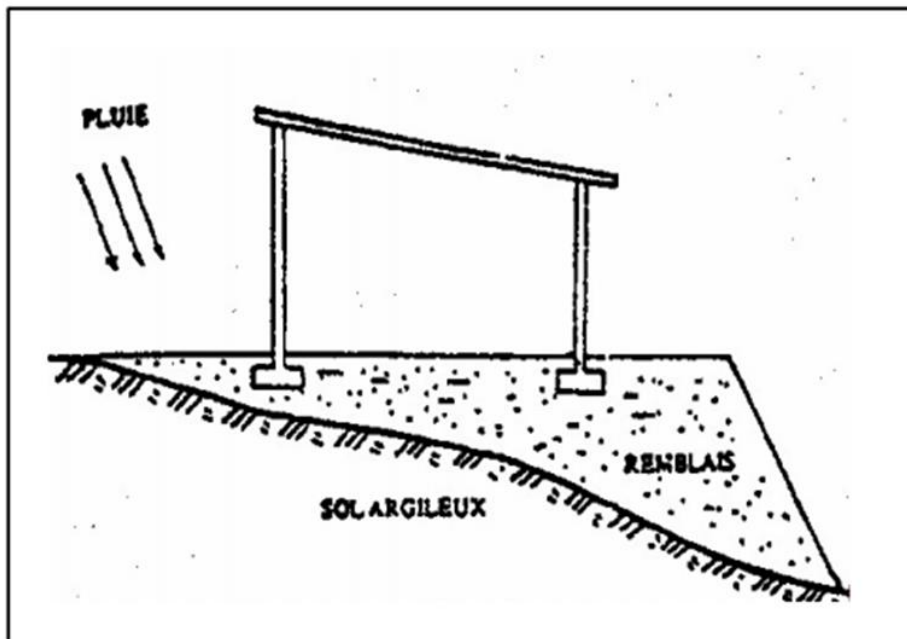


Figure II.14 : Construction fondée sur une couche de remblai d'épaisseur variable [13].

### II.2.2.1.3 Remblais n'existant que sous une partie de la construction

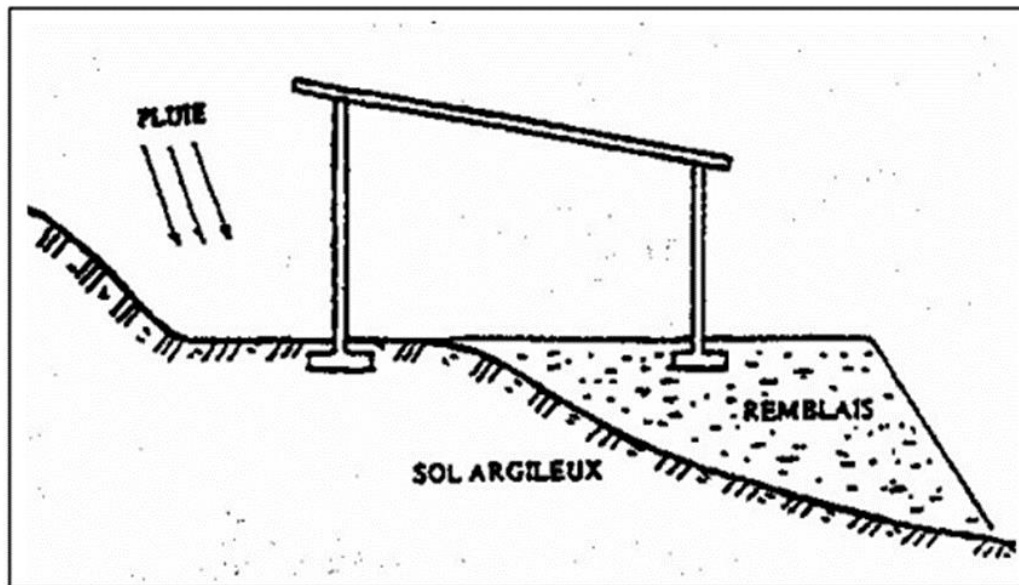


Figure II.15 : Une partie de la construction est fondée sur un remblai [13].

### II.2.2.1.4 Fondations partielles sur remblai (fondation hétérogène)

Désordre sur des fondations hétérogènes ce cas se présente quand la construction est bâtie à la fois sur un sol déjà en place et sur un sol remblayé. Il arrive alors que la construction présente des fissures ou des faux aplombs [19].

Il faut noter que les constructions réalisées sur ce type de sol, sans la prise en compte de dispositions nécessaires, peuvent être soumises à des tassements différentiels ou d'ensemble provoquant ainsi des désordres qui peuvent se traduire par l'apparition de :

- ✓ Fissures obliques dans le cas de structures fragiles (fissures en escalier si les murs sont en maçonnerie)
- ✓ Ouverture de joints dans le cas de structures rigides
- ✓ Faux aplomb de l'immeuble : ce cas précis dépend de l'élancement de bâtiment, c'est ainsi que le faux aplomb entraîne le déplacement du centre de gravité du bâtiment haut et étroit, d'où résultent des contraintes non uniformes sur le terrain d'assise qui vont à leur tour accentuer le faux aplomb. L'exemple le plus connu est celui de la Tour de Pise [13].

- **Exemple**

Un bâtiment avait une trentaine de mètres de longueur (figure II. 16), des sondages avaient permis de constater que, sous une épaisseur uniforme de terre végétale, on

rencontrait des marnes. Malheureusement, à l'un des angles du bâtiment \_et précisément à l'un des angles ou il n'y avait pas eu de sondage\_ se trouvait un ancien chemin remblayé. Il y avait, au point de vue de l'aspect, assez peu de différence entre le remblai et le terrain en place, si bien qu'aucune précaution ne fut prise au niveau des fondations. Peu de temps après l'achèvement du bâtiment, l'angle posé sur remblai tassa, ce qui a provoqué l'ouverture de fissures obliques dans les murs du sous-sol (figure II.17). Il a fallu reprendre tout l'angle. En descendant cette fois-ci jusqu'au bon sol [16].

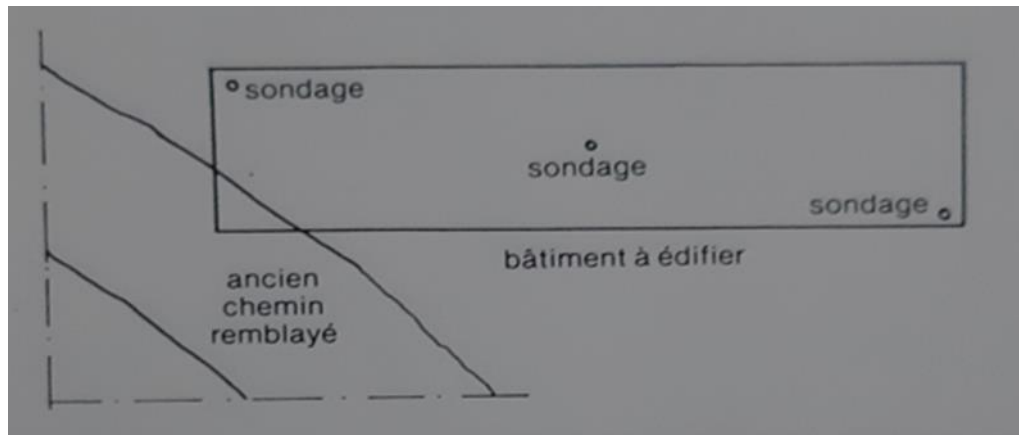


Figure II.16: Des sondages, pourtant effectués, n'avaient pas permis de détecter la présence d'un ancien chemin remblayé [16].

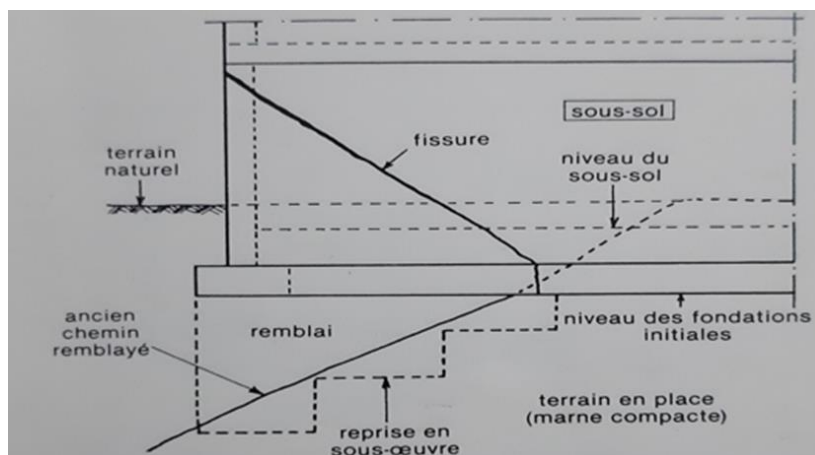


Figure II.17 : Tassement de l'angle de bâtiment [16].

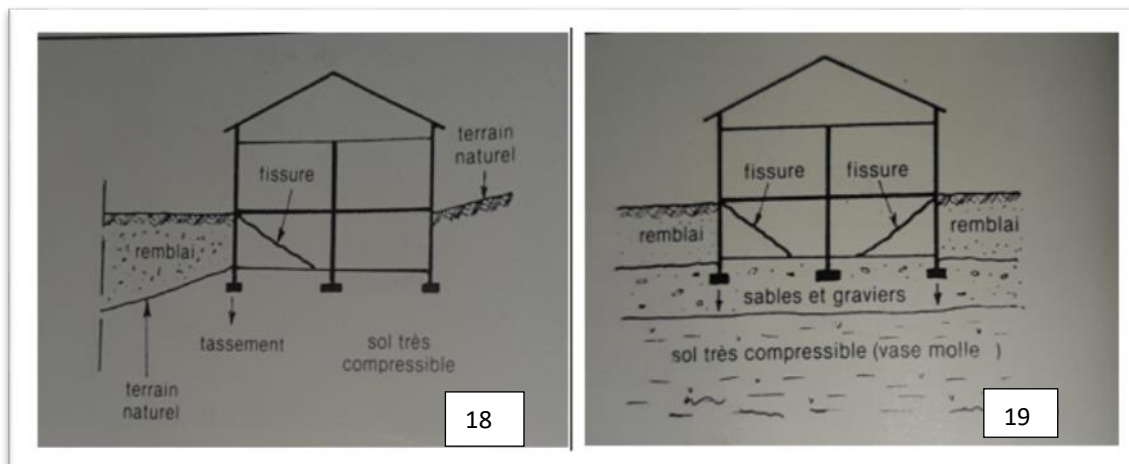
### II.2.2.2 Apports de remblais sur des terrains compressibles ou instables .

#### II.2.2.2.1 Remblais responsables de tassements

Suivant sa compacité, la densité d'un remblai peut varier entre 1.5 et 1.8 cela revient à dire que si l'on ajoute sur un sol en place une couche d'un mètre de remblai, il en résulte

une charge supplémentaire de 1500 à 1800 kg par m<sup>2</sup>, soit une contrainte de 0.15 à 0.18 bar or les remblai sont souvent mis en place sur de grandes surfaces, donc d'après les équations des Bousinesq, l'influence des pressions provoquées par ces remblais se fait sentir à une grande profondeur : ainsi un remblai de (20×20) m<sup>2</sup> de surface exerce encore, à 5 m de profondeur, les 91/100 de la pression qu'il provoque à son contact avec le sol.

On voit ainsi que, si le terrain remblayé est compressible (tourbe, vase molle, argile à forte teneur en eau), le remblai peut, par son simple poids, provoquer des tassements importants. Or, les remblais sont souvent utilisés dans des zones où il existe des bâtiments : le tassement provoqué par les remblais entraîne celui du sol d'assise des fondations. On voit ainsi que, sur des terrains très compressibles, il est tout à fait déconseillé d'apporter une surcharge par des remblais [16] .



Figures II .18 et 19 : Désordres provoqués par l'apport de remblais sur un sol très compressible [13].

### II.2.2.3 Désordres provoqués par l'eau

#### II.2.2.3.1 Affouillements

Les fondations insuffisamment enterrées ou mal protégées peuvent être affouillées par les eaux de surface [16] .

Les constructions réalisées sur fondations insuffisamment enterrées et implantées le long des rivières peuvent être soumises à des affouillements importants durant les périodes de crue, l'eau entraîne le sol de fondation pendant son écoulement pouvant ainsi mettre en ruine les constructions concernées [13].

### II.2.2.3.2 Les dégâts dus au gel

Le gel peut aussi avoir un impact sur les fondations. Il gonfle en effet le sol, ce qui aura pour effet le soulèvement du bâtiment. Cependant au moment du dégel, le sol pourrait retrouver son niveau initial provoquant généralement des fissures. à noter que les fondations construites sur des sols argileux (type montmorillonite) connaissent souvent ce problème de gonflement de terrain quand elles se trouvent près d'une nappe phréatique. Pour éviter ce risque, les fondations doivent être situées à une profondeur  $H$  comprise entre 50cm et 1m (régions froides, terrain en altitude [19]).

