

# **CHAPITRE I**

## **DEFINITIONS ET GENERALITES SUR LES PATHOLOGIES DES CONSTRUCTIONS**

## 1.1. INTRODUCTION

Dans toutes les études d'ouvrages en génie civil, les codes et règlements de calcul offrent un coefficient de sécurité important allant dans le sens de la sécurité.

Il en résulte théoriquement que l'effondrement d'un ouvrage est un phénomène rare.

Tout ouvrage bien conçu, doit alors supporter, sans faiblir, les charges auxquelles il est soumis.

Pourtant, de nombreux ouvrages, ne manquent pas de poser le problème de sinistralité.

Les mêmes problèmes réapparaissent régulièrement dans des ouvrages comparables placés dans des conditions semblables.

Ceci donne à penser que la sinistralité résulte de l'emploi involontaire mais répété de dispositifs de construction inappropriés, de méthodes de conception ou d'exécution mal adaptés ou des deux à la fois.

Cet état de fait est souvent le résultat d'absence de coordination entre les différents actants de la construction.

Aussi, les problèmes ne surgissent souvent qu'au bout de quelques années et à ce moment-là, les responsables risquent d'avoir changé d'activité ou de ne plus pouvoir traiter de la question pour des raisons quelconques.

Le maître de l'œuvre et les entreprises de réalisation ne capitalisent pas des erreurs dont ils sont responsables car ils s'abstiennent de proclamer leurs échecs ou chacun se retranche derrière les effets pervers des dispositions réglementaires, la guerre des prix, la responsabilité des autres, etc.

Des prix bas se traduisent certainement par la réduction des effectifs en personnels d'encadrement et de chantier, le manque de matériel, la multiplication des travaux supplémentaires, etc.

Mais inversement, des prix plus élevés vont-ils conduire automatiquement à des équipes qualifiées et en nombre suffisant, avec du matériel adéquat et en bon état, travaillant dans le respect des clauses du marché, etc. ?

Ce qui est pratiquement inévitable dans un sens, n'implique pas la réciproque dans l'autre

Des prix bas poussent nécessairement à revoir les prestations à la baisse en faisant l'économie de la qualité. Mais dans l'autre sens les prix plus élevés, voire intéressants, n'impliquent pas la révision des prestations à la hausse !

Dans le premier cas c'est la nécessité économique qui fait loi, dans le second c'est la satisfaction et donc c'est l'image de marque et par conséquent la fidélisation du client qui est en jeu.

L'une des voies à suivre est le développement de véritables démarches de prévention des désordres.

Connaître en fait les composantes de la prévention c'est d'abord passer par la connaissance de la pathologie.

La logique de la prévention est donc simple en théorie : Il faut procéder à l'analyse des causes de la pathologie en vue de promouvoir des actions capables d'éviter le renouvellement des mêmes erreurs.

Aussi, la description de pathologies potentielles, qu'il s'agisse de problèmes liés aux études de conception architecturale et technique ou lors de l'exécution des travaux de réalisation, pouvant être détectés avant la réception des ouvrages et la mise en jeu des garanties apporte une contribution certaine à la prévention des désordres.

## **1.2. DEFINITIONS ET GENERALITES**

La pathologie c'est l'étude des désordres et surtout l'étude statistique, systématique et ordonnée des désordres et des sinistres sont en effet, relativement récentes.

La signification de ce terme issu de la science médicale est la suivante : «Science qui a pour objet l'étude et la connaissance des causes et symptômes des maladies».

Si l'on applique cette définition au bâtiment, les maladies seraient les désordres qui, en s'aggravant, donnent lieu à des sinistres ; ces derniers pouvant conduire à la ruine des ouvrages.

**Désordre** : Altération, perturbation, trouble, dérèglement, vice...

**Vice** : la définition de ce mot est plus proche de : défaut, imperfection grave, défectuosité. Le terme 'vice de construction' est très usité. Mais, il s'applique surtout aux ouvrages neufs, plus qu'aux ouvrages dégradés par l'usage ou les agents extérieurs.

**Sinistre** : événement catastrophique naturel qui occasionne des dommages, des pertes...

Ce terme est couramment utilisé en matière d'assurance. C'est en fait l'aggravation des désordres qui conduit aux sinistres et éventuellement à la ruine partielle ou totale d'un ouvrage.

**Ruine** : une ruine est la grave dégradation d'un édifice allant jusqu'à l'écroulement partiel ou total. C'est destruction d'un bâtiment qui tombe de lui-même ou que l'on fait tomber.

En d'autres termes, la ruine constitue l'état ultime, limite ou final d'une construction ou d'un ouvrage après destruction partielle ou totale.

«Tomber en ruine» signifie «crouler, s'effondrer». Il y a donc aggravation des dommages puisque l'on arrive à l'effondrement ou à la destruction totale ou partielle de l'ouvrage.

**Remède** : L'origine de ce mot est médicale. Remèdes, désigne tout ce qui est employé au traitement d'une maladie. Un terme analogue est proposé est celui de «solution».

**Réparation** : Ce terme correspond aux opérations nécessaires au maintien de l'ouvrage après sa construction. On peut distinguer deux types de réparations : petites et grosses.

**Amélioration de l'habitat** : Un certain nombre de définitions ont été données dès 1978. Nous pouvons citer :

Rénovation urbaine : opération qui concerne l'ensemble d'un quartier, ce qui implique la démolition d'immeubles, la libération du sol, le remembrement de parcelles, la redistribution des utilisations du sol en voirie, logements, équipements et reconstruction à neuf. Ce terme est à distinguer de la rénovation individuelle des bâtiments qui constitue simplement en nue «rénovation à neuf».

Restauration : les travaux de restauration visent à remettre un bâtiment ou un ouvrage dans son état originel du fait de son intérêt architectural ou historique.

Réhabilitation : des travaux de réhabilitation visent à la fois à conforter un bâtiment et à le remettre en état en le dotant des éléments de confort moderne :

- Apport d'isolation thermique,
- Modernisation des installations intérieures (réseaux : électricité, chauffage, fluides, sanitaire).

### **Les intervenants de l'acte de construire**

Les acteurs intervenant dans l'acte de bâtir sont :

- 1- le maître de l'ouvrage,
- 2- le maître d'œuvre : architectes ou agréés et spécialistes techniques (ingénieurs-conseils, bureaux d'études),

3- l'entreprise chargée du marché de construction : entreprise générale (tout corps d'état) ou entreprises spécialisées (titulaires de marchés par lots),

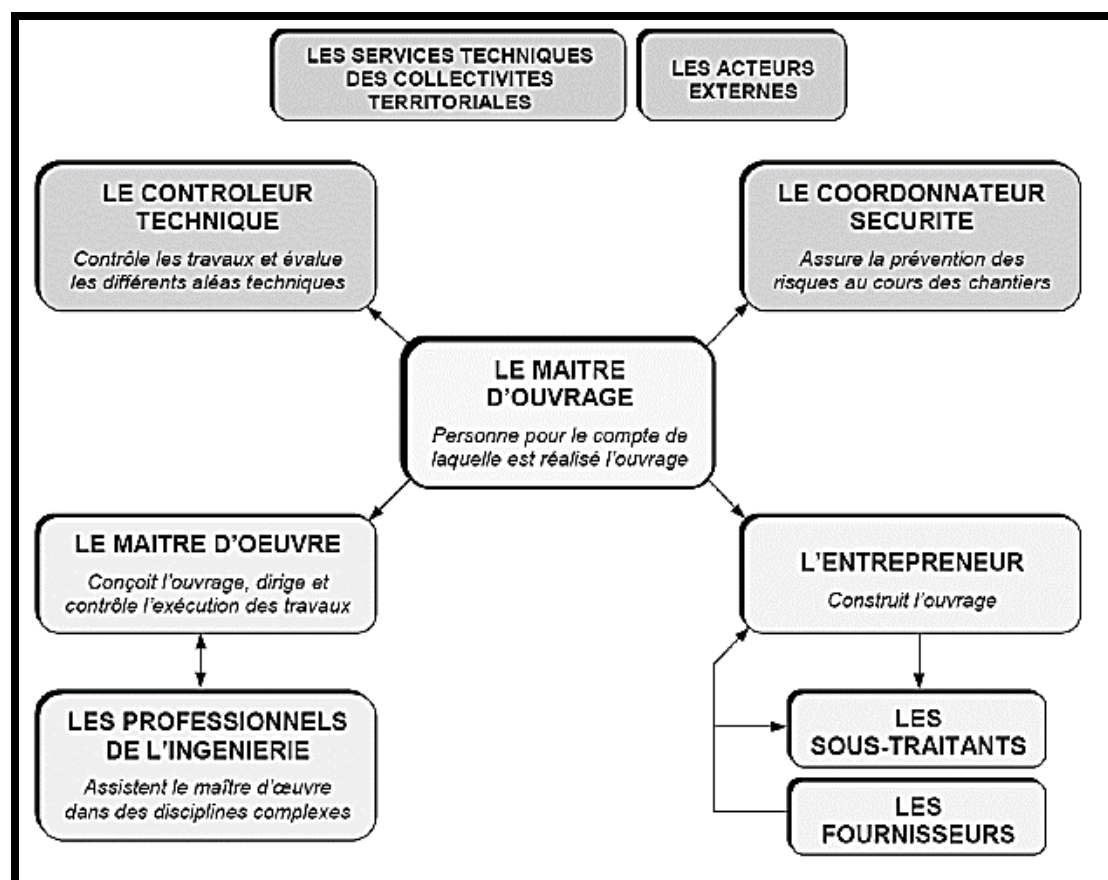
4- les fabricants et fournisseurs de matériaux,

5- le contrôle technique,

6- les assureurs : de l'ouvrage et/ou des constructeurs,

7- le vendeur et le promoteur

Tous ces acteurs sont liés par des contrats, doivent respecter chacun à son niveau des obligations et sont responsables à différents titres.



### 1.3. CAUSES RESPONSABLES DES DEGRADATIONS DES CONSTRUCTIONS

➤ Causes liées à la conception et au calcul : (insuffisance des projets) :

- Inexactitudes ou insuffisances des hypothèses de calcul
  - sur les actions et combinaisons d'actions
  - sur les déformations imposées
  - sur les valeurs des caractères mécaniques des matériaux

- Inadéquation des modèles de calcul
  - pour la détermination des sollicitations et de leurs combinaisons - pour l'étude de la stabilité générale ou locale (équilibre statique, contreventement, stabilité de forme...)
  - pour la prise en compte des phénomènes différés - pour la prise des phénomènes thermiques (en particulier gradients)
- Erreurs de conception, erreurs ou fautes de calcul
  - insuffisance des calculs de dimensionnement et insuffisance de la vérification
  - absence de dispositions prenant en compte les variations dimensionnelles
  - dispositions constructives inadaptées à la transmission des efforts (zones d'effort concentrées, poussée au vide, zone de reprise de bétonnage,...)
  - acceptation de déformations excessives
  - non-respect des règles de l'art,....
- Causes liées à l'exécution
  - Insuffisance des documents d'exécution
    - insuffisance de leur vérification par le maître d'œuvre
    - non-respect des documents contractuels
    - absence des dessins de détail dont dépend la faisabilité
  - Déficiences du contrôle de qualité
    - qualité insuffisante ou défectueuse des matériaux
    - insuffisance ou absence de contrôle (entrepreneur et maître d'œuvre) à la mise en œuvre des aciers et des bétons - non-respect des prescriptions technologiques (adjuvants, gel, eaux, décoffrages,...)
    - non-respect des règles de l'art, fausses manœuvres, mauvaise qualification du personnel
- Causes liées aux conditions d'exploitation
  - Relâchement de la surveillance
  - Exécution différée de travaux d'entretien
  - Effets des conditions atmosphériques (eau, gel, gaz carbonique...)
  - Accroissement de l'intensité et de l'agressivité du trafic (en particulier, poids lourds)
  - Fréquence de passage de convois exceptionnels

- Causes liées au vieillissement de l'ouvrage
  - Séquelles d'incidents de construction
  - Vieillissement des matériaux
  - Vieillissement de la structure – effet de fatigue
- Causes liées à des actions abusives
  - Séquelles dues au passage d'engins lourds de chantier pendant les opérations de terrassement
  - Dépassement des charges autorisées (poids-lourds en surcharge)
- Occurrence d'actions naturelles ou extérieures
  - Mouvements d'appuis (affouillement des fondations, tassements différentiels, glissement de terrains)
  - Chocs de bateaux et de véhicules (piles et tabliers de ponts)
  - Incendie
  - Séisme

#### **1.4. MANIFESTATION ET FAMILLES DES PATHOLOGIES**

Le classement des causes principales de désordres pour les ouvrages correspond au classement type basé sur la division des responsabilités entre les concepteurs (y compris les calculs) et les réalisateurs (exécution sur chantier).

