

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTÈRE DE L' ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**Université des sciences et de la technologie d'Oran MOHAMED**

**BOUDIAF U.S.T.O.**

Faculté d' Architecture et de Génie Civil

**Polycopié**

**RÉHABILITATION DES  
STRUCTURES**

Elaboré par

**Dr. OUZAA KHEIRA**

(Docteur en Génie Civil – Option : Structures, U.S.T.O)

Année universitaire 2014-2015

## **Présentation**

L'objectif de ce polycopié "Réhabilitation des structures " est d'établir des recommandations pour guider dans le choix du mode de réhabilitation le mieux adapté pour une structure présentant des dégradations, et ceci en fonction de critères tels que le processus de dégradation concerné, les caractéristiques du béton armé, le milieu environnant, les contraintes et sujétions rencontrées, etc.

Ce document s'adresse aux gestionnaires, maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, architectes, confrontés à des problèmes de dégradation des structures ainsi qu'aux entreprises de réparation, laboratoires de contrôle, applicateurs et fournisseurs de produits concernés par la mise en œuvre de méthodes ou produits de réhabilitation.

# SOMMAIRE

# Sommaire

## CHAPITRE I

### Notions et considérations générales

|  |           |
|--|-----------|
| <b>I.1. Introduction</b> .....                             | <b>1</b>  |
| <b>I.2 Notions de réhabilitation</b> .....                 | <b>1</b>  |
| <b>I.3 Réparation et renforcement des structures</b> ..... | <b>8</b>  |
| <b>I.4. Conclusion</b> .....                               | <b>10</b> |

## CHAPITRE II

### Causes générales des dégradations des structures

|  |           |
|--|-----------|
| <b>II.1. Introduction</b> .....                        | <b>11</b> |
| <b>II.2. Structures en béton armé</b> .....            | <b>11</b> |
| II.2.1. Déplacements des coffrages .....               | <b>11</b> |
| II.2.2. Ségrégation du béton frais .....               | <b>11</b> |
| II.2.3. Décoffrage prématuré .....                     | <b>12</b> |
| II.2.4. Retrait lors du durcissement .....             | <b>12</b> |
| II.2.5. Contraintes thermiques .....                   | <b>13</b> |
| II.2.6. Absorption d'eau par le béton .....            | <b>14</b> |
| II.2.7. Corrosion des armatures .....                  | <b>14</b> |
| II.2.8. Réactions chimiques.....                       | <b>18</b> |
| II.2.9. Altération atmosphérique .....                 | <b>18</b> |
| II.2.10. Ondes de chocs.....                           | <b>18</b> |
| II.2 .11. Tassements .....                             | <b>19</b> |
| II.2 .12. Désordres dus à un défaut de conception..... | <b>20</b> |
| <b>II.3. Structures métalliques</b> .....              | <b>24</b> |
| II.3. 1. La corrosion.....                             | <b>24</b> |
| II.3. 2. L'érosion par abrasion.....                   | <b>25</b> |
| II.3. 3. La prise de jeu des assemblages.....          | <b>25</b> |
| II.3. 4. L'effet de fatigue.....                       | <b>25</b> |
| II.3. 5. L'effet d'impact.....                         | <b>26</b> |
| <b>II.4. Structures en pierre</b> .....                | <b>26</b> |
| <b>II.5. Structures en bois</b> .....                  | <b>27</b> |
| <b>II.6. Conclusion</b> .....                          | <b>27</b> |

## CHAPITRE III

### La remise en état et le renforcement des structures

|  |           |
|--|-----------|
| <b>III.1. Introduction</b> .....   | <b>28</b> |
| <b>III.2 Réparation des structures en béton</b> .....  | <b>28</b> |
| III.2.1 Préparation de la surface du béton à réparer .....   | <b>28</b> |
| III.2.2. Techniques de réparation .....  | <b>31</b> |
| <b>III.3. Réparation des structures en maçonnerie et en pierre</b> .....   | <b>33</b> |
| <b>III.4. Réparation des fissures des structures en béton et en pierre</b> .....   | <b>35</b> |
| <b>III.5. Prescriptions particulières de réparation des fissures supérieures à 10 mm pour les murs en maçonnerie</b> ..... | <b>39</b> |
| <b>III.6.Réparation des structures en charpente métallique</b> .....   | <b>43</b> |
| <b>III.7 Remplacement d'un plancher ancien</b> .....   | <b>46</b> |
| <b>III.8. Lutte contre l'humidité</b> .....  | <b>48</b> |
| III.8.1. Différents types d'humidité .....   | <b>48</b> |
| III.8.2. Remèdes possibles.....  | <b>48</b> |
| III.8.2.1.Procédés contre les remontées capillaires.....   | <b>48</b> |
| III.8.2.2.Remèdes contre les infiltrations directes de la pluie.....   | <b>53</b> |
| III.8.2.3.Remèdes à la condensation.....   | <b>55</b> |
| III.8.2.4 Remèdes contre l'humidité d'origine accidentelle.....  | <b>57</b> |
| <b>III.9.Réparation des infrastructures</b> .....  | <b>57</b> |
| III.9.1 Micro -pieux .....   | <b>57</b> |
| III.9.2 Injections de sol .....  | <b>58</b> |
| <b>III.10. Amélioration des façades</b> .....  | <b>59</b> |
| III.10.1. Nettoyage des façades .....  | <b>59</b> |
| III.10.2 .Reprises locales et petites réparations.....   | <b>59</b> |
| III.10.3.Finitions.....  | <b>60</b> |
| <b>III.11.Conclusions</b> .....  | <b>61</b> |
| <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....   | <b>63</b> |

CHAPITRE I

NOTIONS

&

CONSIDERATIONS GENERALES

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

Dans le secteur du bâtiment, il existe plusieurs interventions de réhabilitation, de maintenance, de réparation et de renforcement, correspondant à des métiers différents. Mais dans tous les cas, il est indispensable de bien connaître l'existant, d'être « réactif » aux gens et aux choses et de mesurer l'enjeu véritable de chaque opération envisagée.

Toutefois, il faut noter que les domaines d'action auxquels correspondent ces interventions, bien que comportant une partie commune qui est bien sûr le diagnostic, doivent être distingués l'un de l'autre.

## **I.2 Notions de réhabilitation :**

### **A. Définitions générales :**

#### **❖ Conservation:**

Englobe l'ensemble des actions destinées à prolonger le temps de vie d'un bâtiment. Elle implique la prise de mesures destinées à sauvegarder et à empêcher la dégradation, y compris les opérations de maintenance nécessaires au bon fonctionnement de toutes les parties et éléments d'un édifice[**BER 10**].

#### **❖ Restauration:**

Englobe l'ensemble des actions nécessaires à la conservation d'un édifice et à la récupération de son image qu'il s'agisse de sa conception originale ou du moment historique où il a atteint son apogée, en maintenant la plus grande fidélité possible aux techniques et matériaux de construction de l'époque [**JOF 99**].

#### **❖ Revitalisation:**

Englobe les opérations destinées à relancer la vie économique et sociale d'une partie de la ville en décadence. Cette notion proche de la réhabilitation urbaine s'applique à toute zones de la ville, sans ou avec identité et caractéristiques marquées [**BER 10**].

#### **❖ Rénovation urbaine :**

Englobe les actions qui s'attaquent à un tissu urbain dégradé, en l'éliminant pour le remplacer par une occupation nouvelle et actuelle, attribuant à la zone une nouvelle structure urbaine et fonctionnelle généralement avec ou sans lien avec la préexistante , [**JOF 99**].

#### **❖ Entretien et maintenance :**

Travaux ayant pour but de maintenir dans leur état initial le bon fonctionnement des ouvrages existant, en luttant contre leur vieillissement et leur usure naturelle, sans changer leur usage ni la nature de prestations qu'ils peuvent offrir [**GIS 77**], [**PER 97**].

**❖ Réhabilitation:**

Englobe l'ensemble des actions en vue de récupérer et d'améliorer un édifice en l'adaptant à un usage de confort moderne [PER 97].

L'objectif fondamental consiste à éliminer les anomalies constructives ou fonctionnelles accumulées au cours du temps, à moderniser installations, équipements et organisation des espaces, améliorant ainsi son fonctionnement et le préparant à une utilisation actuelle [BER 10].

**❖ Réhabilitation urbaine :**

C'est une stratégie de gestion urbaine qui cherche à requalifier la ville existante à travers des interventions multiples destinées à mettre en valeur des potentialités socio-économiques et fonctionnelles afin d'améliorer la qualité de vie des populations résidentes. Cela exige l'amélioration des conditions physiques du parc bâti par sa réhabilitation et l'établissement d'équipements, d'infrastructures et d'espaces publics tout en maintenant l'identité et les caractéristiques de la zone de la ville concernée [JOF 99].