Lorsque le gel se manifeste dans un terrain humide, l'eau se transforme en glace avec augmentation de volume. Si cela se produit dans un terrain à gros grains, humide mais non saturé, (par exemple un terrain graveleux), il reste normalement entre les grains mouillés suffisamment de volume pour que l'expansion de la glace puisse se faire librement : le terrain ne gonfle pas, et les fondations posées sur ce sol ne subissent pas de mouvement. Au contraire, lorsque le gel se manifeste dans un sol à grains fins, dont l'eau a imbibé les pores par capillarité, l'expansion de la glace ne peut se faire librement sans écarter les grains du sol, et celui-ci gonfle. Le phénomène inverse se produit lors du dégel [16].

- **Exemple**

La (figure II.20) Nous montre une fissure de tassement différentiel après dégel, dans un pavillon dont les fouilles étaient restées ouvertes tout l'hiver, et les fondations exécutées alors que le sol était gelé [16].

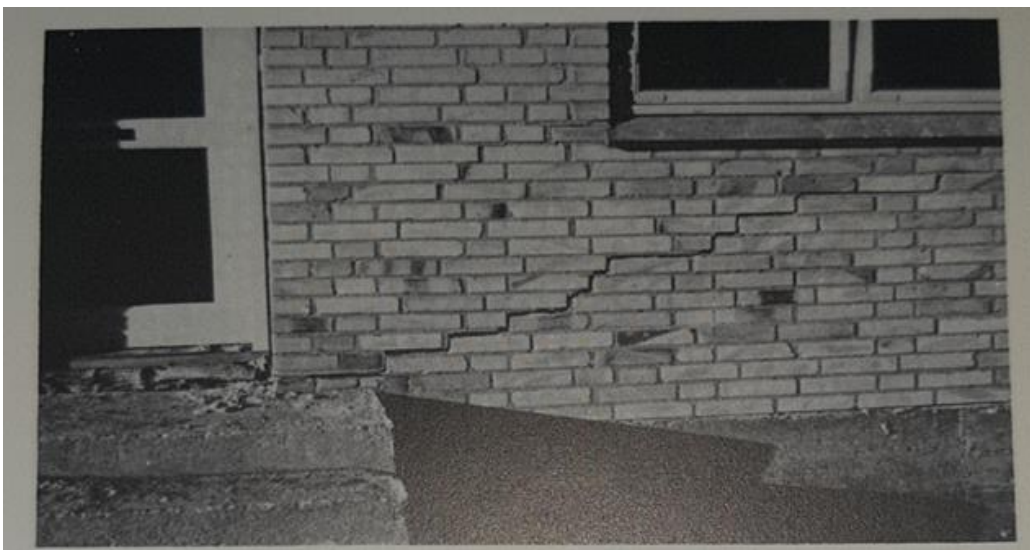


Figure II.20 : Fissures dues au tassement après dégel [16].

### II.2.2.3.3 Causes liées aux variations climatiques

Pendant la période pluviale les sols argileux sont susceptibles de gonfler alors que durant la sécheresse ces mêmes sols subissent un retrait, ces mouvements (gonflement et retrait) ont un effet néfaste pour les constructions fondées sur ce genre de terrain [14].

La cause de la rupture des fondations et des bâtiments est fréquemment le déversement direct des eaux de pluies dans le sol par les descentes d'eau des gouttières [20].

On voit sur la (figure II.21 a) que les eaux de pluies sont amenées à proximité directe de la surface non protégée du sol. Par suite, l'eau de pluie pénètre dans le massif de sol à proximité de la fondation du bâtiment, la soulève et provoque la rupture de la maçonnerie de brique de ce bâtiment léger d'un seul niveau [20].

La (figure II.22 b) montre un tuyau de descente d'eau de pluie qui a été enfoncé directement sous la fondation et provoque non seulement le gonflement du sol mais aussi son érosion. Ce bâtiment se trouve donc dans un état complexe de contraintes et de déformations. Il subit à la fois des déformations de gonflement et des déformations d'affaissement et leur combinaison conduit à le rendre inutilisable [20].

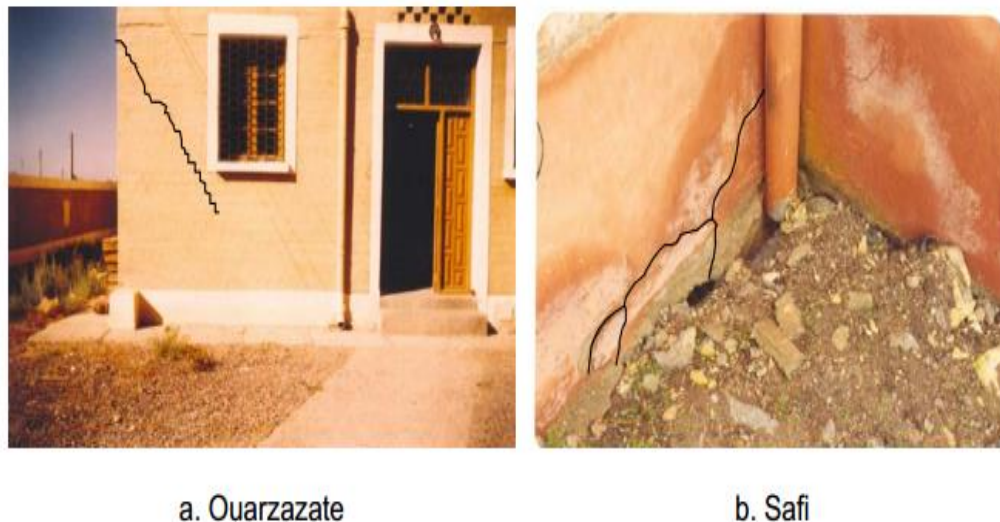


Figure II.21: Dispositions constructives incorrectes pour les conduites de descente d'eau [20].

L'interaction des fondations et des massifs de sols argileux qui se déforment et gonflent en cas d'humidification rend indispensable la prise en compte des déformations

communes des sols et des fondations, avec une surface de contact de forme courbe. Le problème est compliqué par le fait que la prévision des positions possibles des sources d'humidification est très difficile car, dans la plupart des cas, elles ont un caractère aléatoire [20].

Le processus de gonflement des sols est réversible, comme leur processus de retrait lors du séchage. Les déformations de gonflement et de retrait des sols argileux sont deux formes de signe opposé d'un même processus. En fonction de la quantité des précipitations atmosphériques, des conditions d'écoulement en surface, des propriétés de perméabilité du sol, etc., le résultat final de la redistribution de l'humidité dans le sol peut être différent. Suivant les variations de l'état d'humidité du massif de sol on peut observer des déformations de gonflement ou des déformations de retrait (Figure II.22) [20].



Figure II.22 : Dégradations dues au gonflement du sol [20].

L'amplitude du retrait du sol dépend de différents facteurs. Le retrait peut se produire après la succession d'une période pluvieuse et une période sèche, ou par la transpiration de l'eau des plantes ou par d'autres causes naturelles ou artificielles. Ainsi, par exemple, l'exécution d'une tranchée pour installer des réseaux à proximité de bâtiments existants et l'infiltration libre de l'eau dans la tranchée a provoqué l'assèchement du sol sous les fondations de ce bâtiment dans la ville d'Oued Zem [20].

Cela provoqua le tassement localisé du sol et de la fondation du bâtiment et l'apparition d'une large fissure dans le mur du bâtiment (Figure II. 23) [20].



Figure II.23 : Tassement différentiel du terrain au-dessous de la fondation d'un mur (Oued Zem) [20].

Un tassement peut aussi se produire quand le sol est dans un état d'humidité excessif et qu'il perd une partie de sa résistance structurelle, ce qui réduit sensiblement ses caractéristiques mécaniques (module d'Young  $E$ , cohésion  $c$ , angle de frottement interne  $\phi$ ). Cela peut se produire sous des fondations superficielles situées dans la zone de saturation du sol par les eaux de pluie.

La (figure II.24) montre le tassement catastrophique d'un bloc de la station de pompage de la ville de Garb, où l'on voit que la profondeur d'encastrement de la fondation n'était pas suffisante et que sa base était pratiquement au niveau de la couche de sol saturée et délavée.



Figure II.24 Tassement différentiel du terrain sous les fondations d'une station de pompage (SP13, Garb) [20].

#### II.2.2.4 Raccordements défectueux ou inexistantes des descentes des eaux pluviales

Normalement, les descentes extérieures d'eaux pluviales se raccordent, au pied du bâtiment, dans un regard d'où part une canalisation à faible pente qui les évacue. Cette disposition nécessite, en terrain argileux, une parfaite étanchéité au droit du regard, de façon à éloigner des fondations les eaux de pluie. De nombreux sinistres sont dus à des regards non étanches, réalisés sur place, souvent en dépit du bon sens, et posés sur du remblai qui tasse, si bien qu'en peu de temps toute l'eau collectée par la descente se déverse directement le long des fondations [16].

#### II.2.2.5 Modification des caractéristiques de résistance du sol

Les caractéristiques des terrains argileux sont profondément modifiées par des venues d'eau : c'est ainsi que si la teneur en eau d'une argile augmente, sa cohésion et son angle de frottement interne diminuent, dans des proportions parfois considérables. Cette chute de résistance peut prendre plusieurs aspects [16] :

##### II.2.2.5.1 Diminution de la force portante des terrains

La résistance à la compression d'une argile décroît lorsque la teneur en eau augmente c'est ainsi que, d'après Terzaghi, elle peut dépasser 0,4 MPa (4 bars) pour les argiles très consistantes, mais être inférieure à 0,025 MPa (0,25 bar) pour les argiles très molles. On voit donc qu'une fondation posée sur un sol argileux relativement dur pourra s'enfoncer si ce terrain se trouve ramolli par des venues d'eau. Ces venues d'eau peuvent avoir diverses origines [13] :

##### II.2.2.5.1.1 Eaux de ruissellement

Ce cas est classique lorsque le bâtiment se trouve implanté dans une zone où les eaux de surface peuvent être abondantes (terrains en pente, etc.). Dans ce cas, les eaux se trouvent tout naturellement conduites au pied des fondations (figure II.25), surtout si le remblai des fouilles est perméable cas, car cette tranchée constitue maintes fois, hélas, un endroit de prédilection pour les gravois du chantier. Ce qui est souvent le cas si aucun dispositif d'évacuation des eaux n'a été prévu, celles-ci vont stagner dans la cuvette constituée par la fouille du bâtiment, et il en résulte deux inconvénients :

- ✓ L'eau peut inonder le sous-sol en traversant les murs ou en passant sous la semelle ;

- ✓ L'eau va, en s'infiltrant sous la fondation, ramollir le sol et diminuer sa force portante : la fondation va s'enfoncer. Malheureusement, l'enfoncement n'est jamais uniforme, et il en résulte des tassements différentiels [16].

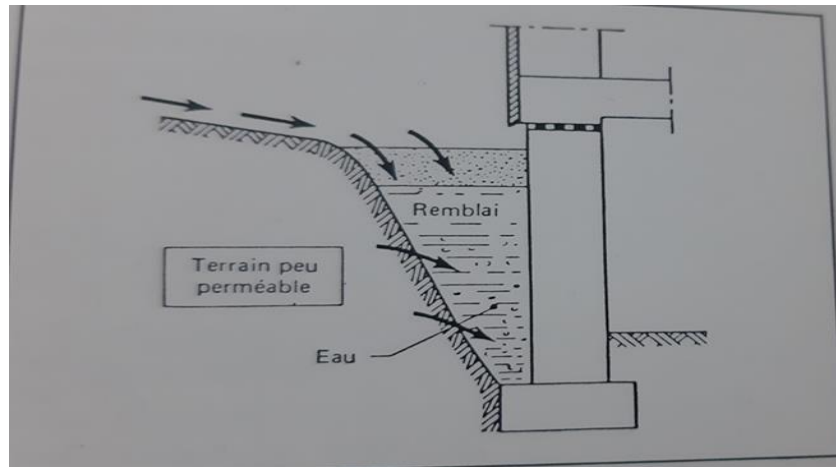


Figure II.25: Dans un sol peu perméable, l'eau s'accumule dans le remblai des fouilles si celui-ci est perméable [16].

- **Exemple**

Ce pavillon (figure II.26) situé dans l'Est, a été fondé sur des rigoles continues en gros béton reposant sur un sol argileux, et sur terrain est en pente. Aucune précaution (drainage, contrepente, etc.) n'ayant été prise pour éloigner des murs les eaux de ruissellement, l'angle du pavillon côté amont a tassé. [16].

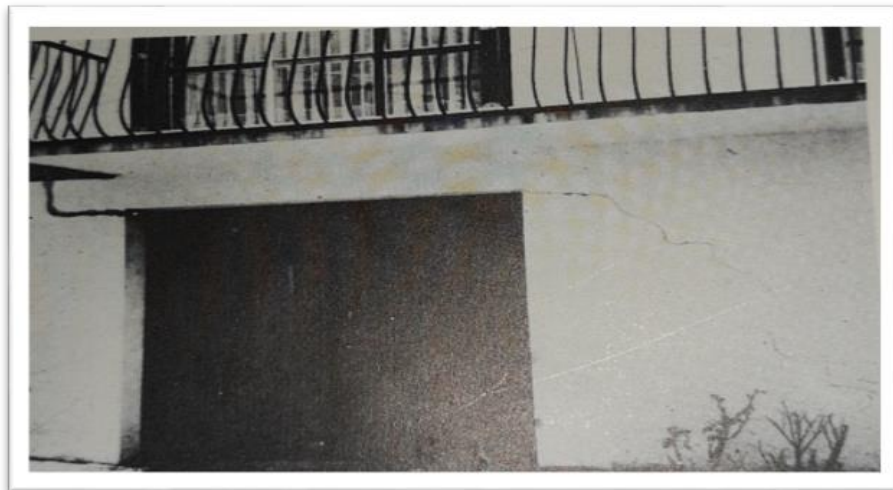


Figure II.26 : Tassement différentiel provoqué par des eaux de ruissellement non drainées  
Sur un sol argileux [16].