Une étude des pathologies d'un ouvrage se décompose en plusieurs phases. Celle-ci commence par une visite de l'ouvrage accompagné d'un relevé détaillé des différentes pathologies présentes sur les ouvrages. Ensuite, on procède à un diagnostic afin de connaître l'origine des pathologies pour préconiser d'une part le classement de l'état de l'ouvrage et d'autre part les travaux à réaliser.

Les pathologies peuvent être classées en plusieurs familles :

- les dégradations superficielles ;
- les déformations ;
- les fissurations ;
- les dégradations d'ordre structurel.

Cependant, il est nécessaire de distinguer les pathologies existantes à l'origine, tels que le bullage et les nids de cailloux, et celles apparaissant dans le temps comme les fissures.

On distingue plusieurs pathologies. Voici quelques définitions :

### **Faïençage**

Craquelure superficielle des peintures, vernis, enduits et bétons, sous forme de fins réseaux de microfissures de largeur inférieure à 0.2mm, disposées en mailles régulières fermées, de quelques cm de côté.

Le faïençage traduit un retrait superficiel trop important ou trop rapide (remontée de liant en surface, couche trop épaisse).

Contrairement aux fissures, qui affectent les matériaux dans toute leur épaisseur, les faïençages n'ont qu'un inconvénient esthétique.

(NB: Sur un béton ou un enduit de ciment, un faïençage est mis en évidence en mouillant la surface).

### **Fissure**

Fente visible affectant la surface d'une maçonnerie, d'un dallage, d'un appareil sanitaire, etc. Par convention, la fissure a entre 0.2 et 2mm de largeur. ; Au-dessous il s'agit d'un faïençage.

Dans leur majorité, les fissures n'ont qu'un inconvénient esthétique : fissure de retrait, ou de mouvement différentiel à la jonction de deux matériaux.

Les fissures sont graves si elles portent atteinte à l'imperméabilité des parois (fissures pénétrantes laissant passer l'eau de pluie à travers un mur exposé); plus graves encore sont les fissures traduisant un affaissement des fondations, ou des mouvements du sol.

### **Fissuration**

Ensemble des fissures affectant une paroi, un revêtement ou un enduit. Nature des fissures observées : fissuration en maille, en étoile, en en panneaux, en coup de sabre, etc.

### **Microfissures**

Fissure très étroite, à peine visible à l'œil nu (inférieur à 0.2mm).



Le faïençage est composé de microfissures en maille. Des microfissures, plus ou moins parallèles, apparaissent localement sur le béton, avant sa rupture sous une charge excessive.

### **Microfissuration**

Formation de microfissures dans un enduit ou dans un béton.

### **Infiltrant**

Une fissure infiltrant est une fissure qui, présente dans toute l'épaisseur d'une paroi, permet à l'eau de pluie ou de ruissellement de la traverser.

### **Retrait**

Contraction d'un matériau provoquée par l'élimination de l'eau de gâchage excédentaire (bétons, enduits). Les tensions internes provoquées par les retraites ont pour effet soit de réduire les dimensions extérieures des matériaux, soit de les déformer, soit de provoquer leur rupture : faïençage des enduits, microfissuration du béton.

Le retrait des bétons et mortiers de ciment commence par un retrait plastique (légère contraction par évaporation, dès la mise en place) ; puis intervient le retrait hydraulique, élimination d'eau de gâchage excédentaire, qui se poursuit de façon décroissante pendant longtemps.

De façon générale, un béton ou un mortier a d'autant plus de retrait que sa concentration en ciment est importante.

### **Désordre**

Anomalie de fonctionnement, d'aspect, de solidité, etc. d'un équipement ou d'un ouvrage, du fait d'un défaut de conception, du fait d'une erreur de mise en œuvre, ou du fait d'un composant inadapté.

### **Pathologie**

Etude des désordres affectant un bâtiment ou un matériau en œuvre ; une étude pathologique comprend :

-L'observation et l'analyse des symptômes et de leur processus de formation, ainsi que des conditions de mise en œuvre.

-L'établissement d'un diagnostic sur les causes probables et sur les risques d'évolution du désordre.

-La recherche de remèdes ou traitements curatifs à envisager.

## **1.5. LA PREVENTION DES DESORDRES**

La prévention c'est tout ce que l'on peut faire avant qu'un problème n'arrive, pour l'empêcher justement d'arriver. Il s'agit donc d'alerter, d'attirer l'attention, de signaler, d'informer, de sensibiliser, de prévenir. La prévention c'est le contraire de l'improvisation, il s'agit en fait de réfléchir avant d'agir. De repérer les sources d'ennuis, non pour renoncer à l'action mais pour la maîtriser et la réussir ainsi du premier coup.

De ce point de vue, la sensibilisation et la formation professionnelle du personnel contribuent à la prévention. Ce type d'action a, en effet, pour but de développer les connaissances et le savoir-faire du personnel en vue d'un meilleur exercice de ses activités professionnelles. Or, une bonne partie des erreurs ou défauts rencontrés sur des opérations de construction trouve leur origine dans le décalage de certains intervenants par rapport à l'évolution du contexte technique.

La prévention des désordres doit être une démarche solidaire de tous les intervenants présentés. La prévention des désordres est une action constructive lente et raisonnée se situant en amont de la réalisation. Elle doit intervenir dès la conception du projet de construction. La prévention des désordres est basée sur l'expérience et sur l'établissement de règles techniques tenant compte de l'évolution des constructions et des exigences.

Un ouvrage mal conçu sera difficile à réaliser, exigera des précautions particulières et entraînera des coûts supplémentaires et risques difficiles à apprécier.

L'innovation est nécessaire pour faire progresser les techniques mais elle doit être raisonnée, mesurée et introduite progressivement. Il faut laisser le temps nécessaire pour déterminer in situ, c'est à dire en vieillissement et en comportements naturels, la fiabilité et la qualité des matériaux ou procédés présentés en tant que « techniques

nouvelles ». En faisant leurs preuves de qualité performances et durabilité, ces techniques nouvelles sont peu à peu introduites dans les textes codifiés (normes, DTU...).

Dans la construction, les erreurs et défauts peuvent apparaître dès la phase de conception ou plus tard lors de l'exécution des travaux. Dans le cas de la conception, on peut facilement rectifier des plans ou des pièces écrites, tant que les ouvrages ne sont pas commencés.

Lorsque les erreurs ou les défauts sont détectés en cours d'exécution, la résolution du problème devient plus compliquée et en tout cas plus coûteuse. Il faut alors étudier des solutions de reprise acceptables, ou bien démolir et recommencer. Si les erreurs ou défauts ne sont pas repérés avant la réception des travaux, il y a alors risque de sinistre à plus ou moins long terme.

Toute erreur, mauvais choix ou souci d'économie excessive se traduiront, tôt ou tard, par des désordres ou sinistres difficiles à réparer. Le choix des matériaux doit relever du même souci.

Le contrôle doit intervenir à différentes phases. Dès la conception en intervenant au niveau des calculs et matériaux choisis ; puis lors des travaux en émettant des observations et réserves. Une bonne conception des ouvrages est par conséquent fondamentale.

## **1.6. ELABORATION D'UNE REHABILITATION ET/OU DE REPARATION**

Le choix de la méthode de réhabilitation et/ou de réparation dépend de plusieurs facteurs tels que :

- le type et l'âge de l'ouvrage ;
- les conditions locales et environnementales ;
- la nature et le degré des dégradations,
- les délais mis à disposition pour l'achèvement des travaux de réhabilitation ;
- le niveau de sécurité demandé ;

- le coût de revient de la méthode.

Pour choisir les techniques de réhabilitation et/ou de réparation, une bonne connaissance des dégradations ainsi que leur origine s'avère nécessaire. Afin d'établir un bon diagnostic de l'état physique de l'ouvrage et aboutir au choix d'une méthode de réhabilitation, les observations et mesures d'auscultation sont réalisées à l'aide de différentes techniques et méthodes adaptées aux besoins.

Normalement un ouvrage doit être visité au moins tous les cinq ans, sans dépasser le délai de dix ans. S'il n'y a pas de constatations au niveau de l'état de l'ouvrage et de son fonctionnement, il sera classé « sans suite » et reste inscrit dans le cycle régulier des visites. Dans le cas contraire, l'établissement d'un prédiagnostic sera nécessaire. Ce prédiagnostic conclut, soit à la mise sous surveillance de l'ouvrage et l'évaluation périodique de l'évolution des dégradations observées, soit à la nécessité d'effectuer des investigations complémentaires (essais in situ), afin d'évaluer des paramètres bien définis, dans des zones déterminées.

Le programme d'auscultation doit être établi soit par les techniciens spécialisés du gestionnaire, soit par un bureau d'études extérieur spécialisé. Il comprend généralement des mesures simples caractérisant l'ouvrage dans son ensemble (mesures géométriques, sondages et essais au laboratoire) et des mesures complémentaires dans les zones critiques.

Les techniques de réhabilitation et/ou de réparation sont nombreuses, elles ont pour but de rendre à l'ouvrage son état de service et permettre de remplir sa fonction primaire.

Ces techniques peuvent être structurantes ou non structurantes, selon leur aptitude à reprendre ou non les charges statiques et dynamiques appliquées sur l'ouvrage. Certaines techniques peuvent satisfaire à plusieurs objectifs.

Le choix des techniques de réhabilitation et/ou de réparation est fonction des caractéristiques de l'ouvrage, de son environnement et de l'importance des désordres constatés, mais également du coût de la méthode à utiliser.



# **CHAPITRE II**

## **Pathologie des fondations**

## **2.1. RAPPELS**

La fondation d'un ouvrage constitue l'interface entre un sol aux réactions incertaines et un ensemble complexe d'éléments plus ou moins fragiles. Elle doit se définir en fonction de l'un et de l'autre et les facteurs déterminants sont nombreux. La fondation assure la transmission des charges appliquées sur l'ouvrage au sol. L'ensemble ouvrage - fondation - sol, doit être en équilibre stable (pas de : glissement horizontal, mouvement vertical, basculement)

Le comportement du sol dépend à la fois de sa nature et de son état de compacité. Il se traduira suivant les cas par des tassements faibles ou importants, égaux ou inégaux qui seront plus ou moins acceptés par l'ouvrage. Ce dernier les supportera s'il est souple, il souffrira s'il est raide et fragile, il les uniformisera s'il est à la fois raide et résistant.