Selon le degré de vétusté des ouvrages, on peut classer la réhabilitation en trois catégories [LAR 94] :

**➤ Réhabilitation légère :**

Elle concerne les bâtiments sous équipés dont la structure porteuse ne présente pas de faiblesse particulière. Elle consiste à une réorganisation des espaces ou à une amélioration du confort thermique et acoustique. Elle touche :

- Les enduits ;
- Le nettoyage ;
- Le remplacement de la menuiserie.

**➤ Réhabilitation moyenne :**

Elle concerne les immeubles qui demandent l'amélioration de certain confort et le renforcement des structures porteuses ainsi que le changement de certains équipements :

- Réfection de l'électricité et des peintures ;
- Amélioration du confort acoustique ;
- Installation des pièces d'eau ou d'ascenseur.

**➤ Réhabilitation lourde :**

Elle concerne les bâtiments dont la structure porteuse est sérieusement endommagée et l'état d'usure est très avancé. Il s'agit dans ce cas de renforcer la structure ou de la remplacer.



La restauration et la réhabilitation se distinguent par leur rapport à la continuité et au changement. L'une est dévolue au maintien de la forme bâtie, sans égard particulier pour l'évolution éventuelle de son contenu ; l'autre transforme un bâtiment pour en actualiser à la fois le programme et la construction. Cette modification d'un lieu existant impose des arbitrages entre les exigences patrimoniales, sociales et économiques, qui nécessitent la médiation d'un acte architectural fortement empreint de culture [JOF 99].

### **B. Pas de bonne réhabilitation sans le diagnostic :**

Améliorer un bâtiment, c'est organiser son passage entre deux états : ce qu'il est et ce qu'il sera. Cette opération nécessite donc des idées aussi précises sur ce que sera le bâtiment après les travaux que sur ce qu'il est avant sa transformation.

A défaut de pouvoir disposer de plans préétablis, le premier acte de diagnostic consiste à établir un relevé dimensionnel du bâtiment existant qui permettra non seulement de disposer des éléments cotés indispensables mais aussi de repérer les observations effectuées lors de la visite des locaux. Il est complété par un constat méthodique et général des divers éléments du bâti tant au niveau des structures que de second œuvre. La recherche de tous ces indices d'appréciation ne peut être confiée qu'à une personne ayant de bonnes connaissances des divers systèmes constructifs et de leur pathologie ainsi qu'une certaine expérience pratique [BOR 85], [JOF 99].

En ce qui concerne les structures, il s'agit de déterminer les emplacements et les caractéristiques des éléments principaux (mur, poteaux, poutres, chaînages...), les détériorations apparentes ou cachées (fissurations de murs et de cloisons, décollement d'enduit, affaissement de plancher, déversement de mur de façade...) de repérer les ouvrages spéciaux ayant une incidence sur la stabilité du bâtiment (cheminées, conduits divers, chevêtres...).

Pour le second œuvre et les équipements, il est nécessaire de recueillir toutes les informations sur leur constitution, leur état, leur aptitude à assurer le service ou la fonction pour laquelle ils sont prévus, compte tenu des exigences actuelles dans ce domaine.

Cette recherche sera effectuée en faisant appel à l'observation visuelle de toutes les parties visibles, à l'auscultation par des moyens non destructifs, de zones sensibles ou à des sondages ponctuels aux points délicats.

Dans cette phase, le responsable du diagnostic sera amené à utiliser divers appareils qui lui permettront [BOR 85], [ROU 94]:

- d'affiner ses observations visuelles, ou de les compléter;

- de détecter les pièces métalliques incluses dans les ouvrages ou les canalisations diverses desservant les bâtiments ou les locaux;
- de repérer les parois ou les ambiances humides;
- d'évaluer la qualité de l'isolation thermique ou acoustique;
- de préciser les caractéristiques de résistances, de dureté superficielle de certains éléments ou l'épaisseur de film de peinture.

### **C. Décider de réhabiliter :**

Les critères qui rentrent en jeu dans la conservation des bâtiments sont nombreux et subjectifs: pour l'habitant, la localisation est prioritaire ; pour l'historien, la mémoire prime ; pour l'architecte, la qualité d'élaboration l'emporte ; pour les associations, l'image du quartier domine. La décision de réhabiliter peut être emportée sur des critères économiques, patrimoniaux ou sociaux [JOF 99].

Cependant, les enjeux techniques et économiques en présence ramènent le plus souvent l'équation à quelques paramètres [LEB 82], [JOF 99] :

- La valeur patrimoniale du bâtiment (au sens culturel, qui comprend l'ancienneté, la rareté et la beauté ), ou son appartenance à un ensemble dont la cohérence doit être conservée ;
- La surface qu'il occupe, comparée au droit à construire en cas de démolition / reconstruction, ainsi que les servitudes d'éclairément et de prospect qui ont pu également évoluer; ces critères sont souvent déterminants pour les bâtiments situés en ville;
- L'adéquation de sa typologie ( épaisseur construite, trame de structure, éclairément ) à l'évolution souhaitée pour son occupation, et l'importance des travaux à engager pour l'atteindre;
- La présence des occupants et l'incidence sur leur vie quotidienne des scénarios de réhabilitation ou de reconstruction envisagés
- La possibilité ou non d'interrompre l'activité du bâtiment;
- La comparaison en coût global - c'est- à –dire travaux + accompagnement social éventuel + coût d'entretien ou d'exploitation après travaux – entre la réhabilitation de l'édifice et sa démolition / reconstruction.

### **D. Entretien / réhabiliter / reconstruire :**

Il appartient au diagnostic d'analyser ces paramètres et de motiver le choix du mode d'intervention sur le bâtiment.

Dans certaines situations, mieux vaut l'entretenir davantage ou augmenter son coût de fonctionnement que le réhabiliter. C'est le cas, par exemple, de certaines défaillances thermiques ou d'un défaut qui rend les façades salissantes : l'installation d'une chaudière plus

puissante ou un nettoyage plus fréquent seront mis en balance avec l'option d'une réforme complète. Dans d'autres cas, à l'inverse, mieux vaut reconstruire que réhabiliter : les réhabilitations " lourdes " engagées sur des bâtiments en mauvais état, ou peu réappropriables, entraînent des restructurations plus chères que la construction neuve, et un déficit qualitatif en termes d'usage et de gestion. Ce type de travaux devrait être réservé à des édifices ayant des qualités rares ou une situation urbaine exceptionnelle.

Une qualité spécifique de la réhabilitation tient dans l'exploitation des particularités d'un bâtiment. Les aménagements qui remettent en cause profondément le parti structurel ou distributif d'origine et ne conservent, par exemple, qu'une façade, ignorent l'intérêt que représente ce dialogue entre les époques, et portent préjudice à la cohérence d'un édifice généralement pensé comme tout. Ils engagent des budgets élevés et ont des conséquences importantes pour les usagers qui doivent déménager ou subir de longs travaux [BER 82], [JOF 99].

#### **E. Déroulement du processus de réhabilitation :**

L'expérience acquise, au cours du déroulement de plusieurs opérations de réhabilitation, nous conduit à proposer la prise en compte d'éléments qui nous paraissent fondamentaux dans l'exercice d'une ingénierie spécifique [BER 10]:

##### **➤ Etablissement d'un cadre de programmation :**

Les résultats des diagnostics préalables et de la collaboration avec les différents responsables doivent permettre de définir les objectifs et les orientations du programme et de fixer certaines exigences.

##### **➤ Esquisse d'avant-projet de conception :**

Sur la base de ces orientations il est souhaitable de demander aux concepteurs d'explorer différentes possibilités de transformation et de faire des propositions visant à compléter, préciser le cadre de programmation qui leur été fourni, mais susceptible également d'être en partie réorientée.

##### **➤ Vérification de la faisabilité :**

Une pré-consultation restreinte des entreprises peut alors permette de s'assurer de la faisabilité des avant-projets, de les ajuster en fonction des difficultés de réalisation qu'ils risquent de susciter.

##### **➤ Information et consultation des locataires :**

Le cadre de programmation et les avant-projets peuvent être ensuite présentés aux habitants afin de les informer, de connaître les réactions suscitées et recueillir leurs suggestions.

➤ **Elaboration du programme provisoire :**

Ces explorations permettent de réaménager le programme provisoire, de l'affiner et de l'enrichir en y intégrant les éléments générés par les phases précédentes.