### II.2.2.6 Causes liées aux travaux de reprise en sous-œuvre

La reprise en sous-œuvre consiste à effectuer des travaux sous un ouvrage existant tout en conservant les autres parties de la construction et également, à reporter à un niveau inférieur une fondation existante sans altérer la superstructure

La reprise en sous-œuvre s'utilise le plus fréquemment pour le renforcement de fondations existantes, l'agrandissement de sous-sols dans les ouvrages partiellement excavés (Figure II.27).

Les principaux désordres qui peuvent être dus aux travaux de reprise sont :

- L'effondrement partiel ou total de l'ouvrage existant
- L'affaissement provoqué par la décompression du sol
- L'apparition de fissures
- L'éboulement et chutes des terres ou de matériaux dans la zone de travail [14].

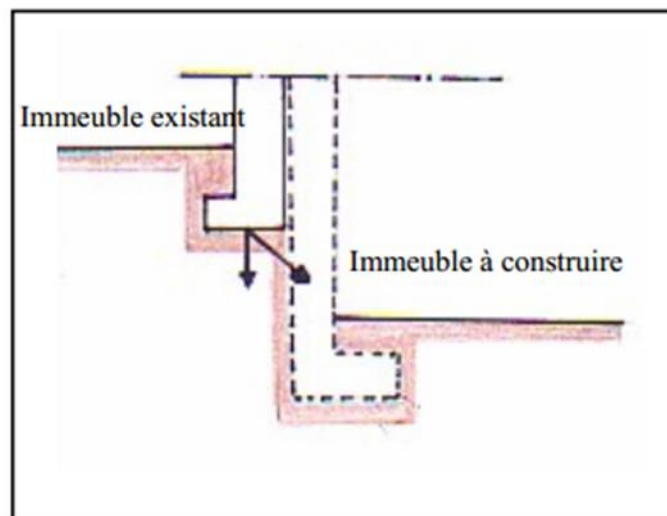


Figure II.27 : Incidence entre fondations voisines [14].

### II.2.2.7 L'attaque des fondations par le milieu qui les enrobe

Les fondations sont en contact de milieux pouvant être agressifs à leur égard ; ils doivent être conçus en conséquence.

- le plus répandu des agents responsables d'agression est le sulfate de calcium ( $\text{Ca SO}_4$ ). Il provient généralement de la dissolution de gypse naturel et véhiculé vers la fondation par

les eaux de ruissellement. Le sulfate de calcium se combine avec la célite (C 3A) présente dans le ciment pour former le sel de Candlot. La formation de ce composé s'accompagne d'un fort taux de gonflement qui fait éclater le béton.

- L'eau de mer et notamment les eaux chlorées attaquant la chaux libre au sein de Ciment Portland Artificiel (CPA) ainsi que les armatures dont elles accélèrent la corrosion. Les eaux pures (eaux de pluie, de fonte des neiges,...) tendent à dissoudre la chaux libre en rendant le béton poreux engendrant la réduction de ses qualités mécaniques ‘

- Les eaux thermales chargées d'acide carbonique, les eaux résiduaire des sucreries et généralement les déchets acides dans le cas de la proximité d'une zone industrielle, attaquent lentement la basicité du ciment portland durci. On voit bien l'intérêt de connaître le milieu dans lequel se trouve la fondation [21].

#### II.2.2.8 Erreurs d'exécution

- Une détérioration du fond de fouille: l'utilisation de gros engins de terrassement possédant des godets à dents grattent souvent la surface du fond de fouille ; il faut par conséquent la recompacter. Aussi, une exposition trop prolongée du fond de fouille aux intempéries, le ramollit en surface et incesiente soit une sur prpfondeur soit un recompactage.

- Une mauvaise implantation des repères induisant des excentremets supérieurs à ceux tolérés (2 à 3 cm).

- Un mauvais positionnement des armatures soit en les posant sans cale sur le béton de propreté qui est un béton médiocre et poreux. L'acier se trouve ainsi sans protection contre l'humidité plus ou moins agressive du sol ; soit en inversant le ferrailage.

- Le béton des semelles doit être compact et correctement dosé pour ne pas devenir par sa porosité, le siège de cheminements d'eau qui dissoudraient progressivement les constituants de son ciment durci

- Un mauvais remblaiement en radier échelonné pouvant engendrer le fluage des zones en place [21].

### II.2.3 Pathologie des fondations profondes

Les fondations profondes n'étant pas visibles, leurs pathologies se manifestent principalement par des tassements ou des déplacements horizontaux des appuis sous l'effet des actions appliquées. Selon l'ampleur de ces mouvements, les désordres occasionnés sur les ouvrages seront variables : déplacements, fissurations des appuis, sollicitations excessives du tablier, mise en butée entre tablier et culée, avec évolution plus ou moins rapide ou défavorable [22].

#### II.2.3.1 Défaut de résistance structurale de la fondation

Ces défauts apparaissent du fait d'une mauvaise adaptation des dimensions de la fondation aux caractéristiques des sols et aux charges appliquées, d'une mauvaise évaluation des déplacements ou tassements, de l'absence ou d'une insuffisance de préchargement, de l'évolution des conditions hydrogéologiques et d'une érosion interne, etc [22].

#### II.2.3.2 Erreurs de dimensionnement, d'implantation ou d'exécution

- Descente de charges du bâtiment erronée.
- Pieu mis en flexion par l'existence d'efforts horizontaux en tête, non pris en compte dans le calcul.
- Pieu exécuté avec une inclinaison excessive par rapport à la verticale (ex : déviation du forage suite à la traversée de bloc).
- En cas d'écart entre implantation théorique et la position réelle d'un pieu, la charge verticale descendant sur ce pieu est excentrée. Un excentrement dépassant le huitième du diamètre du pieu fait que sa section n'est plus entièrement comprimée, elle est le siège de tractions. Il y a alors lieu de tenir compte de ce phénomène (ex : par des longrines de redressement).
- Rupture de pieu lors du battage, du recépage, ou du terrassement...
- Pour les pieux coulés en place, un mauvais bétonnage peut résulter de l'emploi d'un béton trop « sec », de ferrailles trop importantes gênant le coulage du béton ou d'une remontée trop rapide du tube.
- Mauvaise implantation altimétrique nécessitant une reprise des têtes de pieux plus importante et donc une fragilisation des pieux [23].

### II.2.3.3 Défauts d'exécution en matière de fondations profondes

En éliminant quelques cas, au demeurant très peu nombreux, de sinistres\_ qui ont été cependant fort coûteux \_ dus à la malhonnêteté d'une infime minorité d'entreprises peu scrupuleuses, on peut dire que la majeure partie des défauts en matière de fondations profondes résulte de malfaçons involontaires dues au manque d'expérience du personnel d'exécution \_ et parfois d'encadrement de \_ certaines entreprises. Certes, il n'en résulte pas toujours des sinistres, car on peut souvent déceler les anomalies soit lors d'un contrôle en cours d'exécution, soit par des vérifications a posteriori au moyen de diverses méthodes dont certaines sont maintenant fiables ; il n'empêche que certains défauts nécessitent de refaire de nouvelles fondations à un autre emplacement, ou de rajouter des pieux, ce qui perturbe le bon déroulement du chantier [16].

#### II.2.3.5.1 Incidents dus au bétonnage sous l'eau

Supposé que le bétonnage eût lieu à sec, c'est-à-dire qu'il ne pouvait pas s'introduire d'eau dans le tube pendant le coulage du pieu. Ce cas se rencontre évidemment\_ quand il n'y a pas d'eau dans le terrain, mais aussi quand l'orifice du tube est obturé d'une manière étanche : c'est ce qui se produit avec certains types de sabots, ou avec des pieux d'un type particulier comportant à leur base un bouchon de béton comprimé [16] .

Avec les pieux forés, par contre, ainsi qu'avec certains pieux à tube battu, la pénétration du tube dans un terrain immergé provoque obligatoirement la montée de l'eau dans le tube. Le bétonnage sous l'eau s'impose alors.

voudrions toutefois signaler, plusieurs accidents qui se sont produits lors de l'exécution de puits forés, au-dessous du niveau de la nappe phréatique, lorsque le forage est réalisé au moyen d'une benne à grappin et quand le terrain d'assise est constitué par des matériaux qui, à sec, présentent pratiquement la consistance de la roche mais qui, brisés par les dents de la benne et délavés par la nappe ‘

Les débris de ces sols, ainsi ramollis, ne sont pas remontés par la benne à grappin et forment à la base du forage une couche très compressible qu'il est malaisé d'évacuer. Si l'on coule sans curage préalable \_ et même au tube plongeur \_ le béton dans le puits, il risque de rester au fond un lit de boue qui provoquera presque sûrement des tassements ultérieurs [16].

### II.2.3.6 Effets indirects du tassement provoqués par les remblais

#### II.2.3.6.1 Frottement négatif

De par leur densité, les remblais peuvent enfoncer les fondations sur pieux superficielles et profondes. Deux cas peuvent se présenter : si le terrain d'origine est compressible, l'ajout de remblai va créer un frottement négatif, s'ajoutant ainsi à la charge transmise. Par contre, si la pointe du pieu est en contact avec une couche compacte, le pieu pourrait se cesser suite à un frottement négatif [19].

#### II.2.3.6.2 Description du phénomène

Sur sa partie médiane (b) est représenté un pieu enfoncé, à travers un terrain inconsistant, dans une couche résistante, la force portante du pieu étant obtenue surtout par l'effet de pointe. Si l'on met en place, au-dessus du terrain superficiel compressible, un remblai de grande épaisseur (et surtout si ce remblai reçoit une charge importante), le tassement propre du remblai et celui de la couche molle non consolidée provoquent, le long du fut du pieu, des efforts de frottement dont la résultante a une composante verticale dirigée vers le bas. C'est ce que l'on appelle le "frottement négatif", lequel s'ajoute donc ainsi à la charge transmise au pieu par l'ouvrage à fonder .

Lorsque la couche de terrain dans laquelle est ancré le pieu est suffisamment compacte et épaisse, le frottement négatif n'a, la plupart du temps, comme conséquence, qu'une diminution du coefficient de sécurité sans que celle-ci provoque pour autant des tassements appréciables

Si, par contre, la couche compacte est peu épaisse et surmonte des terrains compressibles, comme c'est le cas de la (figure II.28 b), le surcroît de charge sur les pieux du au frottement négatif, ajouté au poids propre du remblai, peut provoquer l'affaissement du banc résistant ou la rupture des pieux par suite du fluage des couches sous-jacentes .

Si le pieu est un pieu flottant (figure II.28 a), c'est-à-dire si la majeure partie de sa force portant provient du frottement latéral (cas d'un terrain constitué, par exemple, par des argiles moyennement compactes), les effets du frottement négatif peuvent déterminer des tassements excessifs et une diminution inadmissible du coefficient de sécurité [16].