Mais un tassement excessif ou inégal sera nuisible, sauf cas tout à fait exceptionnels qui feront l'objet de curiosité. Dans la grande majorité des cas, l'ouvrage est raide et de résistance insuffisante, et les désordres sont évidemment d'autant plus importants que l'hétérogénéité des tassements est grande.

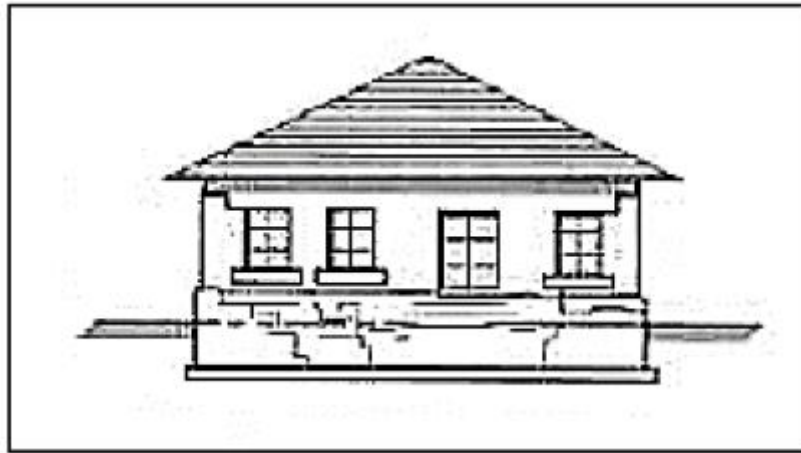
D'une manière générale, les désordres se déclenchent à cause de :

- la fragilité de la superstructure ;
- un sol compressible sous le niveau d'assise des fondations ;
- des charges irrégulièrement réparties aux fondations.

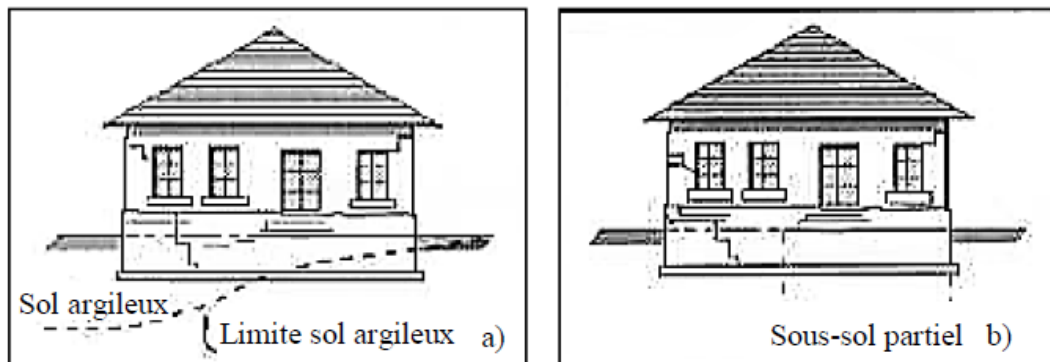
## **2.2. DESORDRES DUES AU PHENOMENE DU RETRAIT/GONFLEMENT**

Les sols susceptibles de tasser (ou gonfler) sont pour l'essentiel des argiles. Le phénomène de retrait/gonflement de ce type de sol induit des tassements (ou gonflements) différentiels qui se manifestent par des désordres affectant principalement les structures construites en surface et les ouvrages enterrés. On peut distinguer principalement sur un bâtiment les désordres suivant :

- Fissurations structurelles : fissures verticales, horizontales, obliques ou dites « en marches d'escalier ». Ces fissurations recoupent systématiquement les points faibles constitués par les ouvertures situées dans les murs, cloisons et plafonds.

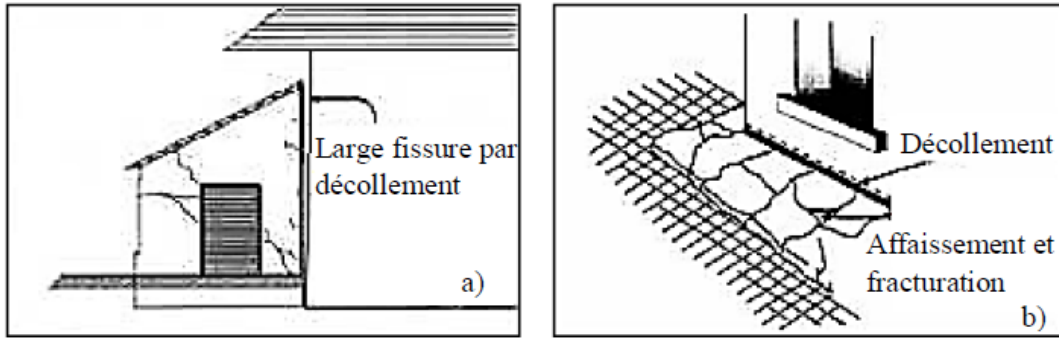


- Fissurations liées à la présence d'une lentille argileuse sous le bâti.
- Fissurations liées à l'existence d'un sous-sol partiel en milieu argileux.



- Décollement des parties accolées aux parties principales : absence de joints de structure entre la partie principale et les annexes (garage, terrasse, etc...) pouvant entraîner également des ruptures au niveau des raccords de canalisation (réseau d'eau par exemple, très néfaste en milieu argileux).





- Fissurations liées à la présence d'une végétation trop proche d'une construction.



En gonflement ou en tassement, la déformation d'un sol d'assise de fondation, en fonction principalement de la rigidité de la structure supportée, peut prendre deux aspects :

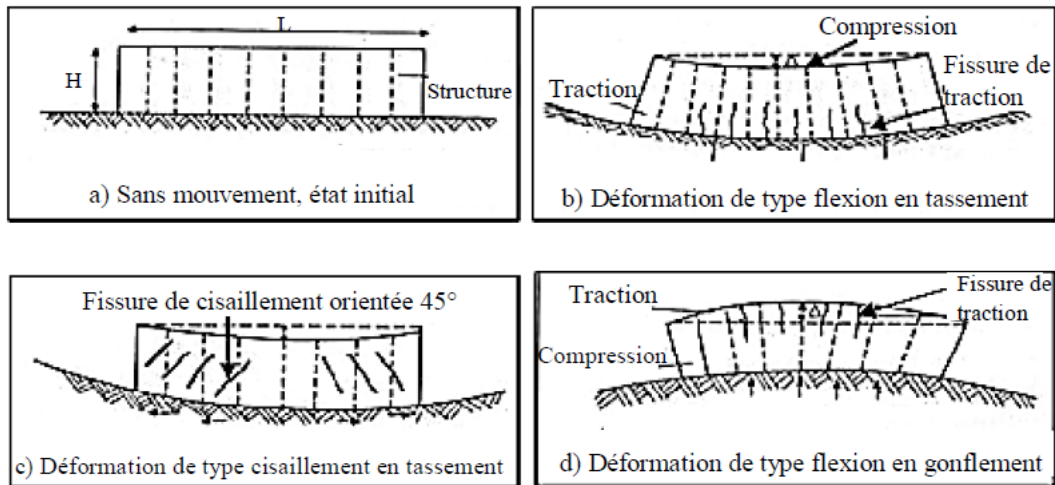
- déformation par flexion ;
- déformation par cisaillement.

En effet, la fissuration de la construction est le résultat des contraintes de cisaillement dans la structure qui sont dues à des moments fléchissants dans les fondations causés par les différences mouvements le long du périmètre de la construction. La forme que prendra la fissuration résultante diffèrera principalement suivant le mode de fondation de l'habitation et évoluera avec le temps.

- **Forme et direction des fissures selon le type de mouvement du sol**

Dans le cas d'une déformation de type flexion supportée par une structure fondée sur une fondation continue, une face va être comprimée et l'autre face sera tendue et

parcourue de fissures de tractions subverticales, alors que les fissures de cisaillement apparaîtront de façon générale dans toute la poutre et orientées à 45°.



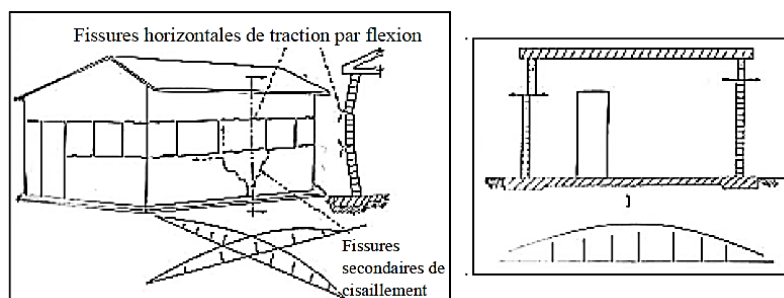
Formes et direction des fissures selon le type de déformation

Les fissures de traction et de cisaillement passeront par les points faibles de la structure, telles que les angles des ouvertures (portes, fenêtres). La fissuration par cisaillement apparaîtra dans une structure qui sera insuffisamment rigidifiée en général.

- **Forme de la fissuration en fonction du mode de fondation**

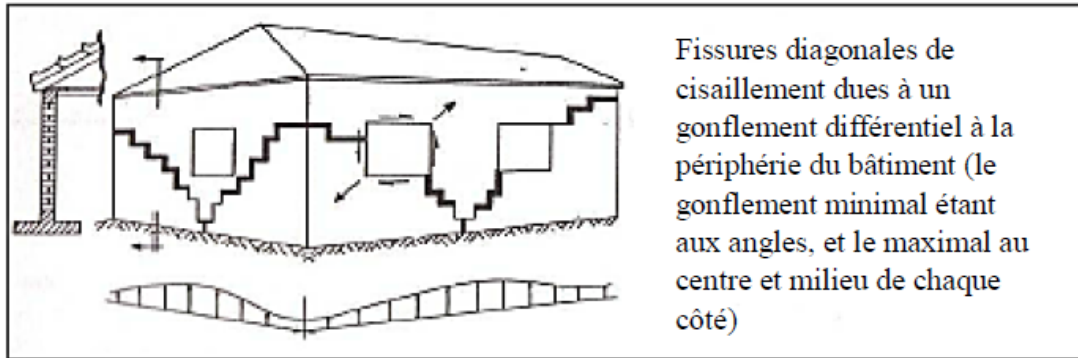
Dans cette partie, on présente selon les quatre types de fondations les plus préconisées, des exemples d'action de gonflement ou de tassement différentiel sur un bâtiment en l'absence de précautions constructives vis-à-vis du retrait/gonflement des sols.

- Fondations sur radier général plus ou moins épais suivant les descentes de charges appliquées, avec une structure portée de type murs porteurs.