➤ **Elaboration du projet de conception :**

En tenant compte des données recueillis, les concepteurs peuvent établir leur projet de conception sans risquer de le voir remis en cause ou dénaturé :

- Par le maître d'ouvrage estimant qu'ils ont mal interprété le programme ;
- Par les entreprises considérant que sa faisabilité est problématique ;
- Par les habitants et les autres partenaires qui n'y retrouvent pas leurs préoccupations.

➤ **Présentation du projet retenu aux partenaires :**

Le projet définitif doit faire l'objet d'une large information auprès des partenaires afin qu'ils se rendent compte des modifications apportées en explicitant les raisons pour lesquelles certaines demandes n'ont pas pu être intégrées.

➤ **Expérimentation sur un bâtiment test :**

L'expérimentation sur un bâtiment test correspond à la mise au point d'un prototype dans l'industrie et permet d'identifier les difficultés concrètes de réalisation, de trouver de nouvelles solutions, de recueillir et d'analyser les réactions des usagers.

C'est aussi un processus d'apprentissage de la collaboration entre maître d'ouvrage, concepteurs et entreprises, de rodage des méthodes et des techniques qui permet d'améliorer l'efficacité des responsables avant qu'ils ne se lancent dans la réalisation de l'ensemble du programme.

➤ **Mise en point du programme définitif en cours de lancement de l'opération :**

Les renseignements tirés de l'opération test amènent à modifier encore une fois certains éléments de programme et peuvent infléchir le mode de conduite de l'opération.

Le programme doit en effet ménager des possibilités de modifications en cours de réalisation en laissant une marge d'incertitude quant à l'état réel du bâti, la faisabilité de certains travaux, la pertinence des choix effectués.

➤ **Rectification lors de la réception des travaux :**

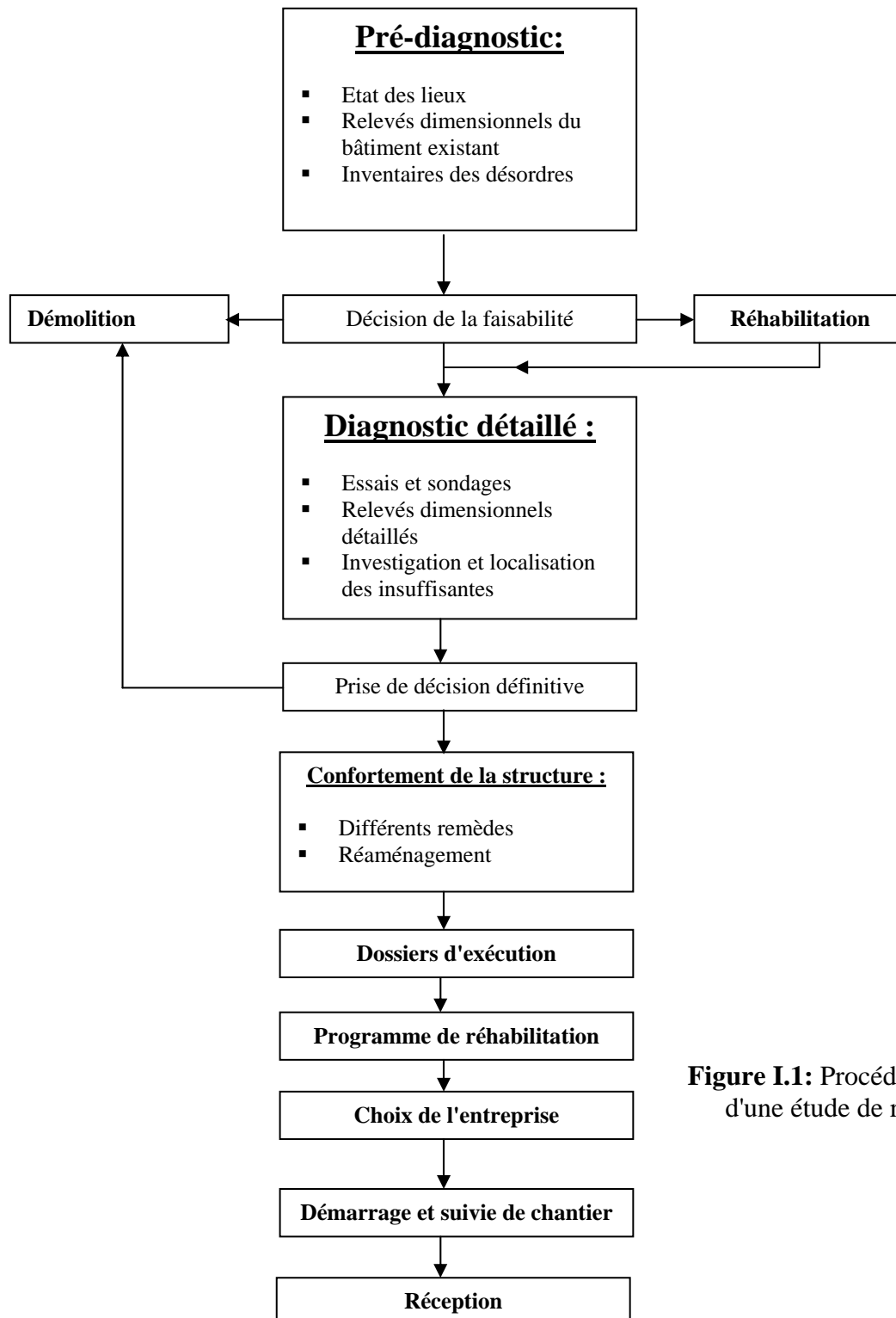
Lors de la réception des travaux il convient de faire une évaluation de l'opération et de recueillir les avis des locataires afin de procéder à certains ajustement.

Des oublis ou des erreurs apparemment mineures peuvent entraîner l'insatisfaction des locataires ou produire rapidement des dégradations du bâti.

➤ **Programme post réhabilitation et ajustement un an après la remise en service :**

L'achèvement de la réhabilitation ne doit pas se traduire par un retrait brutal de ses promoteurs. Ceux-ci doivent suivre l'évolution du quartier pendant au moins un an et réagir rapidement à tout nouveau signe de dégradation.

Au bout d'un an il est souhaitable de faire le point de la situation, de recueillir à nouveau les avis des habitants et de procéder aux ajustements nécessaires.



**Figure I.1:** Procédure d'élaboration d'une étude de réhabilitation.

### I.3 Réparation et renforcement des structures :

#### A. Définitions:

##### ▪ **Réparation:**

La réparation d'une structure est une opération qui consiste à lui restituer, par des travaux appropriés, un niveau de service perdu, la baisse du niveau de service peut résulter de toutes sortes de causes ; les plus fréquentes sont la dégradation progressive des matériaux (agressions atmosphériques, modification des propriétés des matériaux), l'utilisation intensive (effet de répétition des charges) voire abusive (utilisation au delà des charges prévues), les accidents et sinistres (incendies, choc ,séisme, ...) [CGS1 92 ] , [CGS2 92].

##### ▪ **Renforcement:**

Le renforcement est une opération qui consiste à augmenter le niveau de service et en particulier (augmentation de la ductilité, de la résistance) d'une construction pour en permettre l'utilisation dans des conditions non prévues à l'origine ou de lui procurer une protection suffisante contre des sollicitations dont il n'a pas été tenu compte dans les calculs [CGS1 92 ] , [CGS2 92]. Un renforcement peut être associé à une réparation.

#### B. Préparation d'une opération de réparation ou de renforcement :

Pour savoir si une structure est réparable, il faut donc commencer par dresser un état détaillé et précis des désordres qui sont apparus, s'efforcer d'en déterminer les causes, estimer l'intensité des charges que la structure est encore en état de supporter (dans le but de prendre le plus rapidement possible d'éventuelles mesures de protection) et enfin procéder à l'étude des moyens propres à lui restituer ses caractéristiques de résistance initiale.

Quand la cause de dégradation a été déterminée et que l'on a vérifié la résistance de l'ouvrage il faut décider :

- Soit de laisser la dégradation se poursuivre ;
- Soit de renforcer la construction ;
- Soit de reprendre des mesures pour conserver l'ouvrage dans son état actuel sans essayer de le renforcer ;
- Soit – si la dégradation est exceptionnellement avancée – de reconstruire ou éventuellement d'abandonner l'ouvrage.

Cette décision est prise en fonction de facteur de sécurité, d'économie et d'esthétique.