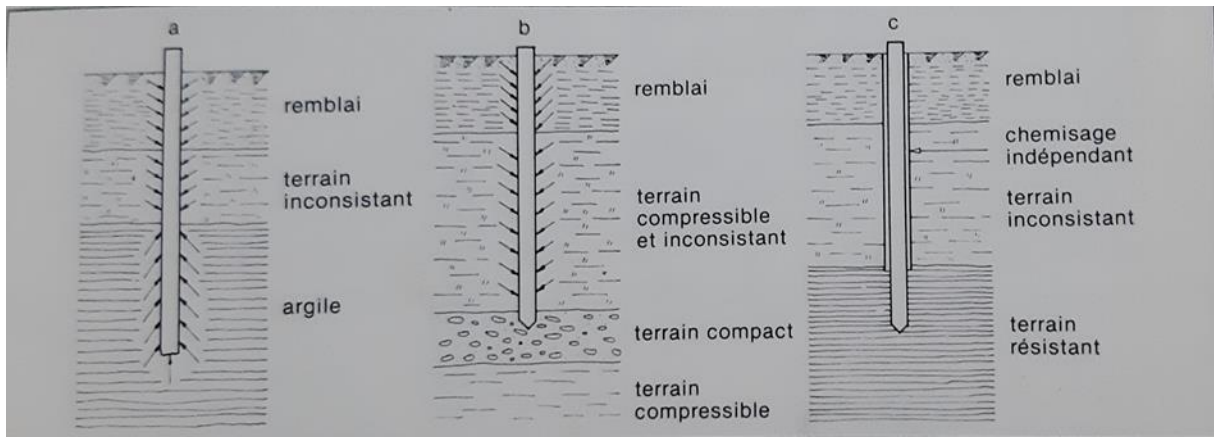
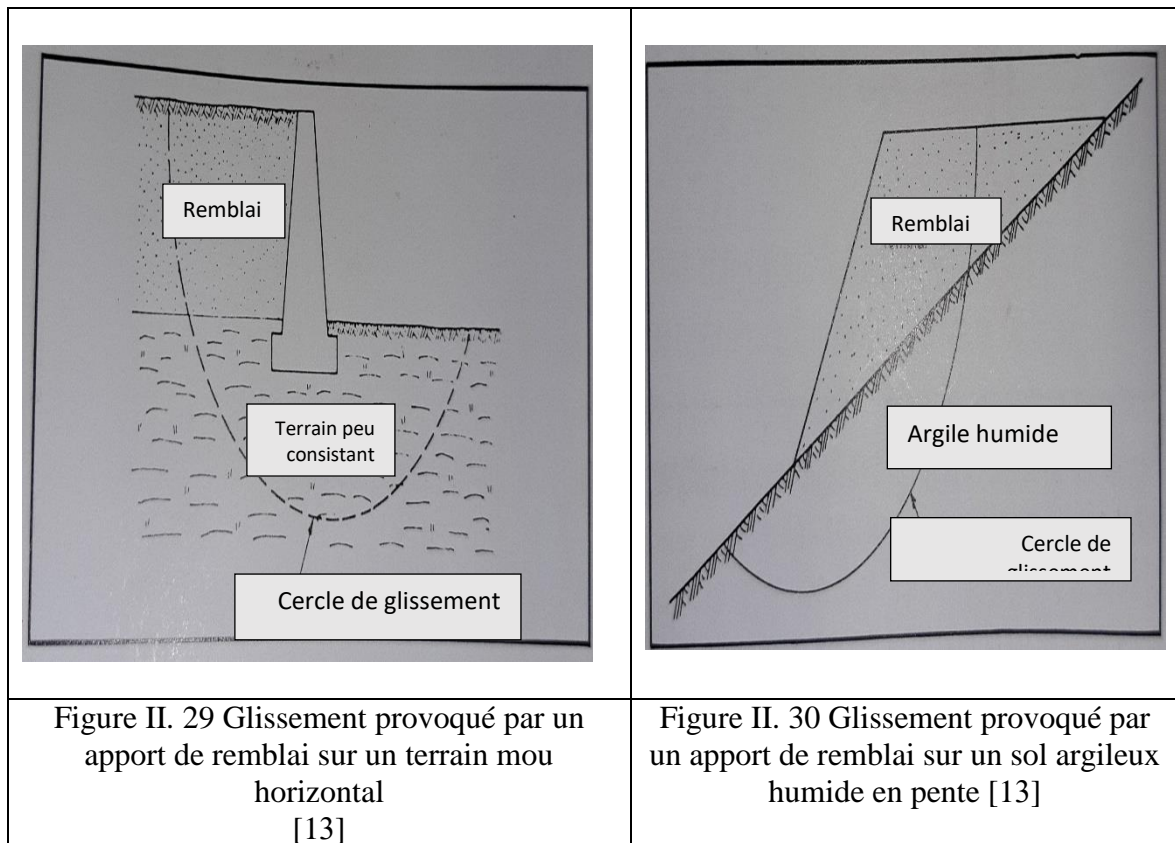


Figure II.28 : a) cas d'un pieu flottant. Si un remblai surcharge le terrain compressible b) effet de point prédominant. c) pieu chemisé [16]

### II.2.3.7 Remblais responsables de glissements

La mise en place, sur un terrain, de remblais n'occupant qu'une partie de la superficie provoque dans ce terrain une modification locale des pressions qui favorise le glissement, lorsque le sol ainsi surchargé est peu consistant. C'est ce que l'on observe quand on vient ajouter sur un terrain relativement mou (argile humide, vase, sables fins saturés) un remblai de quelque importance maintenu par un mur de soutènement (figure II.29) ou limité par un talus naturel. Le cas se produit également sur des terrains argileux en pente (figure II.30). Si des fondations se trouvent dans la zone de glissement, elles seront entraînées par le mouvement. Dans le cas de fondations superficielles, le bâtiment va se déplacer ou se disloquer, et s'il s'agit de pieux, ils peuvent être déformés ou rompus par le déplacement latéral du terrain qui les entoure. Ce phénomène, s'appelle "poussées obliques" ou "poussées latérales" [16].



### II.2.3.8 L'influence des déplacements de sol provoqués par les remblais sur les fondations profondes

#### II.2.3.8.1 Poussées obliques

Désordre suite à des poussées obliques au niveau des fondations profondes, si les remblais sont réalisés sur un terrain en pente et peu compacte, des poussées obliques peuvent déformer le pieu en cas de surcharge [19].

Un bâtiment (figure II.31) fondé sur des pieux verticaux, le long duquel il a été rapporté une couche de remblai, d'un seul côté de l'ouvrage. Si le remblai est important, et surtout si ce remblai sert de stockage permanent à des matières lourdes (cas des entrepôts ou parcs en particulier), la dissymétrie des charges provoque un fluage latéral des couches inconsistantes (vase molle, argile à fort teneur en eau...) que traversent les pieux pour arriver au bon sol, et il en résulte des efforts latéraux sur le fut des pieux. Ces efforts provoquent la déformation des pieux et même, si ceux-ci ne sont pas armés, leur rupture.

La (figure II.32) représente également un cas d'efforts latéraux sur les pieux. Dans ce cas, le doute est dû à la fois au tassement des couches compressibles et à leur fluage latéral [16].

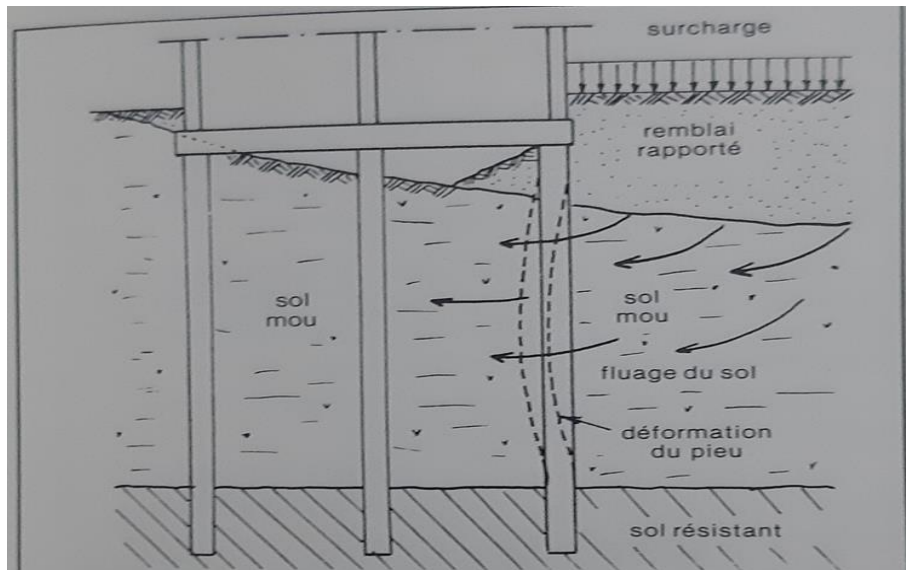


Figure II.32 : Principe des poussées obliques sur les pieux [16]

Dans le cas de la (figure II. 33), les pieux inclinés étant fortement comprimés, la moindre déformation par flexion peut amorcer leur ruine [16].

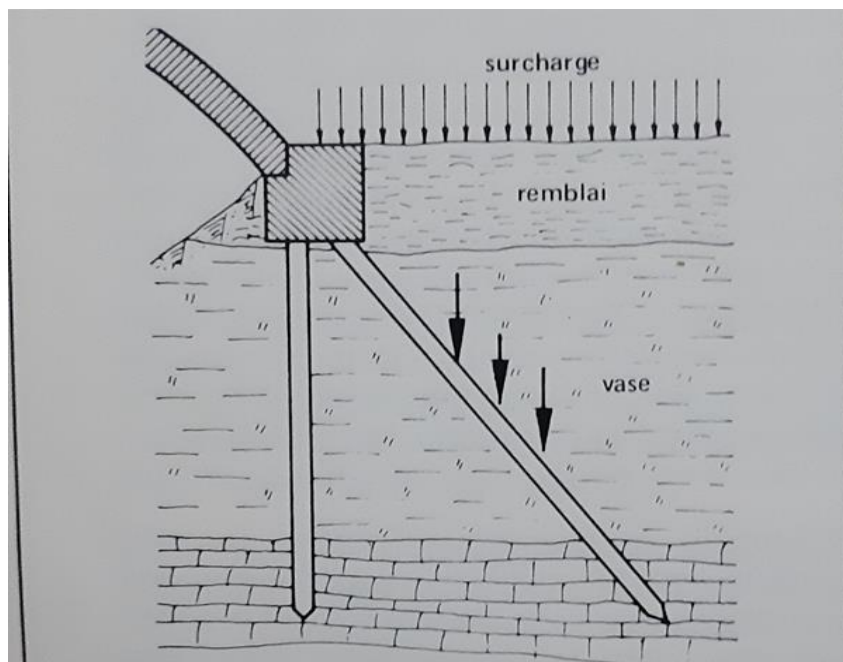


Figure II.33 : Le remblai peut créer des flexions sur les pieux inclinés plus que ceux-ci sont en général très comprimés [16].

### II.3 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons mis en évidence les principales causes de détérioration et de défaillance des fondations en béton armé.

Les causes se résument principalement :

- Absence ou mauvaise étude de sol
- Erreurs de conception
- Erreur de réalisation
- Absence de dispositif empêchant l'infiltration des eaux dans le proximité immédiate des bâtiments.

# **Chapitre III :**

## **Techniques de reparations des fondations**

### III.1 Introduction

Les ouvrages de fondation constituent l'interface entre les superstructures et le sol d'assise ; comme toute construction, ils doivent faire l'objet d'un entretien adapté, soit pour pallier un vieillissement prématuré ou remédier à des défauts d'origine, soit pour prendre en compte les conséquences de modifications intervenues depuis la construction de l'ouvrage dans ses conditions d'exploitation ou dans son environnement.

### III.2 Démarches d'analyse des désordres des fondations

L'analyse des désordres des fondations et structures d'un ouvrage peut se résumer aux investigations suivantes :

- ✓ Inventaire ;
- ✓ Causes (étude du dossier technique «conception») ;
- ✓ Évolution (mesures par extensomètre et témoins) ;
- ✓ Surveillance (analyse des mesures sur une période suffisamment longue) [24].

#### III.2.1 Causes des pathologies des fondations

Premièrement, il faut savoir quelles sont les causes des fissures de fondation. En effet, pour éviter les récurrences après les réparations, il faudra régler le problème à la source quand cela est possible. Les principales causes de fissures sur les murs de fondation sont les suivantes :

- Le gel et le dégel ;
- Un drain défectueux ou un drain bouché ;
- Les mouvements du sol ;
- La présence de pyrite ;
- Un compactage déficient lors de la construction [25].

La réparation est toujours la conséquence de l'apparition d'un désordre apparent ou de l'aggravation d'un désordre. Les causes de ces désordres sont évidemment multiples mais peuvent se classer en certain nombre de catégories bien distinctes :

- a. *Erreur sur la connaissance géologique et hydrodynamique des sols*

Ce cas est beaucoup plus fréquent qu'on ne le pense, car, pour des raisons d'économie ou même quelquefois de négligence, certains maîtres d'ouvrages ne font faire aucune campagne de reconnaissance sur le site où ils ont choisi de construire. Ils se contentent quelquefois d'une vague coupe de terrain récupéré sur un site éloigné de plusieurs centaines de mètres, quand ce n'est pas de plusieurs kilomètres.

On passera ainsi, à côté des éléments suivants très importants pour le projecteur :

- ✓ Variations importantes de la géologie locale ;
- ✓ Remontées importantes de la nappe phréatique ;
- ✓ Existence de vides de dissolutions (gypse), d'une zone karstique d'anciennes exploitations de carrières plus ou moins remblayées ou de fontis plus ou moins comblés ;
- ✓ Existence de zones notoirement instables ou de surfaces de glissement de terrain possibles.

**b.** *Erreurs, insuffisances, ou absence d'essais de laboratoires ou in situ*

La détermination des caractéristiques physiques et mécaniques du sol de fondation est indispensable pour le bureau d'études. Il est nécessaire qu'un géotechnicien détermine la consistance de l'étude de mécanique des sols qui sera réalisée, aussi bien sur le site qu'en laboratoire.

**c.** *Erreur sur les hypothèses de calcul et la définition des ouvrages*

Le cas est assez rare, les multiples contrôles au niveau de l'élaboration du projet devraient en fait permettre d'éliminer totalement la chose.

**d.** *Méconnaissance de la présence d'eaux agressives ou, lorsque ces eaux sont connues, utilisation de matériaux inadaptés à la nature chimique de ces eaux.*

**e.** *Non-prise en compte de l'effet de barrage que certains ouvrages (parois moulées) peuvent constituer vis-à-vis de la nappe ou de certaines circulations d'eau.*

**f.** *Malfaçons : si elles sont relativement rares, elles peuvent par contre être extrêmement variées, par exemple*

- ✓ Pieux trop courts ou n'atteignant pas le substratum rocheux ;
- ✓ Pieux coupés au bétonnage ou pieux étranglés ;
- ✓ Radiers insuffisamment armés ou dont les deux lits d'armatures sont confondus ;

- ✓ Bétonnage en présence de circulation d'eau (bétons délavés) ;
- ✓ Aciers de liaison insuffisants ou inexistant.