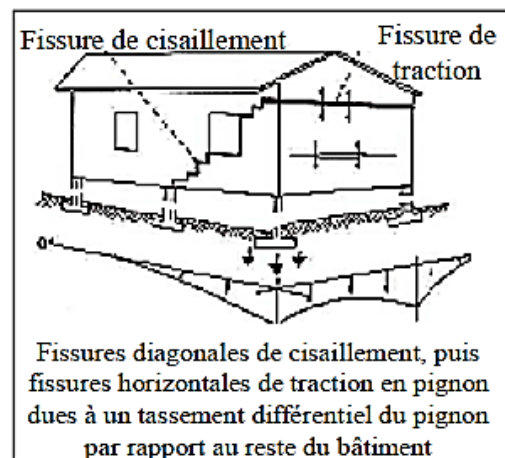
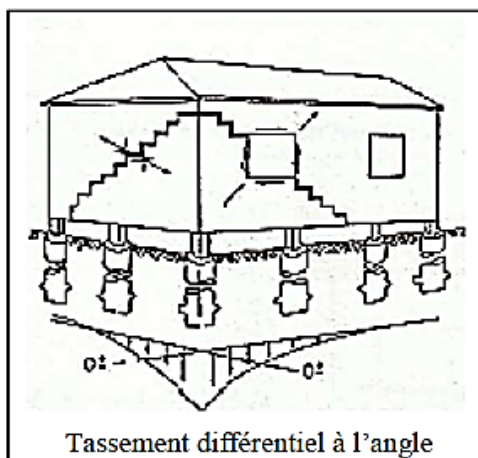
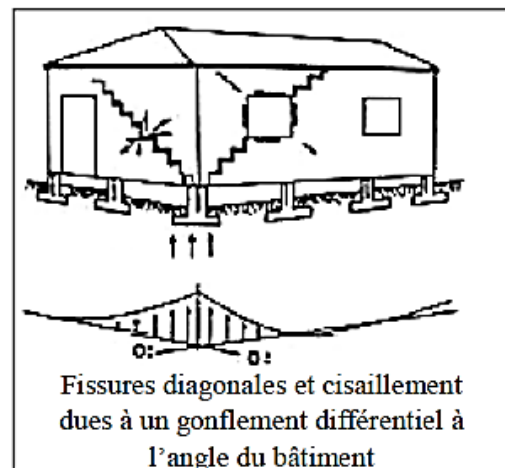
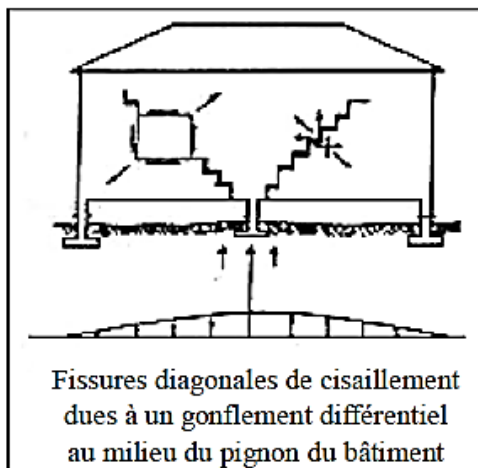
Types de déformations pour un radier général

- Fondations sur semelles filantes continues sous murs porteurs



Formes et direction des fissures pour des semelles filantes

- Fondations sur semelles isolées sous murs porteurs ou poteaux et fondations sur plots/massifs de béton reliés en tête par des longrines sous poteaux



Formes et directions des fissures pour des appuis isolés

Finalement, les mouvements différentiels du terrain d'assise d'une construction se traduisent par l'apparition de désordres qui affectent l'ensemble du bâti. La nature, l'intensité et la localisation de ces désordres dépendent de la structure de la construction, du type de fondation réalisée et bien sûr de l'importance des mouvements différentiels de terrain subis. Afin de réduire les risques d'apparition de ces désordres, des études géotechniques spécifiques permettant l'identification de ce phénomène sont donc nécessaires afin d'en tenir compte dans les études de génie civil.

### 2.3. CHARGE ET TASSEMENT EN TERRAIN HOMOGENE

Les mécaniciens des sols évaluent généralement le tassement dans un terrain de nature homogène à l'aide d'une formule du genre :

$$T = t \times f \times P (1-\nu^2) / E \times A^{1/2}$$

t : coefficient du terrain,

f : coefficient de forme de la semelle,

P : charge appliquée sur la semelle,

$\nu$  : coefficient de Poisson,

E : module d'Young,

T : tassement.

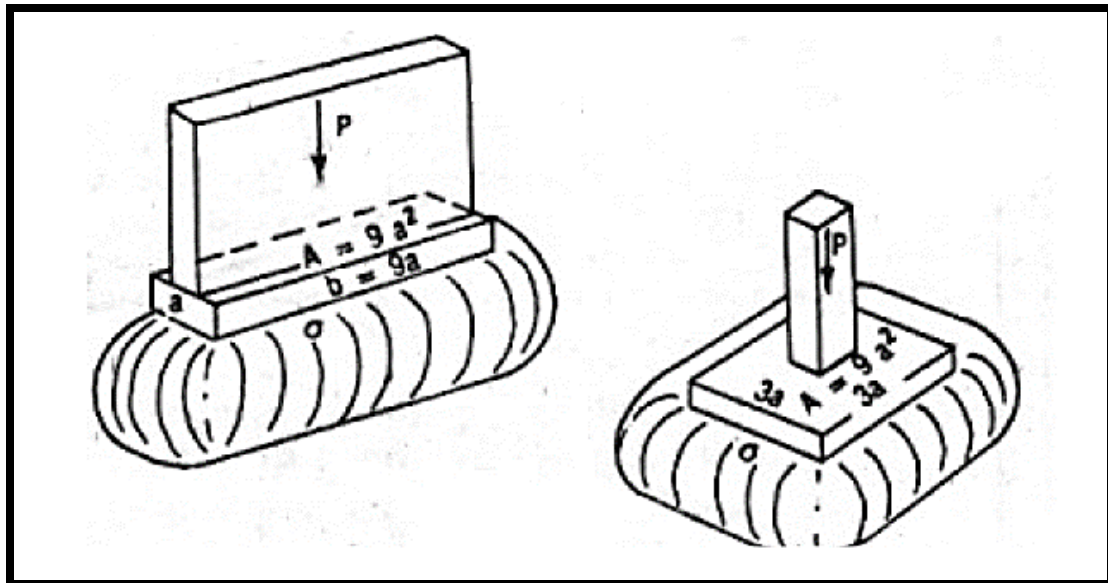
Si  $\sigma = P / A$ , la formule peut s'écrire :

$$T = t \times f \times (1-\nu^2) / E \times \sigma \times A^{1/2}$$

$$T = t \times f \times (1-\nu^2) / E \times \sigma^{1/2} \times P^{1/2}$$

Les enseignements tirés de ces formules sont :

- Sur un même terrain, pour une même valeur de  $\sigma$ , deux semelles semblables de même profondeur tasseront proportionnellement à  $P^{1/2}$  ou de  $A^{1/2}$ ,
- Pour une même charge, le tassement dépend du coefficient de forme de la semelle. En effet, l'étalement latéral des charges est lié au périmètre. Sur la figure suivante, la charge P appliquée sur l'aire '9 a<sup>2</sup>' trouve un étalement latéral le long du périmètre '20 a' sous la semelle longue et seulement '12 a' sous la semelle carrée. Cette dernière tassera légèrement plus que la semelle longue.



Nous pouvons conclure que même en terrain homogène, bien des problèmes se posent :

Si l'on dimensionne des semelles de même forme proportionnellement aux charges qu'elles supportent, c.à.d. pour une même contrainte sur le sol, les tassements ne seront pas uniformes, mais presque proportionnels aux charges.

Pour assurer le même tassement, il faudrait donc surdimensionner les plus grandes semelles, ce qu'on ne fait pas généralement.

D'autre part sous charges égales, deux semelles identiques tassent différemment si leur profondeur d'enfouissement est différente. La semelle moins profonde tasse relativement plus. Méconnaître ce fait pour les constructions mal chaînées est la cause de fréquents désordres.

#### 2.4. LES MEFAITS DE L'EAU

Si un ouvrage a été construit en méconnaissance du niveau des plus hautes eaux :

- celles-ci peuvent envahir les sous-sols, en démolissant les dallages trop imperméables par effet de sous pression,
- elles imprègnent le sol de fondation, détériorant parfois sa force portante et provoquent ainsi des tassements anarchiques.

Aussi, l'eau de pluie ruisselle sur les pentes et s'infiltré plus ou moins lentement suivant la perméabilité des couches superficielles. On lutte efficacement contre les eaux

de ruissellement par un circuit de drainage, à la condition qu'il fonctionne tant tout au long de son parcours qu'à son exutoire.

Parmi les autres méfaits des eaux de ruissellement et non des moindres, citons pour mémoire les glissements de terrain et le déversement des murs de soutènement.

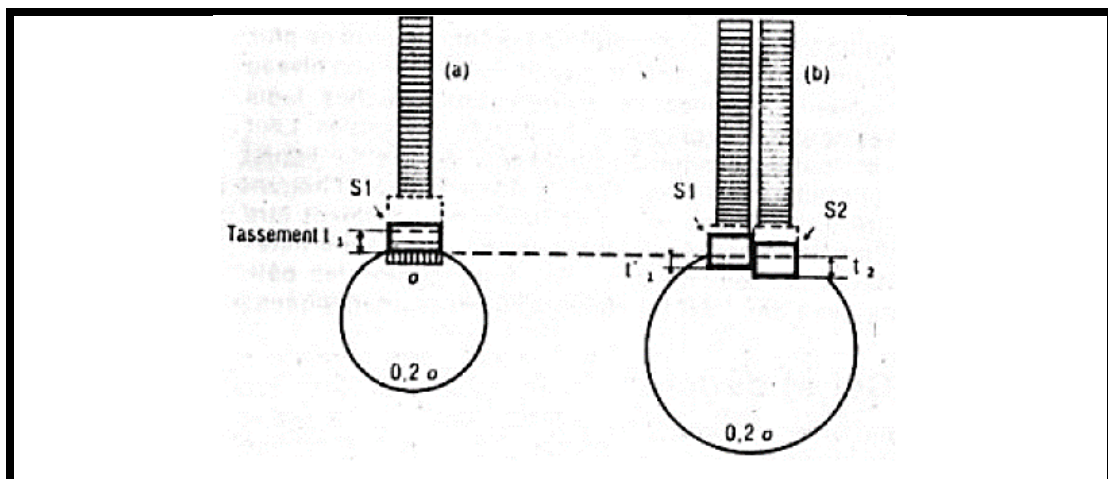
Les fuites d'eau des réseaux d'alimentation en eau potable (A.E.P) et d'assainissement peuvent être des causes d'affouillement et d'imprégnation en permanence du sol de fondation provoquant la perte de la force portante et tassements. Dès lors, la canalisation est souvent entraînée dans le mouvement ; elles s'ouvrent et fuit davantage et personne n'est plus capable de dire si le sol a tassé à cause de la fuite ou si la canalisation s'est rompue par suite de tassement.

Les argiles ont la propriété de pouvoir renfermer des quantités d'eau appréciables qui ont pour effet de modifier leur force portante, mais aussi pour certaines de les faire gonfler. La dessiccation produit l'effet inverse et peuvent conduire à des tassements.

## 2.5. MODIFICATION DE L'EQUILIBRE DU SOL

La semelle d'un bâtiment nouveau fait tasser sa voisine par interférence des deux bulbes de pression. Le sol se comporte, en effet, comme sous une semelle unique plus large et plus chargée et même à contraintes égales, le tassement croît avec la largeur.