Le choix d'une méthode de réparation n'est pas facile ; il s'agit de choisir le procédé le moins coûteux qui atteigne efficacement le but poursuivi. Il convient de tenir compte des considérations suivantes [SID 69 ] , [CHA 83]:

1. Le coût n'est pas représenté par la seule mise de fonds initiaux : il faut considérer l'ensemble des frais, qui comprend la première mise de fonds, les frais d'entretien et l'intérêt produit par les sommes non dépensées immédiatement.
2. Le travail doit être fait à temps, sans attendre qu'il y ait urgence.  
Une réparation, pour être bien faite, demande réflexion et soin, ce qui prend du temps.  
En outre le coût de la réparation s'accroît à mesure que la situation se dégrade.
3. Si les dégâts sont relativement peu nombreux et isolés, des réparations partielles sont à préconiser. Si les dégâts sont étendus, il faut envisager de reprendre l'ouvrage dans son ensemble.
4. Il faut s'assurer que la réparation empêchera les dégâts de s'étendre, si non il faut essayer de prendre une marge de sécurité supplémentaire lors de la réparation pour tenir compte de la persistance du phénomène de dégradation ou de l'apparition d'une autre sorte d'altération.
5. Si l'ouvrage a été dangereusement affaibli, la réparation doit lui rendre sa résistance initiale et ne pas se borner à empêcher que la dégradation se poursuive.
6. L'esthétique pose-t-elle un problème ? Si tel est le cas, les types de réparation possibles sont en nombre limité, et il peut être nécessaire de cacher la réparation par quelques procédés d'architecture (ce camouflage ne doit pas dissimuler de dégradations profondes ou permanentes, ni barrer l'accès à l'ouvrage qu'il cache.
7. Il faut s'assurer que les réparations, pendant leur exécution, ne gêneront pas l'utilisation de l'ouvrage. Dans le cas contraire, il est nécessaire de prendre des mesures pour que l'ouvrage reste en service.
8. Une réparation implique souvent l'accroissement de section d'un élément. Ceci augmente la rigidité de l'élément, modifie la distribution des efforts et des moments résultants des surcharges soulageant certains autres.  
Ces changements peuvent être importants, il faut s'assurer qu'ils n'endommagent pas d'autres ouvrages ou d'autres parties du même ouvrage.

Après avoir choisi un procédé de réparation convenable et envisagé les conséquences diverses de son exécution, la dernière étape consistera à établir les plans, à rédiger le cahier des charges, et à commencer le travail.

**I.4. Conclusion :**

Ce chapitre a présenté les différentes terminologies existantes dans le domaine de réhabilitation, de réparation et de renforcement des ouvrages existants. Chaque terme correspond à un cas d'espèce, seul un expert peut déterminer le mode d'intervention envisagé en fonction du problème posé.



# CHAPITRE II

## CAUSES GENERALES DES DEGRADATIONS DES STRUCTURES

## II.1 Introduction :

Lorsque nous constatons une dégradation sur un ouvrage en service, il est actuellement difficile de dire si celle-ci est apparue pendant la construction, peu après, ou longtemps après. Or, à l'analyse, il apparaît le plus souvent qu'une dégradation n'a pas une cause unique et qu'elle est favorisée par un grand nombre de paramètres, relatifs tout autant à la nature du matériau qu'à la conception de l'ouvrage ou à la technologie de son exécution.

## II.2. Structures en béton armé :

Les signes apparents extérieurs des désordres d'un ouvrage en béton sont souvent des fissures, des désagrégations et des épaufrages. Les causes de ces problèmes sont multiples, les plus fréquemment rencontrées sont :

### II.2.1. Déplacements des coffrages :

Les coffrages sont dimensionnés pour résister au poids de béton frais, mais ils sont toujours déformables. La déformation provoquée par le béton frais peut alors entraîner, dans les parties déjà durcies mais encore jeunes, l'apparition de fissures importantes.

Pour empêcher l'apparition de telles fissures il faut :

- Vérifier que le coffrage est bien conçu ;
- Revêtir la surface du bois utilisé pour le coffrage afin d'empêcher l'absorption qui induit un gonflement du bois;
- Vérifier périodiquement les montages et l'exécution pendant le coulage.

### II.2.2. Ségrégation du béton frais :

Entre la fin du bétonnage et le début de prise se produit un phénomène de sédimentation ( tassement ) : par gravité, les grains lourds en suspension sont attirés vers le bas. L'eau qui reflue (ressuage) entraîne à son tour une partie des grains les plus fins vers la surface de l'élément. Il en résulte, dans la zone inférieure de l'élément, une concentration plus élevée en gros grains et, dans la partie supérieure, une concentration plus forte en pâte de ciment.

Les conséquences du phénomène se traduisent par la cassure du béton frais avec des fissures visibles qui suivent le tracé des armatures les plus proches [SID 69].

Pour colmater les fissures superficielles, il suffit de différer le réglage des surfaces et de commencer la cure du béton le plutôt possible après sa mise en place ; ce traitement retarde en effet la prise, cela réduit la différence entre la ségrégation en surface et celle en pleine masse.

### II.2.3. Décoffrage prématuré :

La vitesse et l'économie actuellement recherchées dans la construction ont pour conséquence que le coffrage est retiré avant que le béton ait acquis une résistance suffisante .

Le décintrement et le décoffrage prématurés d'un béton peuvent entraîner:

- des déformations excessives de pièces minces fléchies;
- une fissuration des parties tendues;
- une microfissuration préjudiciable au niveau de la durabilité de la structure.

Pour éviter ces problèmes, il faut laisser les étais et les coffrages en place jusqu'à ce que le béton soit assez résistant.

Le durcissement du béton en cours de prise est influencé par un certain nombre de paramètres liés au béton et aux conditions thermiques dans lesquelles il est placé:

- Le dégagement de chaleur du béton en cours de prise et un facteur prépondérant; il est évidemment relié à la chaleur d'hydratation et au dosage du ciment constituant le béton; la connaissance du degré d'avancement des réactions ou degré de maturation du béton, peut être appréciée par la mesure du dégagement de chaleur et , après calibrage, elle devient un outil non destructif permettant d'estimer la résistance du béton au jeune âge;
- Les conditions climatiques dans lesquelles est placé le béton jouent également un rôle non négligeable; à cet effet, le coffrage constitue une enveloppe de protection plus ou moins efficace suivant sa nature: un coffrage constitué par un matériau isolant génère un traitement thermique passif du béton;
- Lorsque les conditions climatiques sont trop sévères pour permettre un décoffrage dans les délais souhaités, le béton peut être soumis à un traitement thermique actif.

### II.2.4. Retrait lors du durcissement :

Le retrait thermique peut être la cause de pré-fissuration du béton. La prise puis le durcissement du béton se font avec un dégagement de chaleur ; le matériau se contracte au cours de son refroidissement. A ce phénomène viennent s'ajouter des effets de masse, la température d'hydratation pouvant être plus élevée au sein d'une pièce massive et plus faible au voisinage des parois par échange thermique avec l'extérieur.

L'expérience montre que le retrait gêné, hydraulique et / ou thermique, peut provoquer la fissuration dans tous les éléments, mais particulièrement dans les murs et les dalles en fonction de la longueur, l'épaisseur, le ferrailage, l'hygrométrie ambiante et les conditions climatiques (ensoleillement, vent, pluie...) [CHO 92], [DAV 97].

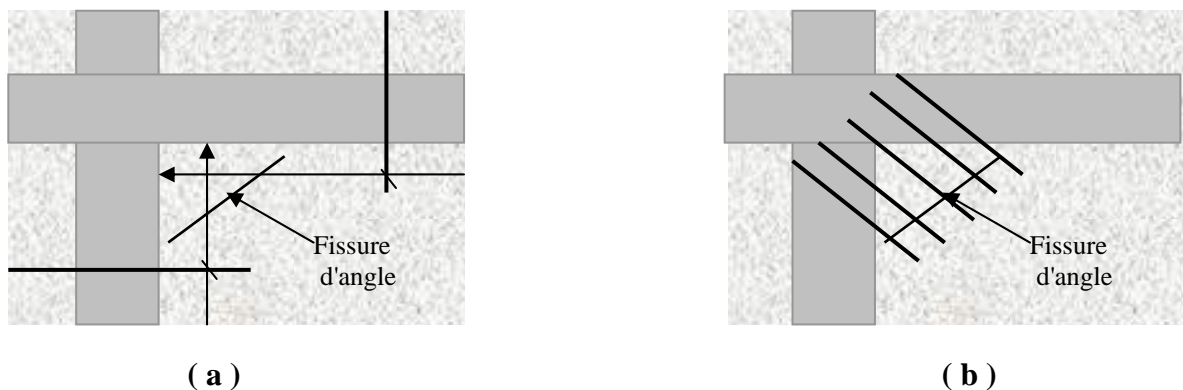
Le retrait hydraulique s'effectue sous l'action de l'évaporation d'une partie de l'eau de gâchage.