*g. Utilisation des ouvrages d'une manière non conforme à leur destination*

Ce sera le cas lorsque les charges de service dépasseront les charges de calcul ou encore lorsque le terrassement devant une paroi moulée dépassera la cote prévue et de ce fait diminuera la butée en pied de paroi prise en compte dans les calculs.

*h. Causes accidentelles : elles peuvent être multiples également :*

- ✓ Travaux ou fouilles à proximité des ouvrages ;
- ✓ Incendies, explosions, etc. sans parler des tremblements de terre et autres cataclysmes qui sortent du cadre de cette analyse ;
- ✓ Efforts horizontaux non-prévus au projet [24].

### III.2.2 D'autres causes

Il peut s'agir de l'une quelconque des causes précédentes, mais aussi de causes connues et programmées avant l'apparition des désordres et notamment :

- a. Chargement ou remblaiement d'un ouvrage en cours d'exécution, pas envisagé ou non conforme aux hypothèses de calculs du bureau d'étude.
- b. Changement de destination et d'utilisation des ouvrages, augmentation des charges, augmentation des portées, suppression de butons ou de tirants.
- c. Modification des conditions extérieures : c'est le cas des phénomènes liés aux remontées de nappe, qui se traduisent par :
  - ✓ Une augmentation des efforts sur les voiles et radiers ;
  - ✓ Des compressions dans les poutres et planchers ;
  - ✓ Des problèmes de stabilité d'ensemble ;
  - ✓ Des problèmes de traction sur les pieux.
- d. Projet de travaux à proximité immédiate :
  - ✓ Fouilles et terrassements de toute nature ;
  - ✓ Fouilles profondes à proximité des ouvrages, reprises en sous-œuvre ;
  - ✓ Suppression de butées près d'ouvrages de soutènement ou près d'ouvrages enterrés travaillant en voûte (métro).
- e. Modification de la nature d'un ouvrage, par exemple le remplacement d'un radier drainant avec pompage permanent, par un radier résistant et étanche, est de nature à

remettre en cause, en cas de remontée de nappe, la stabilité d'ensemble de tout l'ouvrage.

### III.2.3 Types de fissures des fondations

Les fissures sur les murs de fondation peuvent être soit passives, ou actives. Les fissures passives ne prennent pas d'expansion, donc restent stables. Elles ne nécessitent pas de travaux urgents. Quant à elles, les fissures actives continuent de prendre de l'expansion, et nécessitent donc des travaux urgents [25].

## III.3 Diagnostic

Le diagnostic de pathologie de la construction repose principalement sur un examen visuel in situ. Un diagnostic incorrect peut conduire à des décisions inappropriées qui entraînent une perte de temps et d'argent. [26].

### III.3.1 Méthodologie de diagnostic

Les interventions de diagnostic à effectuer doivent être correctement planifiées avant de commencer les réparations. Il est crucial d'identifier les facteurs qui peuvent affecter le succès de la réparation, notamment:

- ✓ La nature du sol, l'identification des éléments structurels affectés, la teneur en humidité du sol,
- ✓ Les conditions intérieures du bâtiment et de ses environs et leurs emplacements respectifs. Avec la planification et les recherches effectuées, le critère est établi pour définir la technique correcte dans chaque cas, obtenant ainsi un plus grand succès dans la résolution du problème. En raison de la difficulté et de la variabilité des facteurs, il existe une certaine imprévisibilité dans les résultats [26].
- ✓ Le choix de la réparation doit s'appuyer sur un diagnostic complet pour connaître l'origine de la pathologie, en étudiant l'efficacité attendue de la réparation et en la corrélant avec le coût de la réparation.

**La méthodologie adoptée pour le diagnostic des troubles observés est basée sur l'examen visuel in-situ, et consiste à exécuter les étapes suivantes :**

1. Recueillir toutes les informations techniques et graphiques du bâtiment (plans d'architecture, plan de génie civil, date de construction, matériaux de construction, type de structure porteuse)

2. Prende des images à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment.
3. Inspectant l'environnement immédiat du bâtiment, cette inspection permet de détecter s'il y a par exemple des traces d'humidité, des fissures sur les bâtiments de proximité, des stagnations d'eau à proximité du bâtiment, des canalisations d'eau de pluie endommagées.
4. Réalisation des témoins avec plâtre sur les fissures, afin de suivre leur évolution
5. Perce des trous dans le sol près des fissures dans les murs,
6. Réalise une étude géotechnique pour déterminer les nouvelles propriétés du sol de fondation dans les nouvelles conditions hydrogéologiques.
7. Sur la base des données recueillies, dressde un plan d'action pour commencer à réparer les éléments structurels endommagés.

De plus, le pré-diagnostic doit faire un état des lieux de la situation technique et fonctionnelle du bâtiment, ainsi que de son environnement. Ces informations facilitent la compréhension des pathologies et aident le technicien dans la prise de décision pour mener à bien l'intervention [26]

## III.4 Réparation des fondations

### III.4.1 Différentes techniques pour la réparation de fissures sur une fondation

Avant de réparer une fissure de fondation, il est important de diagnostiquer la cause de la fissure et ses effets sur la structure du bâtiment. L'importance de toute fissure de fondation dépend de la cause, de la taille, de la forme, du motif, de l'emplacement, des matériaux de fondation, de l'étendue de la fissuration, de l'impact de la fissure sur le bâtiment et certains autres facteurs. Tout dépend du type et de la taille de la fissure, différentes techniques seront utilisées pour la réparation de fissures sur une fondation. Il est bon de savoir quelles sont ces méthodes. Voici les principales techniques pour la réparation de fissures sur une fondation [25].

#### III.4.1.1 Injection d'époxy

Cette méthode non-seulement arrête l'eau mais elle fournit également une résistance structurelle. L'époxy remplit la fissure et colle le béton. Sa résistance et sa liaison avec le béton dépassent largement la résistance du béton lui-même et empêchent un allongement

Supplémentaire des fissures. Cependant, il est important de noter que si la cause sous-jacente de la fissure n'est pas éliminée, une nouvelle fissure de fondation peut se développer parallèlement à la fissure réparée.

L'époxy adhère uniquement aux surfaces sèches, ce qui rend impossible la réparation des fissures qui fuient ou qui sont humides. L'époxy ne se dilatant pas, les fissures capillaires nécessitent un époxy à faible viscosité, tandis que les fissures larges ont besoin d'un gel époxy épais [25].

#### **III.4.1.2 Injection de polyuréthane**

Comme plus de 95% des fissures sur les murs du sous-sol sont non structurelles, le polyuréthane expansible est le meilleur choix dans la plupart des cas. Bien que cette méthode n'ajoute pas de résistance structurelle, elle forme une barrière qui est impénétrable à l'eau. Il reste flexible, permettant le mouvement naturel continu du béton en raison du retrait thermique et de l'expansion ou de la prise. Il se liera avec ténacité au béton sec ou humide et peut être utilisé pour réparer les fissures humides ou qui fuient [25].

#### **III.4.1.3 Injection de béton à basse pression**

Cette méthode remplira de façon permanente toute la profondeur de la fissure afin d'empêcher l'eau de pénétrer [25].

#### **III.4.1.4 Injections sous fondations**

Elles sont réalisées par injections de résines plus ou moins expansives. Lorsque les désordres sont limités et que les sols d'assise ne sont pas très sensibles au phénomène de gonflement, il est parfois réalisé un traitement par injection à la résine à partir d'un réseau de forages de petit diamètre réalisés sous les fondations. Cette technique présente l'avantage de conserver le fonctionnement mécanique de la semelle sur appuis répartis uniforme.

### III.4.2 Reprises-en sous-œuvre

Lors d'une nouvelle construction, il arrive que l'emplacement de la fondation ait une incidence sur d'autres fondations déjà existantes. L'une des étapes importantes lors de l'exécution du chantier consiste alors à réaliser une reprise en sous-œuvre pour stabiliser la nouvelle et l'ancienne fondation. Plusieurs techniques sont utilisées actuellement pour la reprise en sous-œuvre [27].

Lors d'une construction, la reprise en sous-œuvre peut être utile quand l'un de ces cas se présente :

- La nouvelle fondation doit être réalisée sous une fondation existante, avec une ligne de pente supérieure à 2/3, nécessitant la transmission des charges verticales à un niveau plus bas.
- La nouvelle fondation est mitoyenne à une fondation déjà existante, nécessitant de ce fait la reprise de poussées horizontales des terres qui sont l'appui de la fondation [27].

#### III.4.2.1 Etudes à réaliser avant la reprise en sous-œuvre

Vu la diversité des techniques de reprise en sous-œuvre, il faut effectuer quelques études préalables pour choisir la bonne technique. Voici les paramètres à retenir avant le choix de la technique de reprise en sous-œuvre :

##### III.4.2.1.1 Sol

Si possible il faut commencer par voir les cartes géologiques pour déterminer la nature du sol. Il est aussi recommandé de procéder à l'étude des échantillons du sol au laboratoire ou par des essais sur place. Il est par ailleurs nécessaire de déterminer le positionnement de la nappe phréatique par rapport aux fondations. L'étude du sol est un paramètre qui influe grandement sur le choix de la méthode de reprise en sous-œuvre à appliquer. Il va aussi permettre d'évaluer la profondeur de l'intervention [27].

##### III.4.2.1.2 Structures

Il faut aussi étudier la structure du bâtiment qui aura besoin des travaux de reprise en sous-œuvre. Cela est nécessaire pour éviter les erreurs de répartition des charges pendant l'exécution du chantier et une fois qu'il est terminé. L'étude des structures consiste à

déterminer les éléments porteurs ainsi que les descentes de charges. C'est aussi une étude requise pour situer les probables zones de désordre [27].

### III.4.2.1.3 Fondations

Étant donné que la reprise en sous-œuvre se fait au niveau des fondations, il est logique d'étudier aussi le type de fondations, sa profondeur, son état, la nature du sol d'assise et son état ainsi que l'état du ferrailage. Cette étude pourra être effectuée par fouilles manuelles [27].

### III.4.2.1.4 Paramètres environnementaux

L'étude va se pencher sur les types d'ouvrage en sous-sol se trouvant près des futures fondations, sur les cavités artificielles (carrière, puits), l'accès au chantier (plus difficile en milieu urbain).

Si toutes ces études sont réalisées dans les normes, il est évident que la reprise en sous-œuvre se déroule dans les bonnes conditions [27].

### III.4.2.2 Techniques de reprise en sous-œuvre

Selon la structure du bâtiment et la nature du terrain sur lequel sera réalisée la construction, il existe divers types de reprise en sous-œuvre [27].

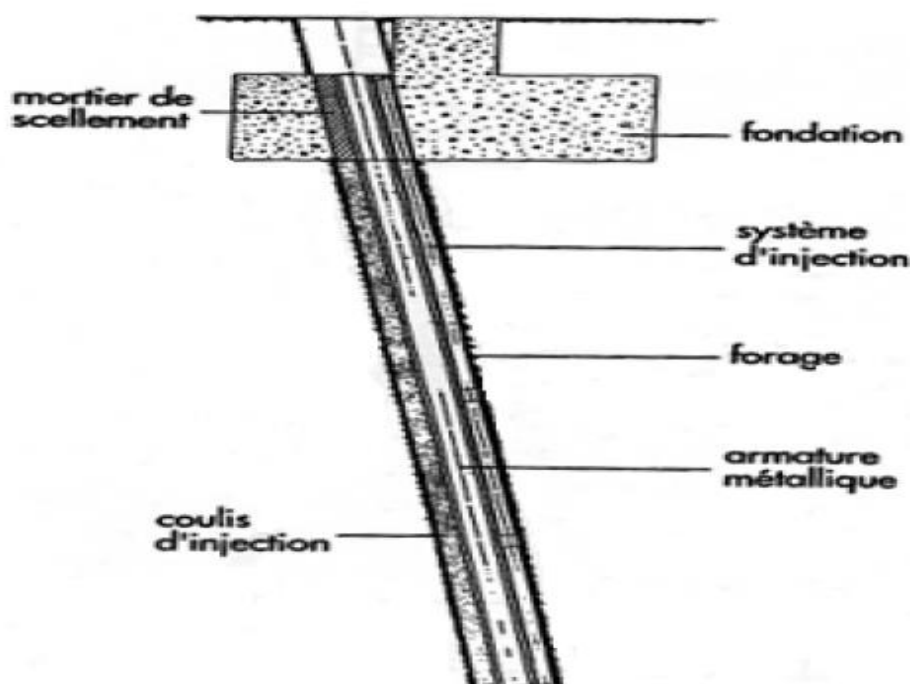


Figure III.1: Principe de reprise en sous œuvre [28]

#### III.4.2.2.1 Reprises-en sous-œuvre par augmentation de la surface d'appui

Cette technique est préconisée quand la surface d'appui de la semelle n'est pas suffisante notamment quand le sol va être surchargé. On procède alors à l'augmentation de la surface d'appui lors de la reprise en sous-œuvre [27].

#### III.4.2.2.2 Reprises-en sous-œuvre sur semelles filantes

Si on peut accéder à tous les côtés des semelles filantes, il faut alors faire passer de place en place, sur la fondation existante, des traverses. Des longrines en béton armé seront ensuite placées à chacune des extrémités qui longent la fondation existante. A noter que la largeur de chaque longrine est fonction de la surface ainsi que celle de la semelle existante [27].