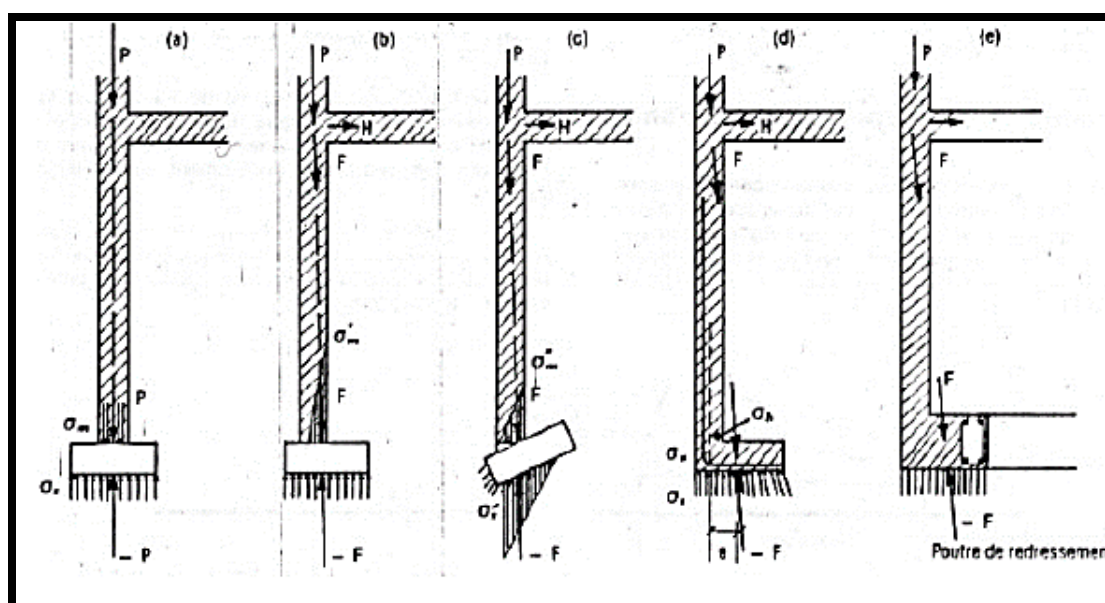
La première semelle S1 tasse de  $t_1$  sous le poids de son mur. Au cours du chargement de la semelle S2, celle-ci subit un tassement  $t_2$  inférieur à  $t_1$  ; mais S1 subit un supplément de tassement  $t'_2$ .



Notons au passage qu'il est déconseillé de réaliser une semelle excentrée près d'un mitoyen sous prétexte que la place manque pour la centrer sous le mur : on risque son basculement suivi de graves désordres dans le bâtiment.

Si un excentrement notable est obligatoire, il convient de choisir l'une des deux solutions suivantes :

1. réaliser un ensemble semelle-mur en béton armé dont l'angle résistera au moment de flexion  $M = F \cdot e$ ,
2. relier la semelle à des poutres de redressement.



## 2.6. AGRESSION DES FONDATIONS

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

- le plus répandu des agents responsables d'agression est le sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ ). 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 célide ( $\text{C}_3\text{A}$ ) 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 résiduaires 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. En cas de doute, il est prudent d'utiliser des matériaux résistants aux eaux agressives :
  - Granulats siliceux ou de calcaire dur,
  - Ciments non basiques (riches en laitier ou prise mer,...)

## **2.7. ERREURS D'EXECUTION**

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 bétonnage ; coulées de terre se retrouvant prisonnières dans la semelle qui en détruisent la résistance à cet endroit.

Un mauvais remblaiement en radier échelonné pouvant engendrer le fluage des zones en place. Les remblais doivent être pleins et compactés.

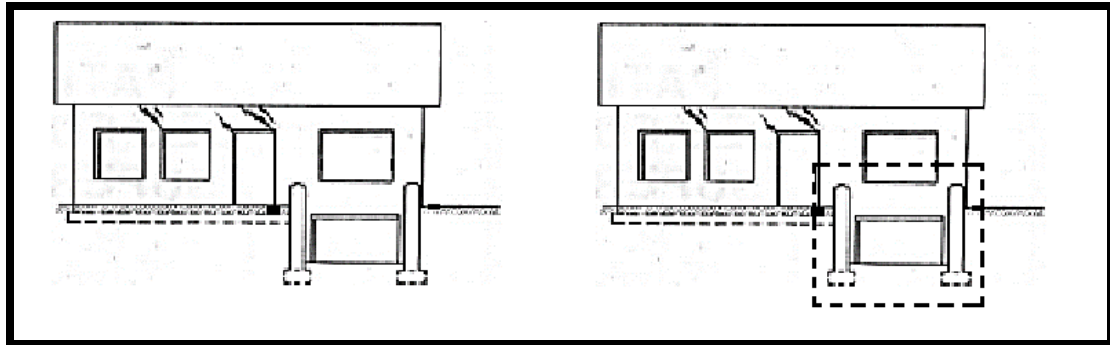
## **2.8. EXEMPLES**

### **A- Exemple 1 (Mouvement du sol) :**

Un groupe de pavillons se fissurent en façade et dans leurs cloisonnements intérieurs. Il s'agit d'un lotissement où chaque pavillon est à rez-de-chaussée et comble aménageable avec sous-sol partiel à usage de garage où on accède de la rue par une rampe. Les murs en briques reposent par semelle filante sur une argile légèrement



sableuse. Peu de temps après la livraison des premiers pavillons, des fissures apparurent en haut des façades, partant de la sous toiture qui n'avait pas été chaînée et atteignant les angles des baies. A l'intérieur, les cloisons longitudinales présentaient également des fissures au-dessus des portes.



**Causes :**

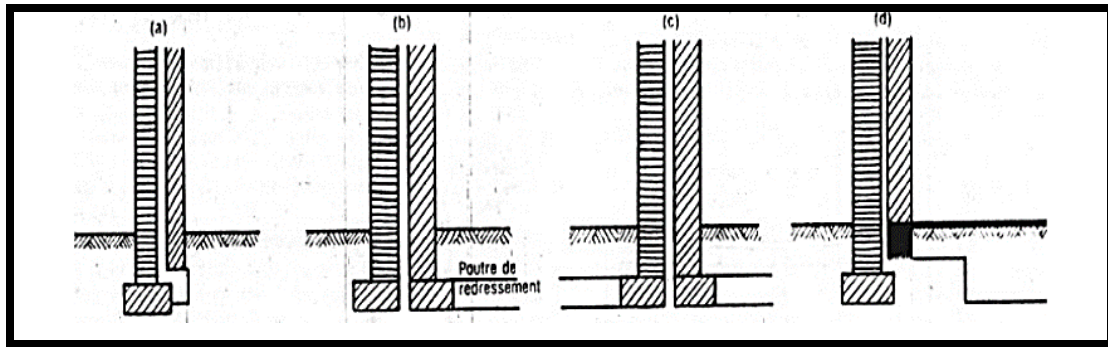
L'allure des désordres montrait un léger basculement de la partie sous-sol, qui avait tendance à tasser plus que l'autre.

En effet, d'un côté, les semelles étaient enfouies à environ 60 cm tandis que de l'autre, elles étaient à quelques 3 mètres sous le sol. Le terme de profondeur a produit son effet.

En terrain compressible, il ne faut construire que des ouvrages équilibrés ; un sous-sol total aurait ici homogénéisé les tassements, raidi les pavillons...et ajouté un espace disponible pour les occupants. Un bon chaînage en tête des murs est également recommandé.

**B- Exemple 2 (Modification de l'équilibre du sol) :**

Des immeubles se fissurent après la construction d'immeubles mitoyens. Des fissures d'allure inclinée apparaissent en façades et cloisons de l'immeuble ancien, au voisinage immédiat de la mitoyenneté, tandis que s'achevait la construction d'un immeuble voisin.



### Causes :

Assez souvent, la semelle du nouveau mur pignon est solidarifiée avec l'ancienne qui déborde d'une dizaine de centimètres chez le voisin et certains experts y voyaient la cause irréfutable des tassements.

Dans certains cas, le débordement de la semelle existante est démoli, et un joint franc est réalisé entre elle et l'autre semelle. Les désordres apparaissent et l'on accuse le voisin, avec quelque raison, d'avoir réduit la surface d'assise et causé, en plus, un excentrement entre la semelle et son mur.

Il arrive aussi que sans toucher à l'ancienne fondation, on provoque son tassement sur terrain très compressible et ce à cause de l'interférence de bulbes de pression.

La seule solution valable, en mauvais terrain consiste à réaliser une fondation excentrée, assise assez loin de la semelle existante pour éviter les interférences des contraintes dans le sol.

Sous les charges d'un bâtiment, le terrain ne s'affaisse pas comme les touches d'un piano ; le tassement sous une charge s'accompagne du tassement de tout le voisinage immédiat.

## **2.9. FONDATIONS PROFONDES**

Si les fondations sont invisibles, elles ne doivent pas pour autant être négligées. Les fondations portent la maison, et en cas de pépin, les sinistres liés aux fondations sont de loin les plus coûteux.

Les fondations sont une étape essentielle puisqu'elles ancrent la maison dans le terrain. Elles assurent également son assise et sa solidité.

Une étude géotechnique permettra d'adapter au mieux les fondations à la nature du terrain.

Les fondations sont les parties de l'ouvrage servant à transmettre au sol les charges et surcharges appliquées à la construction. Elles ont pour objectif de transmettre les efforts de la construction sur le sol afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage et limiter les éventuels désordres dans la structure.

Le choix du type de fondations dépend de la nature de la construction et de la nature du terrain. Lorsque la couche de sol située à faible profondeur a des caractéristiques mécaniques insuffisantes pour supporter la construction, on va chercher le bon sol à une plus grande profondeur : ce sont les fondations profondes.

La réalisation de fondations profondes est préconisée lorsque le terrain est par nature instable (sol argileux) ou sujet à des désordres présentant un danger pour les personnes et le futur ouvrage (tassements, éboulements, etc.). Le recours à des fondations profondes est également justifié si la charge de construction envisagée est importante (bâtiments collectifs) ou en cas de présence de constructions voisines (ouvrages mitoyens) ou d'ouvrages souterrains (parkings).

Des fondations profondes sont réalisées lorsque le bon sol se situe au-delà de 6 m de profondeur. Les pieux peuvent atteindre une profondeur maximale de 60 m. En deçà, on parle de fondations semi-profondes si la profondeur de fouille est comprise entre 3

et 6 m et de fondations superficielles lorsque la couche d'assise est à moins de 3 m de profondeur. Les fondations dites profondes prennent appui sur des pieux en béton armé, coulés sur place ou préfabriqués en usine. Ces pieux ont un diamètre variant de 0,60 m à 2,50 m et peuvent être verticaux ou inclinés en fonction de la direction des charges à transmettre au sol. La liaison des têtes de pieux est assurée par des poutres horizontales appelées longrines.

Les fondations profondes peuvent être réalisées à partir de différentes techniques en fonction du type de pieux utilisé. Les pieux forés tubés sont les plus employés : le sol est extrait au moyen d'engins spécifiques jusqu'à la profondeur désirée. Le bétonnage est effectué à l'aide d'un tube plongeur.

D'autres techniques de réalisation existent, tels que les pieux forés à la boue, les pieux à la tarière ou les barrettes. Ce type de fondations requiert un matériel et un savoir-faire particuliers. Seules les entreprises spécialisées dans ce domaine sont en mesure de réaliser ces ouvrages.

### **2.9.1. Désordres dans les fondations**

Une bonne fondation assure la stabilité ainsi que la longévité de la construction. Toutefois, à cause de facteurs naturels ou de l'instabilité du sol, il arrive que la construction vienne à se fissurer voire à s'effondrer dans les cas les plus graves.

#### **L'eau crée de nombreux désordres dans les fondations, à savoir :**

- L'affouillement : ce cas se présente quand la fondation n'est pas suffisamment profonde, les eaux de surfaces vont alors la désordonner.
- 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. A noter que les fondations construites sur des sols argileux connaissent souvent ce problème de gonflement de terrain quand elles se trouvent près d'une nappe phréatique.
- Réduction de la force portante du sol, surtout s'il s'agit d'un terrain argileux, étant donné que l'argile se ramollit quand il est en contact avec l'eau.