Dans le cas d'une dalle, cette évaporation se produit inégalement sur les deux faces : alors qu'en partie basse le coffrage de la dalle rend cette évaporation malaisée, la face supérieure, au contraire, est en contact avec l'atmosphère et la dessiccation sera d'autant plus rapide que l'air sera chaud (ensoleillement) et, surtout, en mouvement.

Les deux faces de la dalle sont ainsi soumises à un retrait différentiel, et, dans certains cas (béton trop liquide, absence de produit de cure), il peut en résulter un soulèvement de la dalle au droit des angles.

Ce phénomène de soulèvement des angles, empêché par les liaisons avec les poutres ou les murs périphériques, explique certaines fissures à 45° que l'on voit parfois apparaître dans les angles des dalles.

Pour éviter ces fissures qui sont sans gravité, il est nécessaire de prévoir un quadrillage d'armatures supérieures obtenu par le croisement des chapeaux (Figure II.1.a), ou, à la rigueur, des armatures disposées dans le sens perpendiculaire à la fissure (Figure II.1.b) [BUI 76 ], [DAV 97].



**Figure II.1:** Fissuration à 45° d'une dalle ; dispositions préventives du ferrailage:

- a. croisement des chapeaux
- b. armatures en renfort

### II.2.5. Contraintes thermiques :

La prise du ciment provoque un dégagement de chaleur. Le béton est mauvais conducteur et dans les pièces massives, cette chaleur s'accumule au cœur, ce qui élève la température et accélère la réaction. De plus, le cœur des pièces refroidit moins vite que la surface. Dans le cas des pièces constituées de parties d'épaisseur différentes, des cisaillements apparaissent dans les zones de transition.

En conséquence, il faut limiter les variations brusques d'épaisseur, les angles vifs. Dans certains cas, le choix d'un ciment à chaleur d'hydratation modérée peut, en outre, s'avérer nécessaire. Très souvent une protection thermique même légère diminue nettement les gradients de température [DAV 97].

### **II.2.6. Absorption d'eau par le béton :**

On constate souvent que parmi les différentes parties d'un même ouvrage construit avec les mêmes matériaux, certaines sont saines tandis que d'autres sont gravement détériorées. Cela est dû à la différence de quantité d'eau absorbée par le béton.

Il n'est pas possible d'empêcher le gonflement du béton dû à l'augmentation de la teneur en eau. Le remède est soit de tenir compte de la dilatation du béton dans des ouvrages soumis à des cycles de séchage et d'humidification, soit de maintenir le béton humide en le gainant dans une sorte d'épais manchon de bois empêchant la dessiccation de la masse [SID 69].

### **II.2.7. Corrosion des armatures :**

#### **II.2.7.1. Déroulement du processus de corrosion :**

Le mécanisme comprend deux phases :

La première, dite phase d'incubation, dépend en grande partie des processus assurant le transport des éléments agressifs jusqu'à l'armature, mais aussi des réactions chimiques se produisant au sein du béton et des réactions électrochimiques à l'interface [AFG 03].

La seconde phase est la période de croissance pendant laquelle la corrosion se produit avec une certaine vitesse, conduisant à la formation de la rouille et aux états ultimes de dégradation.

La pénétration des agents agressifs ( Figure II.2 ) s'effectue sous forme gazeuse ( molécules d'air ou de  $\text{CO}_2$  ) ou ionique. Les processus de transport font intervenir les phénomènes de diffusion et de convection ou de capillarité.

Les fissures du béton ont un rôle à part ( Figure II.3 ). Ce sont en effet les passages préférentiels pour le milieu ambiant. Dans le cas où elles pénètrent jusqu'à l'armature, le temps d'initiation est très court. Il se produit tout d'abord une perte d'adhérence locale, pouvant se propager suivant le profil de l'acier, pour dépasser localement le métal ( Figure II.4 ). Parallèlement, le front de progression des agents agressifs se modifie et il est possible que la microfissuration joue un rôle dans ce domaine ( Figure II.5 ) [BLA 93], [MAM2 96].

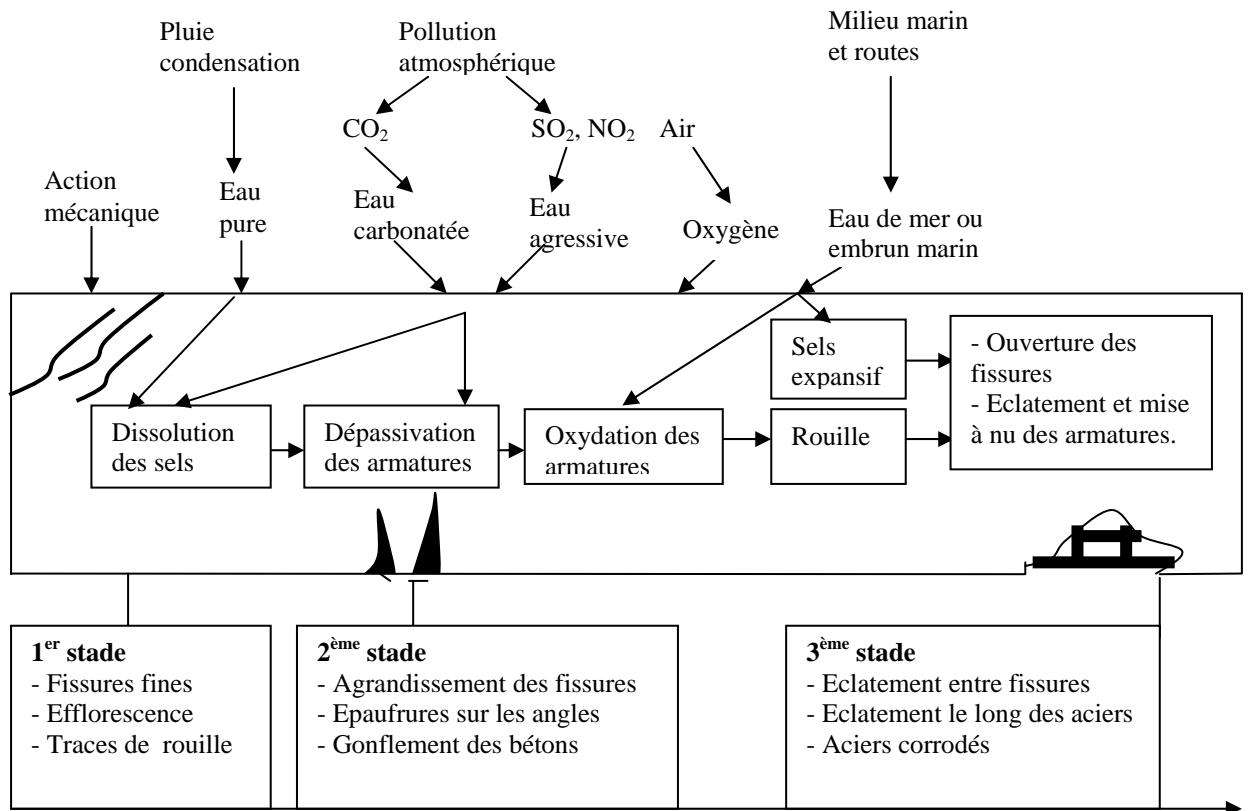


Figure II.2: Processus de corrosion.

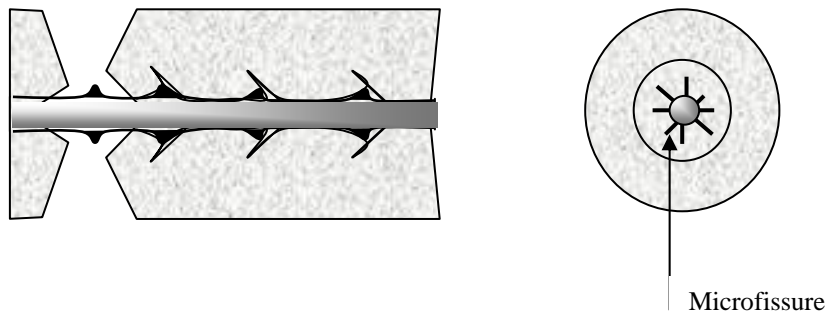


Figure II.3 : Déformation du béton autour de l'acier, après formation de fissures internes.