#### III.4.2.2.3 Reprises-en sous-œuvre sur semelles isolées

Dans le cas d'une semelle en béton, le renfort consiste à placer le nouveau béton sera serré sur le noyau intérieur du béton ancien. Ce dernier sera repiqué à la surface pour une bonne liaison entre les deux bétons [27].

#### III.4.2.2.4 Reprises-en sous-œuvre par report des charges en profondeur

Quand il n'est pas possible d'élargir ou d'améliorer le sol ou quand il est utile de réaliser un approfondissement jusqu'à une partie plus résistante, la reprise en sous-œuvre par report des charges en profondeur est utile [27].

#### III.4.2.2.5 Reprises-en sous-œuvre au niveau inférieur de la fondation

Lorsqu'il existe un substratum compact à moins de 3 mètres de profondeur, une reprise en sous-œuvre par plots ou longrines béton peut être appliquée. La technique consiste à terrasser par phase sous les fondations et à placer du béton afin d'approfondir l'assise des fondations jusqu'au substratum compact et insensible aux variations hydriques [29].

#### III.4.2.2.6 Reprises-en sous-œuvre par puits alternés

Cette méthode est requise pour les terrains à superficie faible. Pour commencer, on procède à une excavation à parois verticales puis à un étalement de la fouille pour repérer les fondations du bâtiment. Par la suite, on creuse des puits jusqu'à la profondeur adéquate aux normes de sécurité. Enfin, on bétonne les puits. A noter que cette méthode n'est pas

recommandée quand il y a présence de nappe phréatique dans le sol, au risque d'éboulement [27].

- **Plots discontinus reliés ou non par une longrine**

Une variante de la reprise en sous-œuvre classique par plots alternés est la reprise en sous-œuvre discontinue. Au lieu de former une bande continue sous la fondation existante, la reprise en sous-œuvre est réalisée par plots séparés. La distance entre les plots est déterminée par la résistance de la fondation existante. Elle peut être une solution économique dans des circonstances favorables et est spécialement adaptée au cas où les fondations existantes sont en béton armé. Une reconnaissance de la quantité de ferrailage dans la fondation existante est nécessaire.

Cette technique consiste donc à reporter les charges de la construction dans un terrain de bonnes caractéristiques mécaniques et insensible aux variations hydriques, au moyen de plots en gros béton. Ceux-ci sont généralement creusés de façon manuelle, avec blindage pour tenir les parois de fouille lorsque nécessaire. Le bétonnage se fait en deux étapes, avec mise en œuvre d'un gros béton presque en sous-face de semelle (environ 10 cm), puis un calage au mortier sans retrait assurant le contact semelle/plot, mis en œuvre deux à trois jours après le gros béton.

La reprise en sous-œuvre par plots continus (puits et poutres) est réalisable dans la plupart des conditions de terrain, à condition que la machine de forage puisse accéder autour de la construction. Toutefois, elle tend à devenir économique seulement pour des profondeurs supérieures à 4 m environ. Les excavations peuvent être effectuées dans les sols lâches ou gorgés d'eau en utilisant un blindage de tranchée, mais cela augmente considérablement le coût. Cette reprise en sous-œuvre est particulièrement adaptée aux argiles sensibles au retrait et gonflement, dont on attend la poursuite de leurs variations de volume. Les plots peuvent être excavés jusqu'à la profondeur où les effets du retrait et du gonflement sont minimaux et, à condition que leurs parois soient protégées contre les effets du frottement latéral, le bâtiment peut être isolé des effets des futures variations de volume du sol (figure III.2) [15].

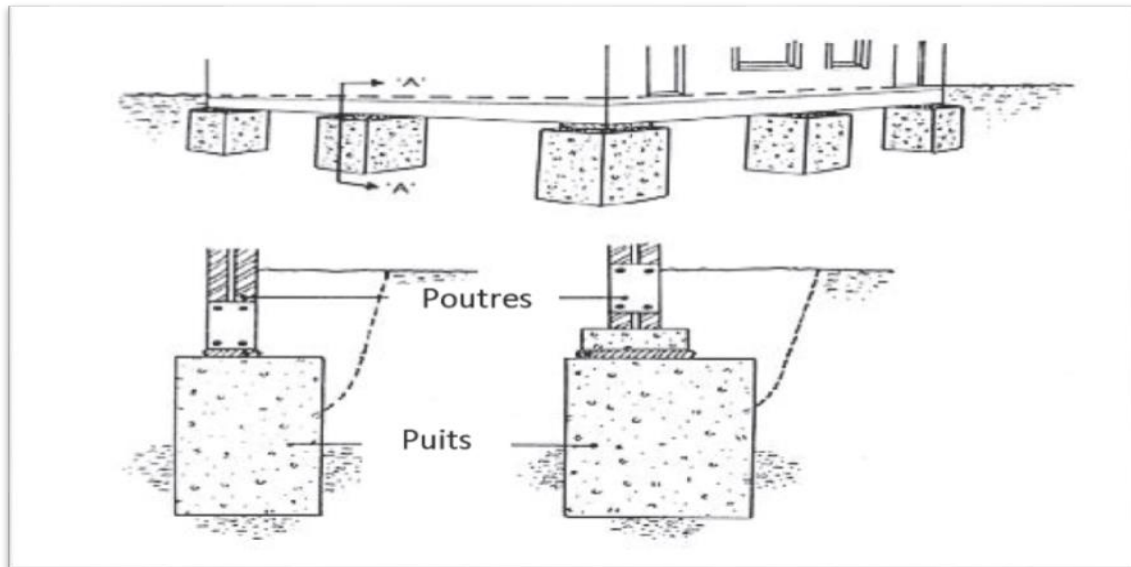


Figure III.2 : Reprises-en sous-œuvre par plots discontinus (puits et poutres) [15]

### III.4.2.2.7 Reprises-en sous-œuvre par micropieux

Il s'agit d'une technique qui vise à reporter les charges en profondeur en se servant de micropieux (Figure III.3) (diamètre inférieur à 250 mm). Ces derniers sont ensuite armés de tubes métalliques puis fixés au terrain par un coulis de ciment. Si le mortier est injecté par pression, trois types de micropieux peuvent être utilisés à savoir l'injection gravitaire (type II), l'injection globale unitaire de coulis de ciment (type III) et l'injection répétitive et sélective (type IV) [27].

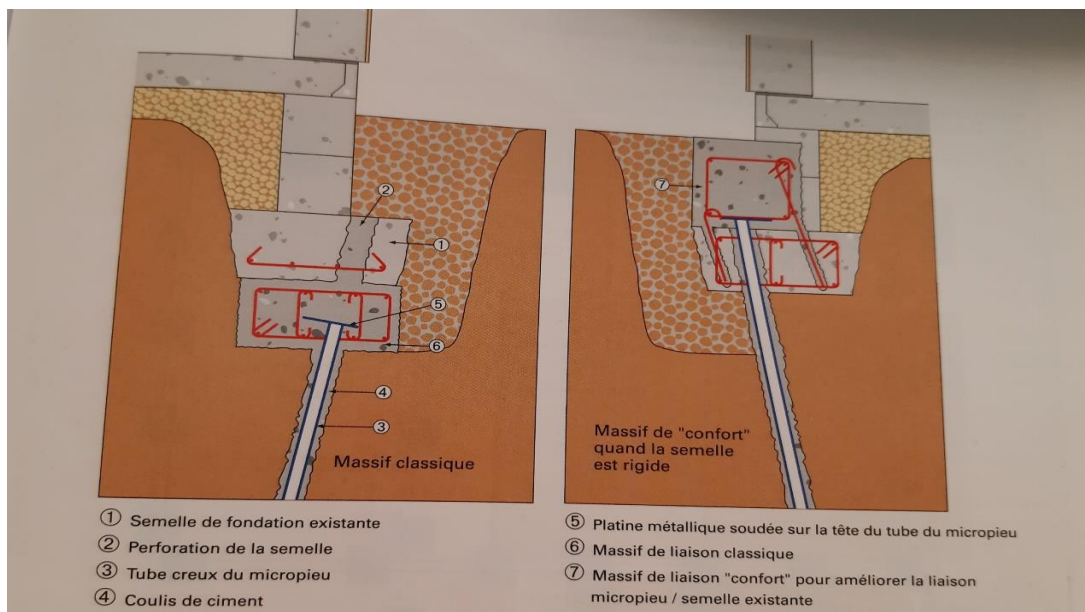


Figure III.3: Reprises-en sous-œuvre par micropieux [2]

### III.4.2.2.8 Reprises-en sous-œuvre par pieux

Il s'agit d'une technique consistant à créer une longrine reprise par des consoles en tête des pieux. Les tubes sont formés par des pièces de 1,5 m qui sont assemblés entre eux au cours de la descente [27].

### III.4.2.2.9 Reprises-en sous-œuvre au niveau de la fondation

#### a- Transfert des charges

Il peut être nécessaire d'assurer un transfert des charges de part et d'autre de la zone de Travail. Ce transfert peut être réalisé de plusieurs façons : longrines ou chaînage horizontal, pontage, étreinte latérale par précontrainte, report sur des camarteaux...

Dans le cas particulier de reprise de poteaux porteurs, ce transfert est une opération particulièrement complexe.

Dans toute la mesure du possible, les charges mobiles sont déplacées hors de la zone de reprise [30].

- Augmenter la surface pour réduire la contrainte sur le sol, augmenter la rigidité et renforcer le ferrailage de la semelle [30].

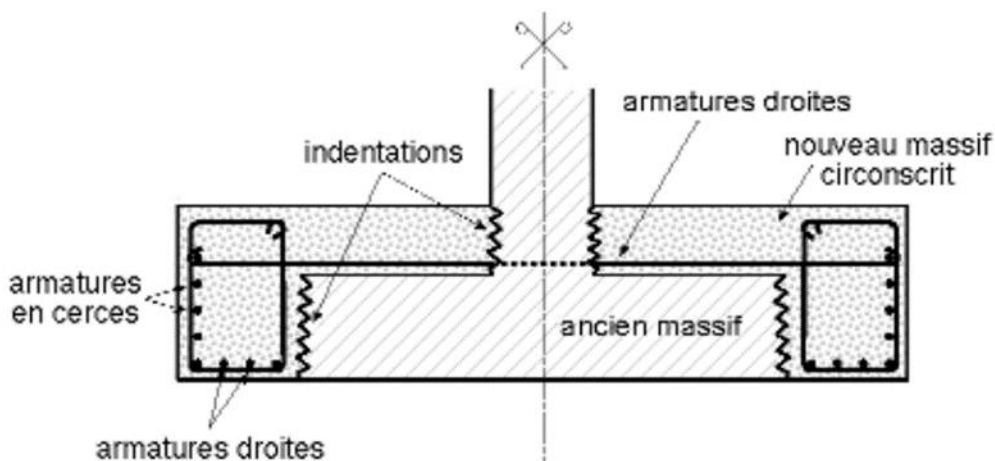


Figure III.4: Augmentation de la surface de la semelle avec surépaisseur [30].

- Augmenter la surface pour réduire la contrainte sur le sol et renforcer le ferrailage de la semelle (Figure III.5) [30].

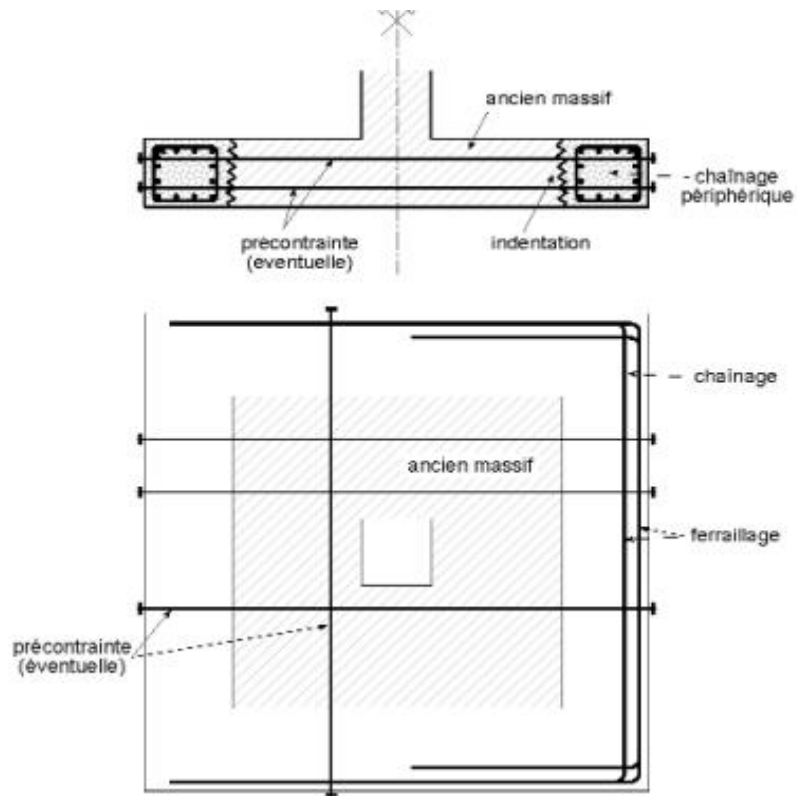


Figure III.5: Augmentation de la surface de la semelle sans surépaisseur [30].