## **Dégât provoqué par les remblais**

Les remblais sont utiles pour niveler la surface ou encore pour l'aplanir. Néanmoins, cette structure n'est pas favorable pour les fondations, de nombreux désordres pouvant se présenter, surtout si les remblais sont récents ou d'épaisseur variable ou encore s'ils ne sont que partiels au-dessous de la construction. Des remblais insuffisamment comprimés ou encore ceux qui compriment un terrain naturel sont à l'origine des désordres des fondations. Plusieurs cas de désordres peuvent se présenter :

- 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.
- Désordre sur un terrain compressible remblayé : la technique de remblayage d'un terrain requiert un compactage minutieux du sol à chaque fois que du remblai y est ajouté. Cependant, le remblai peut être à l'origine d'une surcharge importante du sol en profondeur surtout s'il est compressible (cas fréquent dans les anciennes marécages remblayées pour devenir des zones industrielles ou marécageuses).
- Désordre par 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 casser suite à un frottement négatif.
- Désordre par glissement du sol : quand on remblaie un sol argileux en pente ou tout autre terrain peu consistant, il pourrait y avoir glissement de sol. Cela se présente aussi quand un mur de soutènement est bâti sur un sol peu consistant.
- 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.

Quand les fondations sont réalisées sur des sites alluvionnaires (alternance de sol compact et de sol mou), des cas d'instabilité peuvent se présenter, provoquant forcément des désordres dans les fondations à savoir :

- Le désordre dans les fondations dû à une instabilité superficielle du sol : il y a glissement de terrain ayant un impact (cas d'un sol argileux sur un sol dur).
- Le désordre dans les fondations provoqué par une instabilité en profondeur du sol : ce cas se présente quand la construction est réalisée aux alentours de carrières minières ou encore sur des terrains gypseux. Pour ce dernier cas, il faut savoir que le gypse se dissout au contact de l'eau, créant alors des cavités pouvant avoir un impact sur les fondations en profondeur.

### **2.9.3. Prévention et réparation des désordres dans les fondations après diagnostique un par expert**

Si les fondations présentent des défaillances, les travaux à réaliser dépendent de l'origine du désordre. Mais pour éviter des travaux de réparation coûteux, le mieux serait d'adapter ses fondations au type de sol.

En cas de désordre dans les fondations par affouillement, il faut réaliser une reprise en sous-œuvre, des travaux de réparation très onéreux.

Pour les constructions dans les montagnes, il est recommandé de réaliser des fondations hors-gel.

Pour éviter le désordre dans les fondations par frottements négatifs, il est utile de procéder à un chemisage de chaque pieu.

Pour les constructions près d'une carrière minière, il est recommandé de consulter les cartes pour repérer les éventuelles cavités en dessous de votre terrain, la mise en place des piliers maçonnés est alors requise.

Dans le cas d'une construction sur un terrain gypseux, le désordre des fondations peut être évité en consolidant les cavités

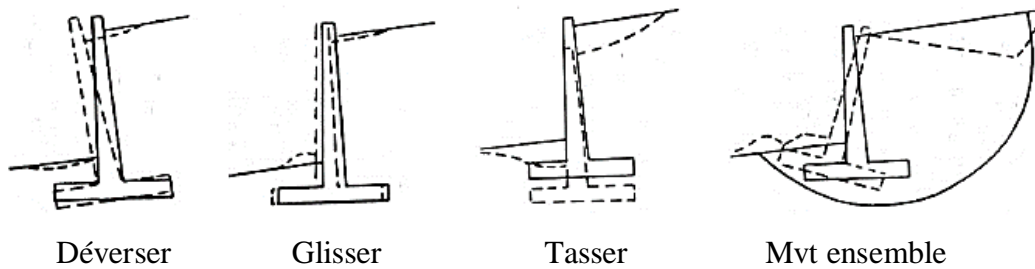
# **CHAPITRE IV**

## **PATHOLOGIE DES MURS DE SOUTÈNEMENT**

## 4.1. RAPPELS

Un mur de soutènement est un solide quasiment indéformable, souvent fragile, qui cherche son équilibre, tel un corps étranger, dans un milieu plus ou moins mou et hétérogène, qui est le sol. Il peut comme un bateau rouler, dériver et parfois craquer.

Rouler, dériver, craquer : ce sont bien trois phénomènes dont peuvent être victimes les murs de soutènement. Etant donné leur faible amplitude, on dira : se déverser, glisser, se fissurer.



A l'équilibre, les forces en présence dans un mur de soutènement doivent concourir et l'on a :

$$\vec{T} + \vec{P} + \vec{S} = 0$$

T : action des terres à soutenir,

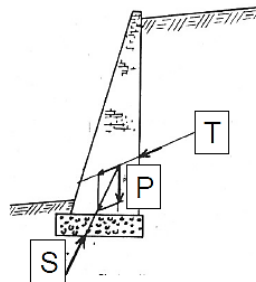
P : poids du mur,

S : réaction du sol d'assise

Les murs de soutènement se distinguent de la manière suivante :

### 4.1.1. Mur poids :

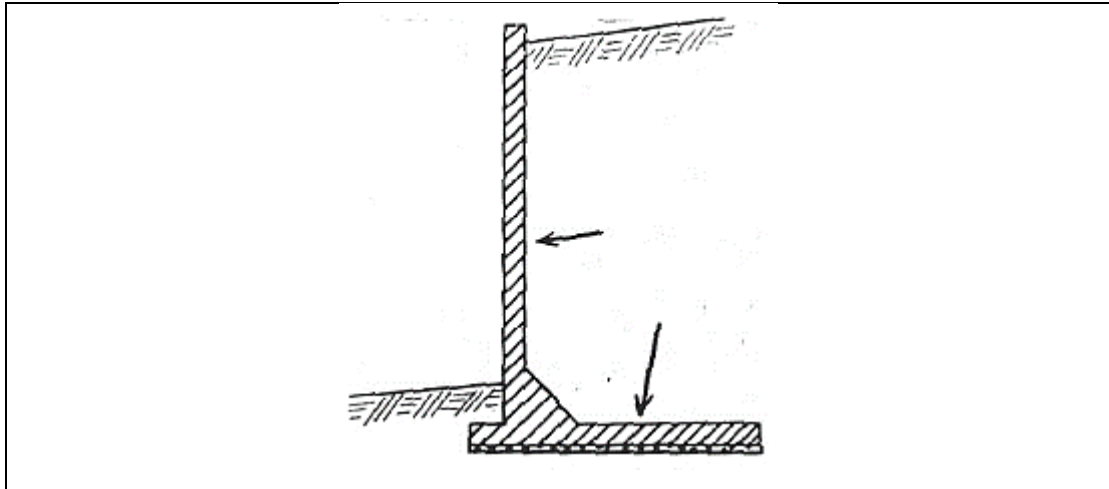
Dans ce cas, l'action du poids est prépondérante. L'association  $(\vec{T} + \vec{P})$  donne une résultante qui traverse la semelle et équilibre la force  $\vec{S}$  qui lui est égale et opposée.





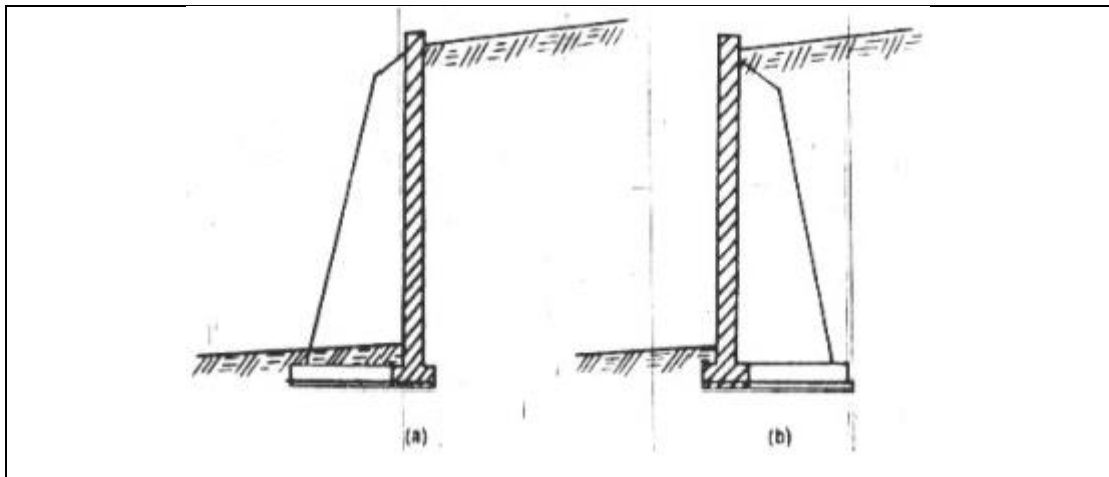
#### 4.1.2. Mur console :

Les terres à soutenir, avec les murs consoles, agissent à la fois sur la paroi amont où elles exercent une poussée, et sur la surface de la semelle qu'elles chargent de leur poids.



#### 4.1.3. Mur à contrefort :

Les contreforts peuvent être extérieurs ou noyés. Les contreforts noyés ont leur semelle chargée par le terrain.



#### 4.2. QUELQUES STATISTIQUES.

Si l'on classe les sinistres de murs de soutènement soit par rapport à leur fréquence, soit par rapport aux coûts des travaux de réparation engagés, on trouve les mêmes pourcentages qui sont les suivants, par ordre d'importance décroissante :

#### **4.2.1. Sinistres causés par l'eau :**

Un sinistre sur trois est dû à une mauvaise évacuation des eaux. Le plus souvent, une absence de drainage à l'arrière permet la montée de la nappe et l'accroissement important de la poussée qui en découle. Les dommages se montent à 35% du coût total des sinistres des murs de soutènement.

C'est dire l'importance du soin à apporter au bon fonctionnement du dispositif d'assèchement : drain et son exutoire ou simples barbacanes.

#### **4.2.2. Sinistres causés par un mauvais dimensionnement**

Un sinistre sur quatre (et 25% des coûts) est dû à une mauvaise appréciation des efforts en présence (poussées et réactions du sol) ou sous modification ultérieure de ces efforts.

La manifestation la plus courante et la plus coûteuse est un déversement excessif, voire un renversement complet du mur.

Un glissement excessif présente beaucoup moins de gravité s'il suffit de stopper la progression du mur et si on peut l'accepter sans trop de gêne à sa nouvelle position. Un excès de tassement ou un glissement doivent être maîtrisés d'urgence en renforçant le terrain ou en le soulageant de ses surcharges.

#### **4.2.3. Sinistres dans l'ouvrage**

Un sinistre sur quatre (et encore 25% des coûts) est dû aux fautes de conception ou d'exécution du mur :

- Rupture à la jonction entre la paroi verticale et la semelle,
- Fissuration de la poutre de couronnement quand elle existe,
- Décrochement entre paroi et contrefort.

Ce sont là des sinistres spécifiques à la maçonnerie ou au béton armé.

#### **4.2.4. Sinistres dus à une faute dans le déroulement des travaux**

10 à 15% sont des sinistres causés par des imprudences dans la conduite du chantier :

- Fouille taillée trop raide et qui s'éboule,
- Remblaiement prématuré quand le béton ou les joints de maçonnerie n'ont pas encore durci,
- Compactage excessif du remblai,
- Chocs d'engins ou de matériels, ...

#### 4.2.5. Causes diverses :

Les quelques 5% de sinistres restants sont dus à des causes diverses :

- Eaux agressives : les eaux séléniteuses sont fréquentes en présence de certaines couches de sol (sols gypseux ou encore urbaine,
- Détérioration du parement extérieur du mur, par suite de l'humidité ambiante,
- Détérioration des joints de dilatation,
- Fissurations mineures, ...