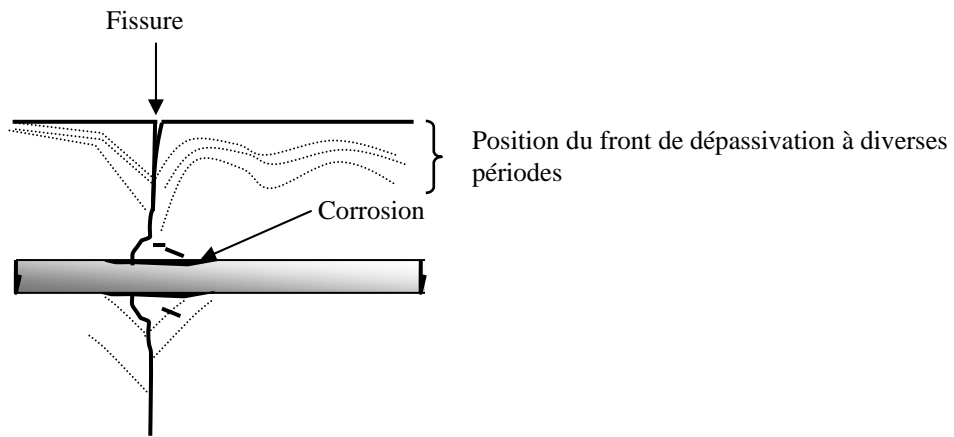


Figure II.4: Avancement du front de dépassivation en fonction du temps.

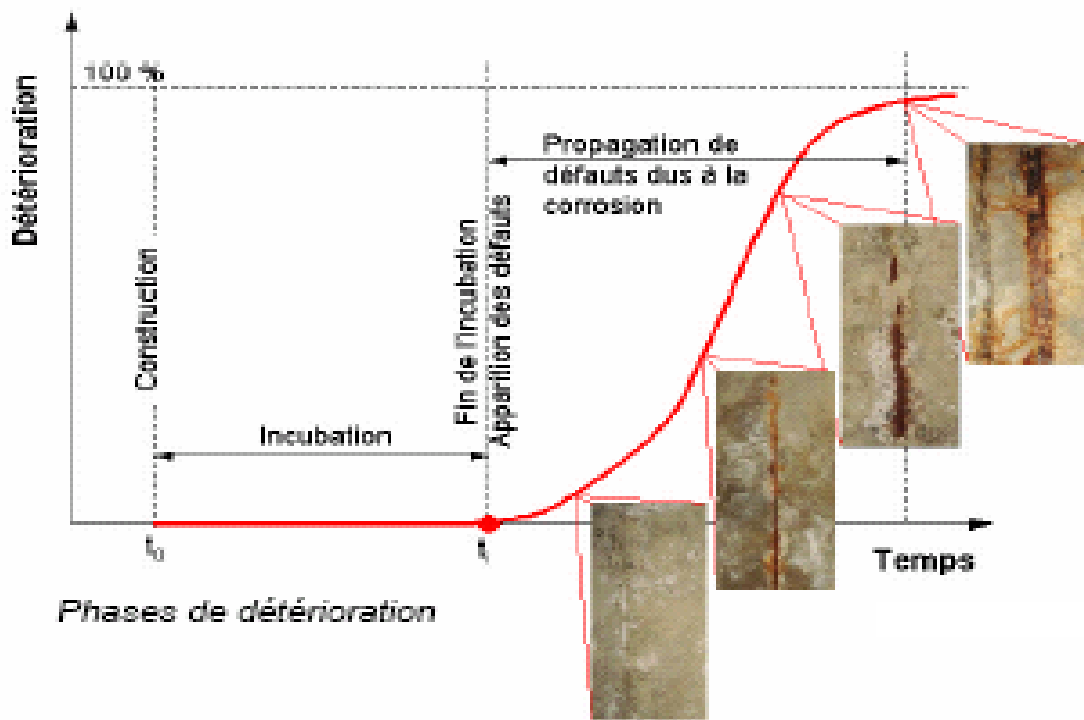
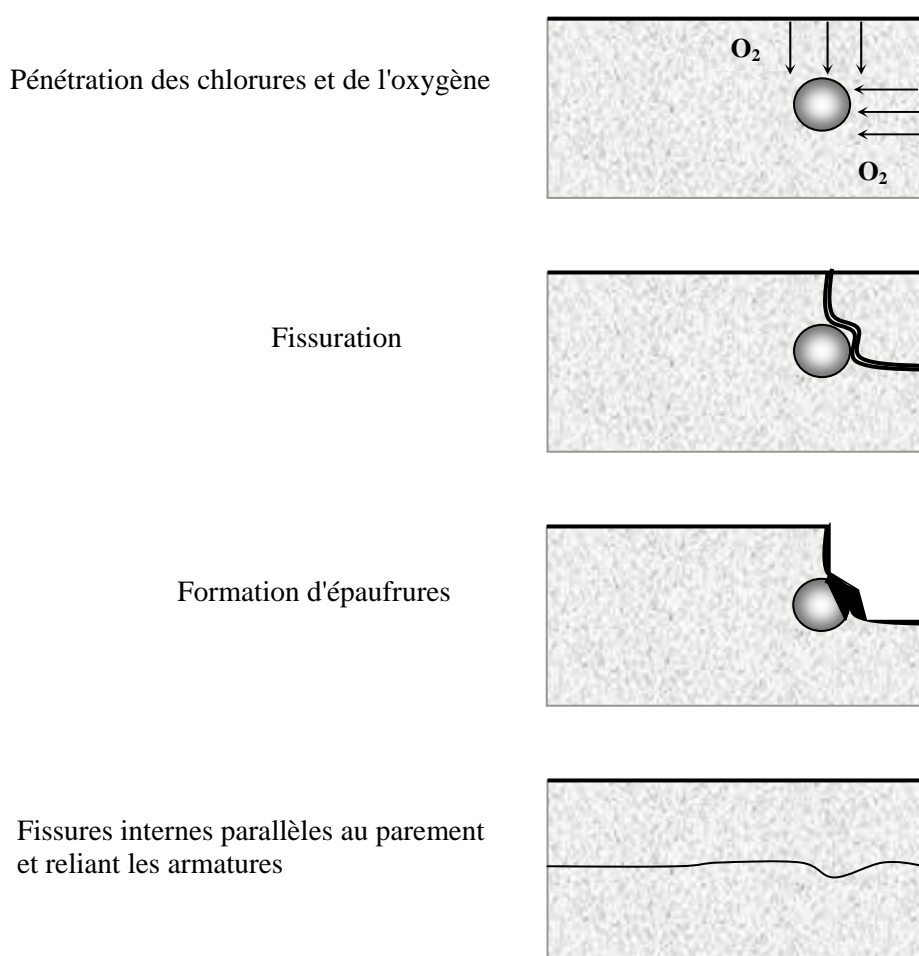


Figure II.5 : Evolution de la dégradation d'une structure en béton armé.

### II.2.7.2. Conséquence de la corrosion:

la corrosion de l'acier provoque la réduction de la section de l'armature (partiellement, localement ou en totalité). De plus, la réaction chimique de formation de la rouille (mélange d'oxydes et d'hydroxyde de fer) s'effectue avec une expansion (le volume de l'acier devient 3 à 4 fois supérieur). Ce gonflement provoque dans le béton des contraintes d'expansion importantes, supérieures à la résistance à la cohésion du béton. La manifestation visuelle qui en résulte se présente sous forme de fissures en surface qui s'amorcent à partir de l'acier (Figure II.6) [ACI 06].

Des fissures internes reliant les armatures peuvent aussi disloquer le béton. La décohé- sion peut présenter des pustules ou des plaques de béton. Les manifestations diffèrent selon l'épaisseur du béton, l'écartement et le diamètre des aciers. Il en résulte que l'élément en béton armé ne fonctionne plus, au point de vue de la résistance des matériaux, comme il avait été calculé primitivement [CHO 92], [MAM2 96].



**Figure II.6:** Fissurations dues à la corrosion.



### II.2.8. Réactions chimiques :

Il existe deux sortes de milieux agressifs vis à vis du béton :

- Les milieux fluides : eaux douces, eau de mer, liquides organiques, gaz...
- Les milieux solides : produits de stockage, sols, ...

En fonction de la concentration de l'agent agressif, de la mobilité de son milieu, de la température ambiante et de la durée d'exposition, ces milieux peuvent attaquer le béton et provoquer des dégâts irréversibles si des précautions de protection ne sont pas prises à temps.

La vitesse de dégradation du béton dépend également de plusieurs facteurs dont notamment :

- La nature des différents constituants (ciment, agrégats...) et composition minéralogique
- La composition du béton
- Le mode de sa mise en œuvre
- De l'âge du béton et des conditions climatiques

Les symptômes d'attaque chimique sont la désagrégation et l'épaufrage des surfaces, l'agrandissement des fissures et des joints [SID 69].

Pour éviter ces désordres il faut utiliser un béton dense de bonne qualité car il empêche la pénétration des solutions chimiques, il résiste mieux et plus longtemps aux attaques chimiques qu'un béton ordinaire [BUI 76], [SID 69].