- Augmentation de la rigidité de la semelle et de la section du poteau (la surface au sol est suffisante vis-à-vis de la contrainte) (Figure III.6) [30].

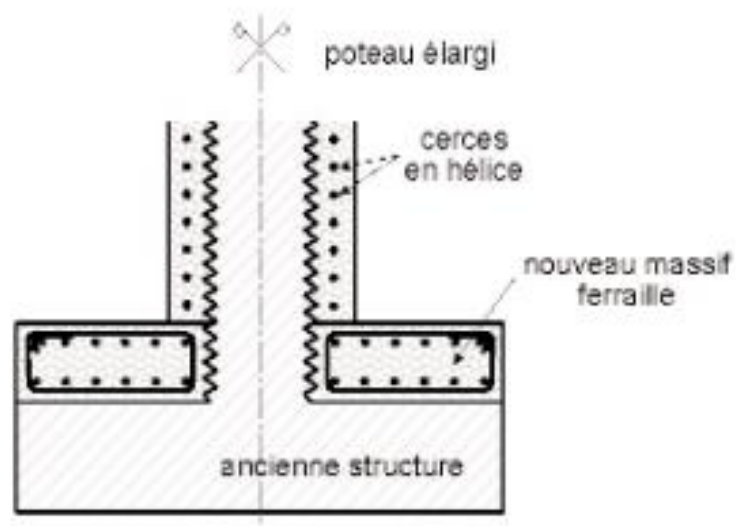


Figure III.6: Pas d'augmentation de la surface de la semelle [30].

- Trouver la portance nécessaire par reprise en sous-œuvre (Figure III.7) [30].

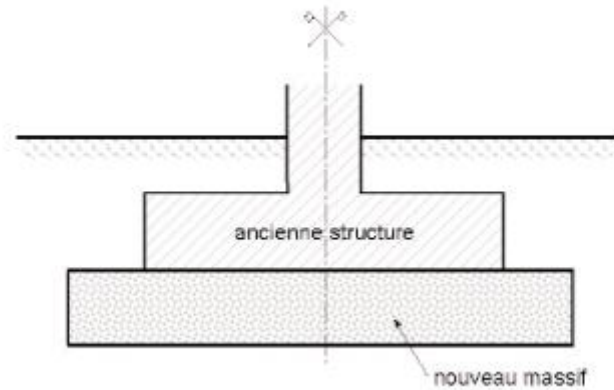


Figure III.7: Renforcement de fondation à un niveau inférieur au niveau d'origine [30].

### III.4.2.3 Transmettre par des micro-pieux les charges jusqu'au bon sol

Cette technique est utilisée dans le cas de sol fragile. Elle consiste à implanter des micro-pieux qui descendent profondément vers le bon sol au-dessous des semelles existantes. Cette solution nécessite des sondages préalables afin de reconnaître le sous-sol et le niveau du bon sol. Ainsi, elle nécessite la technicité et la main d'œuvre spécialisée dans ce type de travaux pour éviter les problèmes imprévus.

Les micro-pieux sont des pieux de petit diamètre (15 à 20 cm), forés par rotation pour éviter toute vibration ou choc au-dessous des semelles existantes. Ces pieux sont armés d'un ferrailage tendu formant du béton compact précontraint, afin de supporter des charges élevées malgré leur petit diamètre. Ils seront intégrés à l'intérieur de la maçonnerie de la fondation afin d'assurer une parfaite liaison [31].

### III.4.2.4 Rigidifier la structure

Lorsque la semelle de fondation doit être renforcée, une longrine périphérique en béton armé peut être réalisée.

Une technique relativement nouvelle, appelée « corsetage », consiste à couler une poutre en béton armé autour du périmètre du bâtiment, habituellement au niveau du sol. La poutre est connectée à la maçonnerie au moyen d'armatures d'acier et de « goujons » et la poutre est ensuite mise en tension en utilisant une clé dynamométrique ou un vérin hydraulique. Le corset rigidifie le bâtiment au niveau de la fondation et l'aide à ponter les zones locales de tassement [15].

### III.4.3 Exemple

- **Cas Réhabilitation du Bâtiment.**

Cette étude concerne un bâtiment en béton armé de 3 étages et vide sanitaire situé à Laghouat en Algérie, à usage d'habitation, dont l'exploitation a commencé en 1985. La structure est conçue comme un système de poteaux poutres avec des fondations en semelles isolées et des planchers en dalles pleines. Il fait partie d'un groupe de six bâtiments. (Figure III.8) [26].



Figure III.8 : Bâtiment (R + 3)

Cette étude tente d'identifier la nature, l'origine, les directions des fissures, l'intensité et l'incidence de la défaillance des fondations, en plus de diagnostiquer et de pronostiquer, ainsi que de vérifier les propriétés structurelles du bâtiment et de proposer la solution de confrontation pour conduire à un bâtiment avec un niveau de sécurité acceptable [26].

- **Pré-diagnostic**

Un pré-diagnostic exemen l'apparition de fissures inclinées à  $45^\circ$  sur les murs extérieurs en cloisons doubles et sur les cloisons en carreaux de plâtre (figure III.9), ces fissures ont commencé à apparaître en 1997 [26].



Figure III.9 : Fissures dans les murs extérieurs et intérieurs

- **Diagnostic**

Des sondages pour diagnostiquer les fondations ont été effectués, après sondage, la figure 10 montre que le sol était complètement saturé en eau sanitaire. Cette constatation (figure III.10) montre clairement que les tuyaux sanitaires du bâtiment sont endommagés, et que le sol de fondation est complètement saturé [26].



Figure III.10 : Le sol des fondations est complètement saturé et le collecteur sanitaire a été endommagé Il a été recommandé à l'entreprise d'enlever les déblais sous les fondations et de les réparer en alternance pour éviter tout mouvement brusque du bâtiment et assurer la sécurité des travailleurs. Lors de l'enlèvement des déblais sous les premières fondations et colonnes d'amorces, il a été constaté que sont fortement endommagés [26].



Figure III.11: Colonnes primaires rouillées et fissures importantes dans la fondation



Figure III.12: Coulée de fondation sans coffrage [26].

De plus, une étude complémentaire du sol a été recommandée. Cette étude montre que la capacité portante du sol est réduite de 50% par rapport à la capacité portante initiale, causée par les nouvelles conditions de changement de teneur en eau du sol.

D'autres problèmes de malfaçon ont été constatés, à savoir le coulage des fondations sans coffrage ou l'épaisseur des fondations présentent quelques différences par rapport aux plans (figure III.12) [26].

- **Réparations**

Parmi les objectifs de réparation figure le rétablissement de la durabilité du béton, des éléments et de réduire considérablement le taux de détérioration. Il convient de noter que, dans la plupart des cas où la corrosion des métaux incrustés est la cause de la détérioration, il n'est pas possible d'empêcher complètement une détérioration future [26].

La principale cause des désordres est la présence d'eau dans le sous-sol du bâtiment qui a ramolli l'argile dont les caractéristiques ont fortement baissé. L'étude du sol en 1980 montre que le sol était décrit comme un bon sol avec une contrainte admissible de 3 Bars ; et a préconisé l'utilisation d'un ciment de type HTS [26].

La première opération a consisté à éliminer la cause principale de l'incident, à savoir l'arrêt de toute alimentation en eau au sous-sol de l'immeuble. Pour cela, une déviation totale des canalisations d'évacuation des eaux usées de l'emprise du bâtiment a été réalisée (figure III.13).



Figure III.13: Nouvelles conduites d'égout pour évacuer les eaux usées

La méthodologie de réparation de pathologie adoptée est le renforcement des fondations et des amorces poteaux, cette réparation a été réalisée par chemisage. Les figures 14 et 15 montrent le principe de renforcement [26].

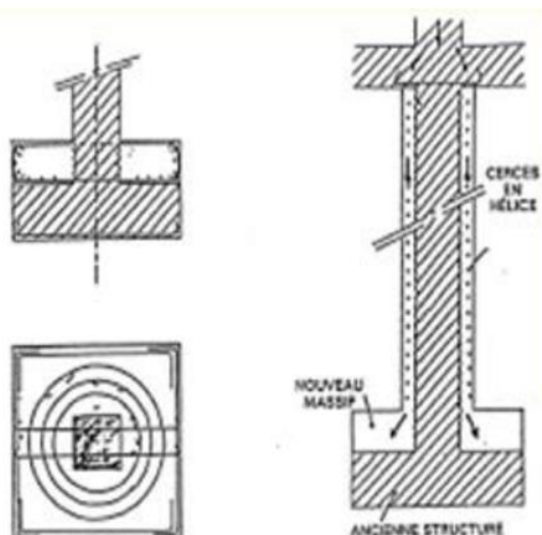


Figure III.14: Renforcement de la fondation avec augmentation de l'épaisseur de la fondation sans augmentation de la surface [26].

Dans le premier cas (figure III.14), les Objectifs de ces réparations de fondations sont:

- Réduction de la pression au sol sous les charges supplémentaires M et N au poids propre,
- Augmentation de la capacité portante (modification d'usage) renforcement (dégradé) de la fondation,
- Augmentation de la rigidité et du renforcement de la fondation.

Pour les fondations fissurées et les amorces poteaux endommagées, reprendre les charges transmises, nous avons recommandé de réaliser les fondations et les amorces poteaux avec chemisage (figure III.15) [26].

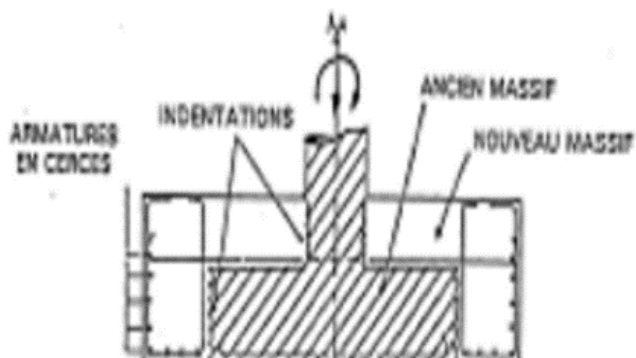


Figure III.15 : Fondation de renforcement avec augmentation de la surface et augmentation de l'épaisseur de la fondation [26].

Dans le second cas (figure III.15), les objectifs de cette réparation :

- augmentation de la section et de la capacité de charge de la colonne.
- augmenter la rigidité de la fondation si la zone d'assise est telle que la pression sur le sol est acceptable.

Deux types armatures ont été utilisées, la surépaisseur adoptée des fondations endommagées est de 20 cm avec des barres renforcées diamètre 14 mm espacées de 10 cm, la même épaisseur est adoptée pour réparer les colonnes d'amorces, les barres des cadres transversaux renforcés étaient en 10 mm espacées avec 10cm afin d'augmenter leurs sections transversales.

Le nouveau béton est dosé à 400 kg / m<sup>3</sup> de ciment résistant aux sulfates HTS avec ajout d'adjuvant; la surface de contact entre l'ancien et le nouveau béton doit être brossée pour enlever toute rouille (figure III.15) [26]



Figure III.16 : Renforcement des fondations et des amorces poteaux [26].

La (figure III.16) suivantes montre, les fondations et les amorces poteaux après réparation, toutes les fondations sont peintes avec une protection au bitume [26].



Figure III.17 : Colonnes de fondation et d'amorce après réparation [26].

La (figure III.18) montre le bâtiment après réparation



Figure III.18 : Bâtiment après réparation [26].

### III.5 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons mis en techniques de réparation des pathologies des fondations ont été pannées en revrue. Les étapes de diagnostic nécessaires pour mener et choisir la méthode de réparation la plus appropriée sont décrites. De plus, la réparation des pathologies des fondations est une opération qui n'est pas facile à mener, il faut une main d'œuvre spécialisée et des conditions de sécurité strictes. A cet effet, la prévention reste le moyen le plus efficace à toutes les étapes de construction (de la conception à la réalisation).

# **Conclusion Générale et Recommandations**

## Conclusion générale

L'étude des pathologies des fondations des structures en béton armé est une science de grande importance dans le domaine de la construction, car ces pathologies affectent grandement la durabilité et la sécurité des bâtiments. Les fondations forment le lien entre la structure et le sol. Ils permettent le transfert des charges de la structure au sol. Si ces éléments structurels sont endommagés, ils affectent la stabilité générale et peuvent entraîner des pertes matérielles voire humaines en cas d'effondrement.

Il existe 3 types de fondations : les fondations superficielles et les fondations profondes, chaque type de fondation à ses propres utilisations en fonction de la capacité portante du sol et de l'importance du bâtiment.

Les performances du bâtiment tout au long de sa vie ne peuvent être séparées de la contribution de la fondation en tant que structure de sol qui assure stabilité et support. Les fondations interceptent les charges de la superstructure et transfèrent les charges en les répartissant sur une surface suffisamment grande pour tirer parti d'une résistance maximale du sol.

Toutes les charges et forces transférées au sol de fondation entraîneront un mouvement admissible, et une fondation qui a subi plus de mouvement qu'elle ne peut en supporter entraînera une défaillance. La perte de capacité portante des fondations des bâtiments est l'une des pertes les plus courantes pouvant conduire à la ruine complète des bâtiments.

Il a été constaté que les pathologies affectent davantage les fondations superficielles que les fondations profondes, principales causes de détérioration et de défaillance des fondations en béton armé.