#### 4.3. EVOLUTION DES EQUILIBRES EN COURS DES TRAVAUX

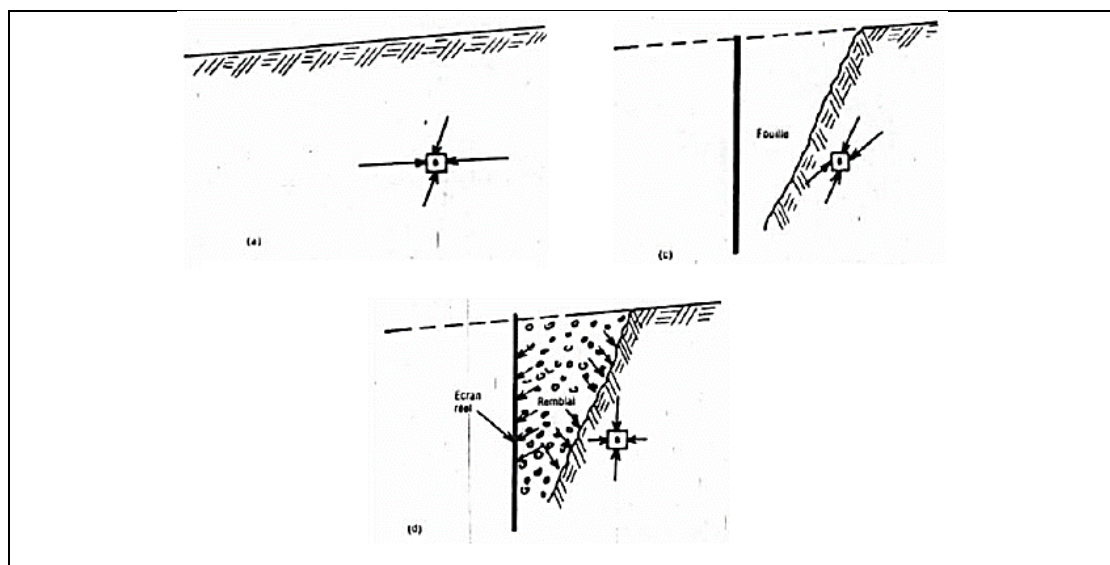
Pour construire un mur de soutènement, on doit le plus souvent effectuer dans le terrain une opération qui rompt temporairement son équilibre : c'est l'ouverture de la fouille.

On oblige, en effet les pressions dans le sol à s'annuler le long du parement de la fouille et à s'amenuiser dans son voisinage immédiat.

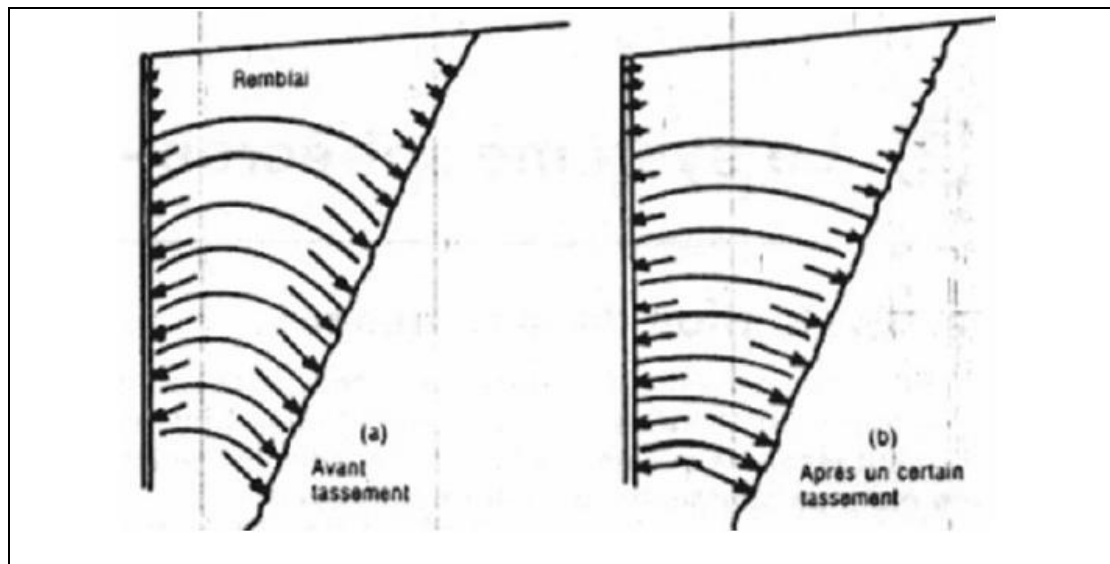
Le mur une fois réalisé, on remblaye derrière, cherchant ainsi à reconstituer le sol primitif. En réalité, on déverse des matériaux et on se garde de trop les compacter pour ne pas endommager le mur encore jeune.

Ce remblai va se trouver coincer entre le mur et le terrain en place. Il va d'abord s'arc-bouter sur les deux parois et exercer une pression oblique, à la limite de l'angle maximal de frottement.

Comme le parement du mur est généralement rugueux, cet angle sera proche de l'angle de frottement interne du sol  $\varphi$ .

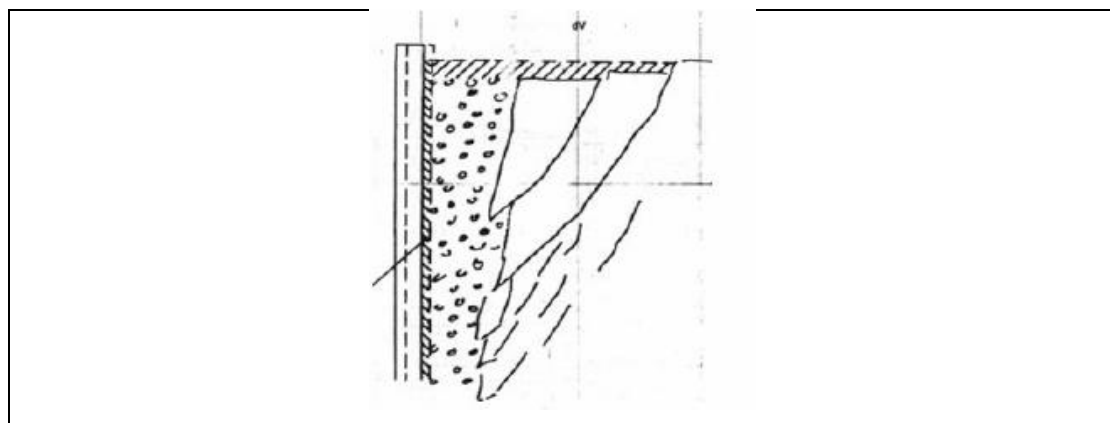


1- l'équilibre du sol en place va s'améliorer. Néanmoins, les conditions d'équilibre vont évoluer dans le sens d'une aggravation des poussées. En effet, le remblai a tendance à tasser et les voûtes d'arc-boutement s'aplatissent. L'angle des poussées sur le mur diminue, tandis que leur intensité augmente et la résultante descend. Ce mouvement est plutôt déstabilisateur.



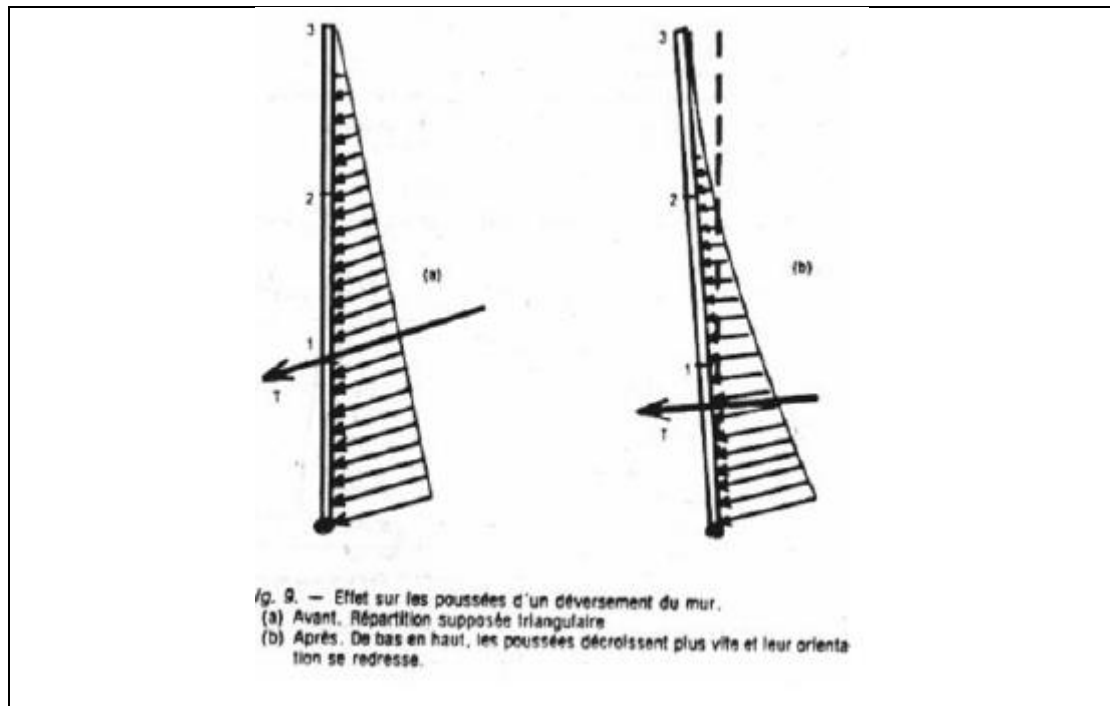
2- Si le terrain recule de quelques millimètres seulement, il permet une décompression du terrain, et par conséquent une réduction des poussées. L'effet est stabilisateur.

Si la largeur est importante, le mouvement de recul peut atteindre sans danger plusieurs centièmes de la hauteur : le remblai remplit le supplément de volume en tassant de nouveau et continue à transmettre un effort de poussée entre le sol et la paroi du mur.