### II.2.9. Altération atmosphérique :

Si l'eau absorbée par le béton est exposée à des températures inférieures à zéro degré celsius, elle gèle en augmentant le volume ; la pression résultante fissure le béton. Au moment du dégel la surface fissurée s'épaufre.

La meilleure protection à prendre est [SID 69], [GEO 96]:

- De diminuer la porosité en utilisant un béton dense et de bonne qualité (le rapport eau-ciment est inférieur à 0.5) ;
- Utilisation des adjuvants pour accroître la résistance aux agents atmosphériques ;
- L'emploi d'un revêtement de coffrage absorbant pour accroître la densité de la surface du béton pour des ouvrages partiellement enterrés ou placés en eau peu profonde.

### II.2.10. Ondes de chocs :

Le béton est susceptible de s'épaufrer quand il est soumis à des ondes de choc. Ceci est dû aux différentes vitesses de propagation des ondes dans les différents matériaux ( les agrégats, le liant et les armatures ).

La résistance aux chocs peut être améliorée par l'emploi pour la confection du béton, d'agrégats anguleux et rugueux et par l'utilisation de sections fortement armées [SID 69] .

## II.2 .11. Tassements:

### II.2.11.1 Tassement uniforme :

Lorsque les tassements sont uniformes, ils ne provoquent pas de désordres dans les constructions, si ces dernières possèdent une certaine raideur.

Ce type de tassements se rencontre principalement lorsque les fondations assez rigides reposent sur une importante couche de sol compressible ou un bi-couche.

Généralement, dans le cas de sol compressible dont la couche est importante toutes les mesures nécessaires sont prises au moment de la conception.

Il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit d'un bi-couche constitué d'une couche très compressible surmontée d'une autre couche relativement résistante mais de faible épaisseur ; la force portante à la partie supérieure de la couche compressible est alors fonction de la valeur du rapport  $H/B$  (  $H$  étant l'épaisseur de la couche résistante et  $B$  étant la largeur de la semelle ) qui conditionne la répartition des charges au travers de la couche résistante. Cette répartition des charges peut alors être différente de la répartition à  $45^\circ$  et les tassements uniformes peuvent être plus importants que prévu.

Dans les deux cas, si l'amplitude du tassement doit être importante, la seule solution consiste à surélever le plancher du rez de chaussée et de prévoir des canalisations suspendues et très flexibles au moment de la construction [BUI 76].

### II.2.11.2 Tassements différentiels :

Lorsqu'un sol tasse d'une façon inégale sous les différents points d'une fondation, on dit qu'il y a un tassement différentiel.

Il se manifeste soit par un basculement soit par de graves désordres dans les éléments non structuraux et parfois dans la structure elle-même si les efforts sont incompatibles avec la sécurité des matériaux.

Les causes des tassements différentiels sont multiples, mais les plus fréquemment rencontrés sont :

- Les sols compressibles
- Les remblais récents
- Les remblais d'épaisseurs
- La non homogénéité du sous-sol de fondations
- L'emploi des fondations hétérogènes
- Les affouillements du sol sous les fondations
- La modification du volume de certains sols en fonction de la teneur en eau...

### II.2 .12. Désordres dus à un défaut de conception :

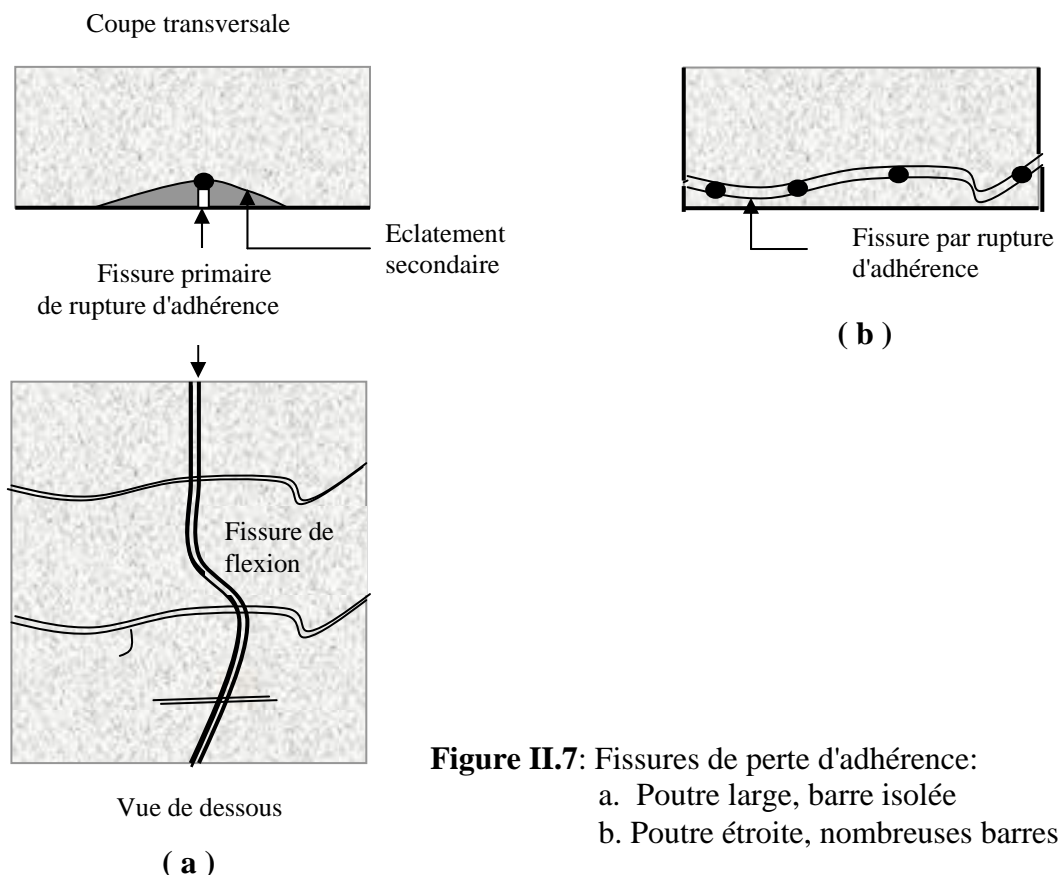
Si certains schémas de fissuration correspondent à un type de sollicitations bien défini, on peut aussi, à partir du relevé des fissures, essayer de comparer l'état d'une structure à celui prévu par le calcul, dans le but de déceler des anomalies de fonctionnement. Si le tracé des fissures est conforme au schéma prévu, une indication sur le risque de dépassement d'un chargement normal est donné par la valeur de l'ouverture des fissures et sa variation [SID 69], [DAV 97].

Des fissures correspondant à un schéma non prévu constituent, aussi, une indication de fonctionnement anormal.

La plupart du temps, les fissures résultent d'une insuffisance consécutives à des oublis ou à des impasses au niveau des études, parfois aussi d'un manque de coordination entre le bureau d'études et le chantier.

#### II.2.12.1. Fissures de perte d'adhérence:

Des fissures longitudinales le long d'une barre ( Figure II.7 ), si elles sont provoquées par une mise en traction de cette barre, révèlent une rupture d'adhérence, qui peut être due, par exemple, à un recouvrement insuffisant; ces fissures constituent un danger grave de corrosion et correspondent à un fonctionnement défectueux.



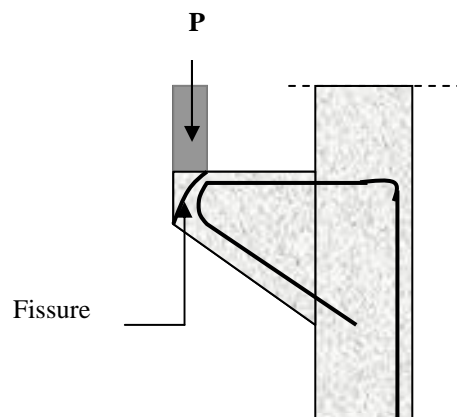
**Figure II.7:** Fissures de perte d'adhérence:  
a. Poutre large, barre isolée  
b. Poutre étroite, nombreuses barres

### II.2.12.2. Fissures typiques des corbeaux:

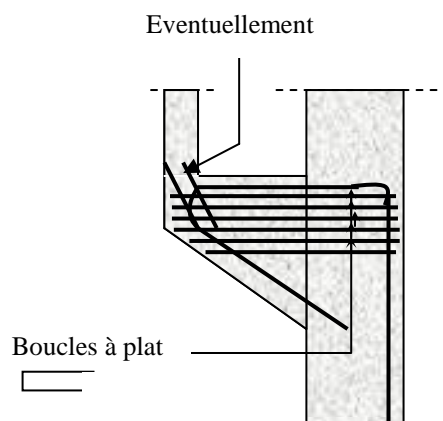
Dans le cas d'une charge localisée  $P$  appliquée à faibles distance du nez de la console, il existe un risque de fissuration presque à la verticale ( Figure II.8 ).