Pour plusieurs raisons principales, des études de sol inadéquates, des erreurs dans la conception des fondations, une mauvaise qualité des fondations, des travaux de fondation défavorables et des changements dans les conditions du site, attaques environnementales, infiltrations d'eau sous les fondations.

La perte de capacité portante des fondations des bâtiments est l'une des pathologies les plus graves pouvant entraîner la ruine complète des bâtiments, et ce problème concerne tous les acteurs du processus de construction, tels que les ingénieurs, les concepteurs et les

entreprises de finition. De plus, le coût de réparation d'une fondation endommagée est assez élevé par rapport à son coût initial.

Après avoir examiné les principales raisons de la détérioration et de la défaillance des fondations en béton armé, qui ont conduit à la destruction de l'ensemble de la structure ou à l'apparition de fissures évidentes montrant que la fondation est dégradée, il est supposé que des solutions et des techniques seront trouvées pour aider à traiter ces pathologies pour la sécurité et la durabilité de la structure.

La réparation des pathologies des fondations est une opération qui n'est pas facile à mener, il faut une main d'œuvre spécialisée et des conditions de sécurité strictes. A cet effet, la prévention reste le moyen le plus efficace à toutes les étapes de construction (de la conception à la réalisation).

## **Recommandations**

Afin d'éviter les désordres dans les fondations les dispositions suivantes doivent être respectées :

- La distance entre les bâtiments doit être telle que l'on puisse prendre en compte les tassements ;
- Isolation adéquate des fondations pour éviter la détérioration du béton due à la présence d'eaux souterraines ou de substances nocives ;
- Conception appropriée du système d'égouts pour éviter les fuites ou les infiltrations d'eau sous les fondations ;
- Éviter de creuser profondément à côté des fondations des bâtiments existants à moins que des murs de soutènement et des côtés d'excavation ne soient fournis ;
- Lorsque des défauts et des dégradations apparaissent sur les fondations, ils doivent être réparés immédiatement afin que l'état de la structure ne se détériore pas, ce qui aggrave la situation et les travaux de réparation deviennent plus intensifs et donc des frais appliqués plus élevés.

## **Références Bibliographiques**

## *Références Bibliographiques*

- [1] A. P. Nangan II, T. U. Ganiron Jr, and D. T. Martinez, “Concrete foundation systems and footings,” *World Scientific News*, vol. 80, pp. 1–17, 2017.
- [2] Béchade Alain-Franck « la pathologie des fondations superficielle», Décembre (2014) bialec, Nancy (France). Page 4-261
- [3] Harouna mane abdou «étude technique des fondations du pont de katako à niamey/niger dans le cadre de la réalisation de l’échangeur diori. », [En Ligne]. Available : [Http://Documentation.2ieedu.Org/Cdi2ie/Opac\\_Css/Doc\\_Num.Php?Explnum\\_Id=2502](Http://Documentation.2ieedu.Org/Cdi2ie/Opac_Css/Doc_Num.Php?Explnum_Id=2502)
- [4] « Les différents types de fondations| techniques de l’ingénierie », 12 Décembre 2012 [En Ligne]. Available : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/techniques-du-batiment-construire-en-beton-arme-43805210/les-differents-types-de-fondations-tba1250/les-differents-types-de-fondations-sl10699917.html>
- [5] « les types de fondation – le guide de la maçonnerie » mercredi 12 avril 2017. [En ligne]. Available : <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/fondations/typologie>. [Accès le 28 Mai 2021].
- [6] « Les fondations profondes - Le guide de la Maçonnerie » jeudi 11 mai 2017. [En ligne]. Available : <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/fondations/profondes>. [Accès le 28 Mai 2021].
- [7] « Dossier special fondations- Dossier Bircomarché » [En ligne]. Available : <https://www.bricomarche.com/conseils/dossier-special-fondations> [Accès le 10 juillet 2021].
- [8] « Les pieux - Le guide de la Maçonnerie » lundi 15 mai 2017. [En ligne]. Available : <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/fondations/pieux> [Accès le 28 juin 2021].
- [9] BOUGUENINA Otbi, « Fondations et Soutènements », El Bayadh : Centre Universitaire – Nour Bachir El Bayadh 2017/2018 [En ligne]. Available :

<https://www.cu-elbayadh.dz/ar/wp-content/uploads/2018/01/Fondations-et-Sout%C3%A8nements-Final.pdf>

- [10] «Pieux préfabriqués battus |keller Algérie », [En ligne]. Available <https://www.keller-algerie.com/expertise/techniques/pieux-prefabriques-battus> [Accès le 21 juin2021].
- [11] Moula .Chouaib «Les Différents Types de Fondations Profondes et Leur» 16 juin 2020 [En ligne]. Available : <https://book4yours.blogspot.com/2020/06/les-differents-types-de-fondations-profondes-et-leur-classification.html> [Accès le 21 juin2021].
- [12] « les micropieux [les ouvrages de fondation] » [En ligne]. Available : [http://lycee-cherioux.fr/Mooc/fondations/~gen/fondation\\_web.publi/auroraW/co/Fondations\\_31.html](http://lycee-cherioux.fr/Mooc/fondations/~gen/fondation_web.publi/auroraW/co/Fondations_31.html). [Accès le 21 Mai 2021].
- [13] C. Derardja, « Types, causes et remèdes des dégradations des constructions existantes », Biskra : université de Biskra, 2004. [En ligne]. Available : <http://thesis.univ-biskra.dz/373/>
- [14] J. B. Kazmierczak, Retrait et gonflement des argiles : Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse, guide 3. Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l ... , 2017.
- [https://www.ifsttar.fr/fileadmin/user\\_upload/editions/ifsttar/guidetechnique/2017-GTI4.3-guidetechnique-Ifsttar.pdf](https://www.ifsttar.fr/fileadmin/user_upload/editions/ifsttar/guidetechnique/2017-GTI4.3-guidetechnique-Ifsttar.pdf).
- [15] « Comprendre les origines des tassements différentiels » 30 septembre 2014. [En ligne]. Available : <http://www.lyonpoleimmo.com/2014/09/30/33535/comprendre-les-origines-des-tassements-differentiels/>. [Accès le 17 Juin 2021].
- [16] Louis .logeais, « la pathologie des fondations », janvier 1982 AUBIN page 1-158
- [17] IS 1904-1986, Indian standard code of practice for design and construction of foundations in soils : general requirements BIS New Delhi, 2006.
- [18] A. Halicka و M. Grabias, Failures of Concrete and Masonry Structures : Identification of Damage and Causes. Politechnika Lubelska, 2016.

- [19] « Désordres dans les fondations - Le guide de la Maçonnerie » jeudi 28 mars 2013. [En ligne]. Available : <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/fondations/desordres-dans-les-fondations>. [Accès le 28 Mai 2021]
- [20] H. Ejjaouani, "Interactions of foundations and expansive soils: pathology, calculations and experimental studies", PhD Thesis, Ecole des Ponts ParisTech, 2008
- [21] «PATHOLOGIE DES STRUCTURES Chapitre 4 Pathologies Des Fondations,» [En Ligne]. Available : « <https://fr.scribd.com/document/333199530/PATHOLOGIE-DESSTRUCTURES-Chapitre-4-Pathologies-Des-Fondations> ». [Accès le 20 Mai 2021].
- [22] « Diagnostic des pathologies de fondations profondes en béton armé», [En ligne]. Available : [https://www.ifsttar.fr/collections/CahiersInteractifs/CII1/pdfs/FicheE6-1-Guide\\_Auscultation\\_Ouvrage\\_Art-Cahier\\_Interactif\\_Ifsttar.pdf](https://www.ifsttar.fr/collections/CahiersInteractifs/CII1/pdfs/FicheE6-1-Guide_Auscultation_Ouvrage_Art-Cahier_Interactif_Ifsttar.pdf).
- [23] « Désordres des fondations profondes par pieux - Agence ... », [En ligne]. Available : <https://qualiteconstruction.com/fiche/desordres-des-fondations-profondes-par-pieux>. [Accès le 25 Mai 2021]
- [24] «Note n°4 - Les techniques de réparation des fondations et des structures», [En ligne]. Available : <https://www.economie.gouv.fr/daj/Note-n-4-Les-techniques-de-reparation-des-fondation>[Accès le 12 juin 2021]
- [25] « Les différentes techniques pour la réparation de fissures sur une fondation », [En ligne]. Available : <https://www.journalleguide.com/2020/06/01/les-differentes-techniques-pour-la-reparation-de-fissures-sur-une-fondation/> [Accès le 19 juin 2021]
- [26] A. Merrah, "A case study of foundation failure of a residential building: From diagnosis to reparation", Journal of Building Materials and Structures, م 8، عدد 1، ص 18-9. 2021
- [27] « Reprises-en sous-œuvre- Le guide de la Maçonnerie » jeudi 18 avril 2013 [En ligne]. Available: <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/fondations/reprise-en-sous-oeuvre> [Accès le 19 juin 2021].
- [28] « Micropieux et reprise en sous œuvre des fondations » 13 juin 2017. [En ligne]. Available: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01537901/document>

- [29] Quelques techniques de confortement des fondations » 04 avril 2017. [En ligne]. Available: <https://fr.linkedin.com/pulse/quelque-techniques-de-confortement-des-fondations-badreddine-gourara> [Accès le 19 juin2021]
- [30] « Réparation et renforcement des fondations I FAFO I GUIDES STRRES I > FONDATIONS  
» [En ligne]. Available: [https://www.academia.edu/29216240/R%C3%A9paration\\_et\\_renforcement\\_des\\_fondations](https://www.academia.edu/29216240/R%C3%A9paration_et_renforcement_des_fondations)
- [31] « 1.01. Renforcer une fondation: reprise en sous-œuvre (superficielle) » [En ligne]. Available: [https://www.meda-corpus.net/libros/pdf\\_fiches/syria\\_eng/rehab/1-01%20FR.pdf](https://www.meda-corpus.net/libros/pdf_fiches/syria_eng/rehab/1-01%20FR.pdf)



عنوان المذكرة: أساسات الهياكل الخرسانية المسلحة: الأمراض وطرق إعادة التأهيل

المؤطر: أحمد مراح

الإسم: مسعودة & مريم

اللقب: العابد & نمر

ملخص

تعتبر أساسات الهياكل الخرسانية المسلحة عناصر مهمة تلعب دور ربط هيكل المباني بالأرض. يمكن أن يؤدي عدم المعرفة به إلى ظهور أضرار في الأساسات، مما قد يتسبب في تلف جميع عناصر هيكل البناء. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو إجراء مراجعة للأمراض الرئيسية لأساسات الهياكل الخرسانية المسلحة وكذلك طرق إعادة التأهيل. تظهر النتائج الرئيسية لهذا البحث أن الاضطرابات التي لوحظت في أساسات المباني سببها:

- ❖ الاضطرابات الناتجة عن الجهل بسلوك التربة
  - ❖ الاضطرابات الناتجة عن الردم الحديث
  - ❖ الاضطرابات الناتجة عن الماء
  - ❖ أساسات على أرضية غير مستقرة
  - ❖ أخطاء الإنجاز
  - ❖ وجود الأساسات على أرضية تحتوي على عناصر مؤثر على الخرسانة
- الكلمات المفتاحية:** مراجعة، أمراض، أساسات، تربة، إصلاحات، خرسانة مسلحة

**Memory title : Foundations of reinforced concrete structures : pathologies and rehabilitation methods**

**Name : Elabed & Nemer**

**First name : Messouda & Mereim**

**Directed by : Ahmad Merrah**

**Abstract**

The foundations of reinforced concrete structures are important elements that play the role of connecting the

Structure of buildings with the ground. Lack of knowledge of it can cause deformation of the foundations, which Can cause damage to all the elements of the structure.

The main objective of this work is to do a review on the main pathologies of the foundations of reinforced concrete structures as well as on repair methods.

The main results of this research show that the disorders observed in the foundations of buildings are caused by:

- ❖ Disorders due to ignorance of soil behavior
- ❖ Disorders caused by backfill
- ❖ Disorders caused by water
- ❖ Foundations on unstable ground
- ❖ Runtime errors
- ❖ Attack on foundations from the surrounding environment

**Keywords :** review, pathologies, foundations, soil, repairs, reinforced concrete

**Titre du mémoire : Fondations des structures en béton armé : pathologies et Méthodes de réhabilitation**

**Nom : Elabed & Nemer**

**Prénom : Messouda & Mereim**

**Encadreur : Ahmad Merrah**

**Résumé**

Les fondations des structures en béton armé sont des éléments importants qui jouent le rôle de liaison de la structure des bâtiments avec le sol. La méconnaissance du celui-ci peut engendrer la déformation des fondations, ce qui peut causer des dégradations sur l'ensemble des éléments de la structure.

L'objectif principal de ce travail, est de faire une revue sur les principales pathologies des fondations des structures en béton armé ainsi que sur les méthodes de réparations.

Les principaux résultats de cette recherche montrent que les désordres constatés dans les fondations des bâtiments sont causés par :

- ❖ Les désordres dus à la méconnaissance du comportement des sols
- ❖ Les désordres provoqués par les remblais
- ❖ Les désordres provoqués par l'eau
- ❖ Les fondations sur terrain instable
- ❖ Les erreurs d'exécution
- ❖ L'attaque des fondations par le milieu qui les enrobe

**Mots-clés :** revue, pathologies, fondations, sol, réparations, béton armé