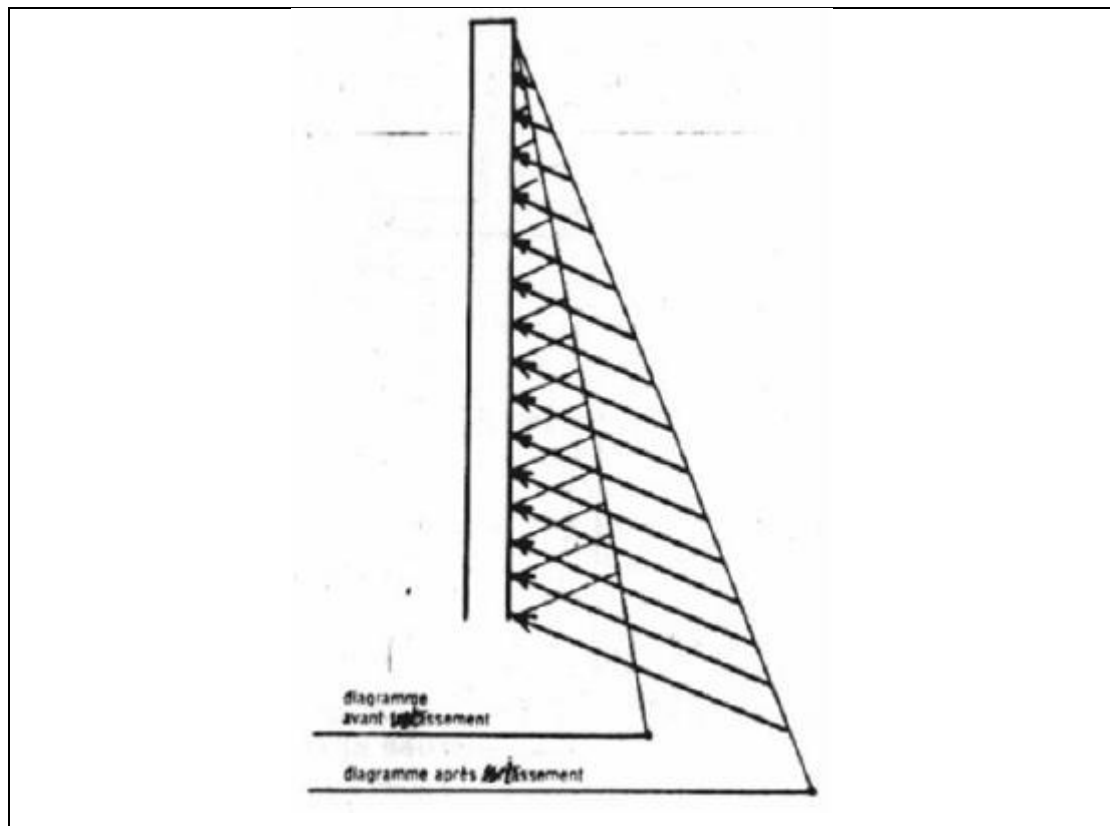
Ce mouvement de remblai, dans le cas où sa largeur est faible, peut être suivi de la zone voisine du terrain en place. Ainsi, un léger recul du mur réduit la poussée (effet stabilisateur), mais cela tant qu'il n'y a pas attrition du terrain en place. Au-delà, l'effet est déstabilisateur.

3- Aussi, un léger déversement comme le recul de faible importance, présente un effet stabilisateur car il atténue les poussées vers le haut et en abaisse la résultante.



4- Le tassement de l'assise du mur est un mouvement *déstabilisateur*. En effet, le terrain retenu va tendre à s'opposer au mouvement et de ce fait son angle de poussée prendra une valeur négative et l'intensité des forces augmente ; il s'en suit une aggravation des efforts de déversement.

En conclusion, on voit que les tassements du remblai et du sol d'assise tendent à détériorer la stabilité. En revanche, un léger recul ou déversement du mur tend à l'améliorer. En fait, un bon sol d'assise et un bon remblai sont des conditions essentielles de stabilité des murs de soutènement.



#### 4.4. LA RECHERCHE DE LA SECURITE.

La vérification se ramène à rechercher l'intensité et le point d'application de la réaction  $S$  du sol sous la semelle. Cette vérification prend trois aspects selon la nature du terrain porteur :

1- Si le sol est rocheux, il est inutile de vérifier :

- l'intensité de  $S$  à l'égard de la force portante,
- le risque de trouver  $S$  hors de la semelle vers l'arrière.

On vérifiera que  $S$  n'atteint pas l'arrête avant (point  $O$ ) en donnant aux actions et aux points d'application des efforts des valeurs raisonnablement pessimistes, et en multipliant la poussée  $T$  par un coefficient choisi entre 1.2 et 1.5 ;

2- en terrain ordinaire, on fait deux calculs :

- a)- un premier calcul avec des hypothèses pessimistes et une poussée de  $1.5 \times T$ . Il doit conduire à une position de  $S$  dans le  $1/3$  central et les contraintes maximales doivent rester acceptables,
- b)- un second calcul avec des hypothèses raisonnablement optimistes.  $S$  va se déplacer vers l'arrière. Il doit demeurer dans le  $1/3$  central et les contraintes maximales doivent rester acceptables,

3- c'est en terrain très compressible, que la vérification est la plus difficile car il ne faudrait être ni optimiste ni pessimiste mais exact dans les hypothèses conduisant à vérifier que S est centré. Ce qui est impossible. Dans ce cas, on se contente de vérifier, avec les deux types d'hypothèses, du 3.4.ii ci-dessus, que par exemple S ne s'éloigne pas du milieu de la semelle de plus du 1/12 de la largeur.

En conclusion, on peut écrire que la sécurité ne réside pas dans des majorations arbitraires de composantes de forces, mais dans un choix prudent, voire pessimiste de ces forces.

#### **4.5. DESORDRES DUS A L'EAU.**

La présence de l'eau provoque la dégradation des qualités mécaniques du sol (c et  $\phi$ ) d'où il résulte une aggravation de la poussée T.

Sous la semelle, la détérioration de c produit à la fois :

- une réduction de la force portante et par la suite, une augmentation des tassements et un risque accru de déversement,
- une réduction de la capacité de réaction horizontale  $SH_c + SH_\phi$  et un risque accru de glissement.

#### **4.6. EXCES DE CONFIANCE**

Il va de soi que le remblaiement derrière le mur ne doit pas être entrepris que lorsque sa résistance ; i.e. quand le mortier pour les murs en maçonnerie ou le béton pour les murs en béton armé ait suffisamment durci.

### **2.8. EXEMPLES**

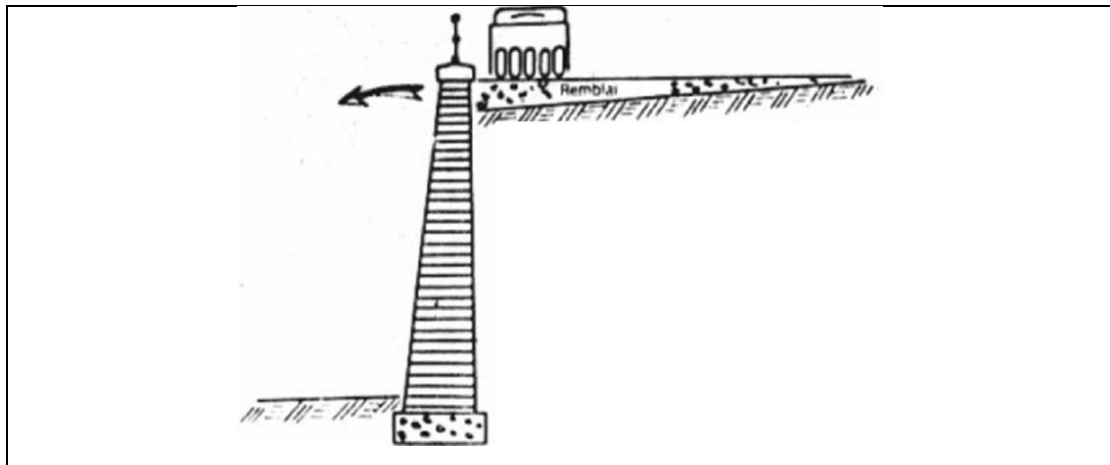
#### **1- Exemple 1 :**

Un mur s'effondre en bordure d'un parking en cours d'aménagement.

Afin de désencombrer un quartier commerçant dans une grande ville, où la circulation automobile était intense, on projeta d'ouvrir un parking sur une place précédemment réservée aux promeneurs.

Cette place était limitée d'un côté par un mur de soutènement en maçonnerie d'environ 5 mètres de haut. En préparation du revêtement routier, un remblai sablo-graveleux venait d'être épandu sur le sol et on le compactait soigneusement au rouleau quand

l'accident survint. Le mur céda près de l'engin, lequel fût entraîné dans l'éboulement. Son conducteur fut sauvé par miracle.



**Causes** : l'équilibre initial du mur n'était assuré qu'avec un faible coefficient de sécurité. Les travaux pour le parking eurent simultanément trois effets aggravants :

- la surcharge du remblai,
- la détérioration de l'angle  $\delta$  de frottement du sol sur le mur, par suite de l'effet de compactage, tout au moins, en partie haute,
- surtout la surcharge roulante de l'engin qui, en circulant, provoquait des poussées locales très fortes, à travers le terrain, sur le mur. La maçonnerie, non chaînée en tête, reportait

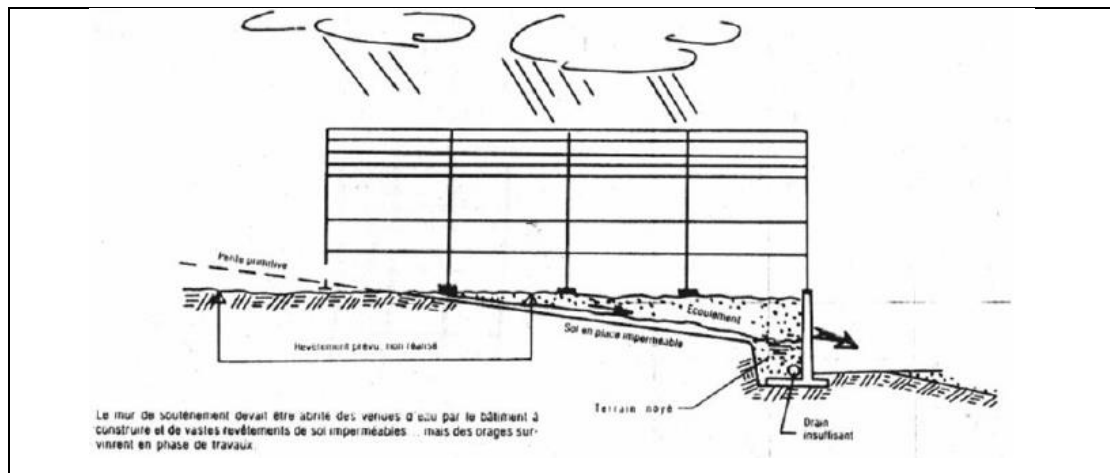
En prévision des poussées localisées intenses exercées par les charges roulantes, il est bon de munir la crête des murs de soutènement bordant des aires de circulation, d'une poutre raidisseuse largement dimensionnée.

## 2- Exemple 2 :

À la suite d'orages abondants, un mur de soutènement s'écroule et entraîne dans sa chute la charpente métallique d'un atelier.

L'ossature métallique d'un bâtiment venait d'être achevée. Le terrain naturel était en pente. On l'avait nivelé et un pan de la charpente s'appuyait en crête d'un mur de soutènement. Le sol paraissait sain et puis, il allait être protégé de la pluie par de vastes revêtements de sol imperméables. Les venues d'eau paraissent donc improbables.





On n'avait pas alors équipé le mur de barbacanes ; par contre un drain avait été posé à l'arrière du mur avec un exutoire d'un débit modeste.

La charpente métallique venait d'être montée quand à la suite de pluies torrentielles, le mur bascula, suivi par les poteaux qu'il supportait, et par la charpente entière qui se retrouva au sol, complètement détruite.

**Causes** : peut-être la conception du mur était-elle valable pour la phase finale de l'ouvrage. Il fallait pour cela que, non seulement la pluie tombant sur l'atelier soit canalisée vers les égouts, mais aussi qu'il n'y ait pas d'écoulements souterrains dangereux sur ce terrain en pente.

Le sinistre survint durant la phase des travaux la plus exposée : ni la couverture, ni les dallages et revêtements de chaussée n'étaient réalisés, et la charge stabilisatrice du mur qu'allait apporter la façade de l'atelier n'était pas encore en place.

Ainsi le drain s'avéra insuffisant pour l'afflux orageux, le niveau monta et le mur, dans cet état, ne put résister à la poussée élevée du terrain noyé.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Cours Pathologie du béton et réparation des Ouvrages - Université de Badji Mokhtar-Annaba
- Pathologie des constructions, cours : dept. de genie civil universite aboubekr belkaid tlemcen
- Comportement hydromécanique des sols gonflants non saturés de la région de Boumagueur wilaya de Batna. Thèse de Doctorat. MEBARKI Mehdi