On constate que la stabilité du nez de la console dépend de la position correcte d'armatures , qui est fonction du rayon de courbure [DAV 97].

Il est donc conseillé de compléter le ferrailage principal par des aciers en forme de boucle, de faible diamètre, et disposés à plat ( Figure II.9 ).



**Figure II.8 :** Fissure à l'extrémité du corbeau.



**Figure II.9:** Disposition de ferrailage pour éviter la dégradation du corbeau.

**II.2 .12.3. Fissures d'éclatement dans les zones de béton comprimé:**

Un cas particulier intéressant de correspondance entre la fissuration et l'état limite ultime est la formation de fissures d'éclatement de béton dans une zone comprimée. C'est le signe de l'épuisement de la résistance en compression du béton et donc, si la charge est maintenue, d'un risque immédiat d'effondrement s'il s'agit d'un poteau uniformément comprimé ou de la face comprimée d'une poutre fléchie [GEO 96], [DAV 97].

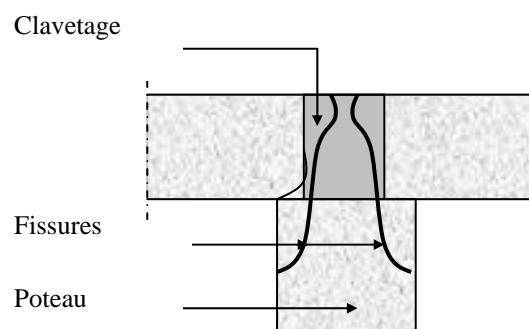
**II.2 .12.4. Fissures en tête des poteaux servant d'appuis aux poutres préfabriquées:**

Ces désordres ont pour cause les moments produits par les gradients thermiques, ignorés ou sous- estimés dans les justifications.

La différence de température entre le dessus et le dessous du plancher entraîne un allongement différentiel qui tend à " bomber " la poutre côté chaud ( terrasse ). Dans le cas des poutres continues, cette déformation, bloquée par le clavetage, donne naissance à des moments positifs générant des tractions très importantes au droit des appuis des poutres sur les poteaux avec le risque d'une fissuration de la tête du poteau et du clavetage ( Figure II.10 )

Pour éviter cette fissuration, il faut [DAV 97]:

- poser les poutres sur un bain de mortier de manière à éviter tout point dur pouvant produire des épaufrures au droit des poteaux,
- prévoir une isolation en partie supérieure de la dalle,
- disposer des armatures pour assurer la continuité des poutres et renforcer la tête des poteaux ( Figure II.11 ).



**Figure II.10:** Fissures en tête de poteau servant d'appui aux poutres préfabriquées.

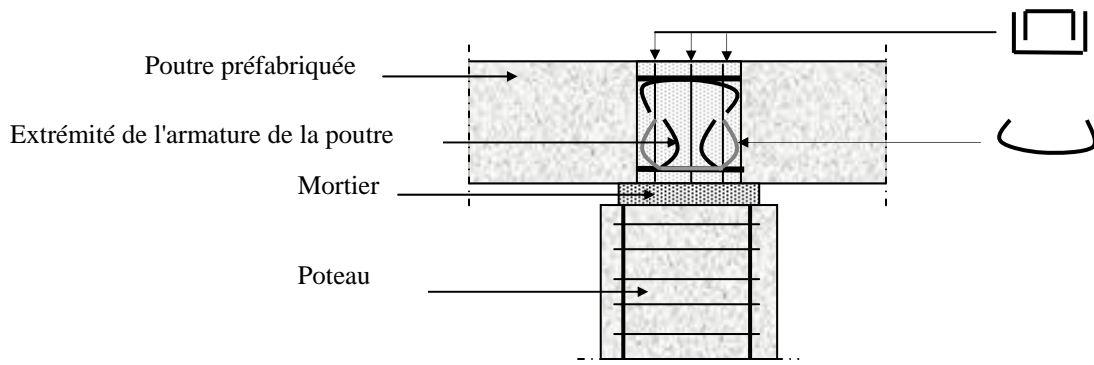


Figure II.11: Détail des armatures.

#### II.2.12.5. Fissures dues à l'adoption d'hypothèses de calcul ne tenant pas compte des liaisons réelles:

##### A. Parois d'un bassin rectangulaire calculées en consoles verticales encastrées dans le radier:

Si l'hypothèse apparaît comme justifiée dans la partie centrale, aux extrémités, les liaisons avec les parois en retour modifient le transfert des efforts.

A défaut de prendre en compte les liaisons réelles, des fissures inclinées affectent les faces extérieures des parois ( Figure II.12. a ) ainsi que les angles côté intérieur ( Figure II.12.b ).

En réalité , il aurait fallu calculer les parois en question comme des plaques soumises à la pression hydrostatique et encastrées sur trois côtés [DAV 97] , [BER 10].

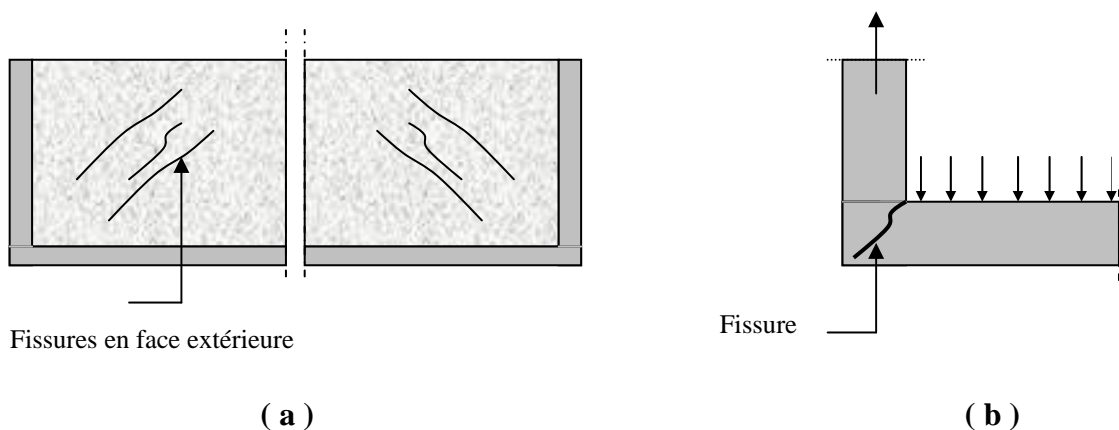
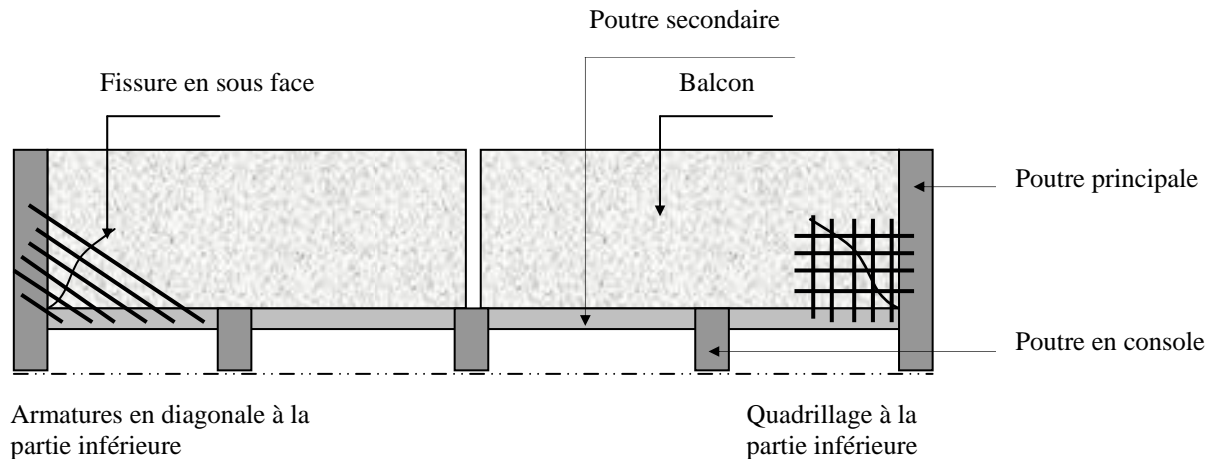


Figure II.12: Fissures des parois d'un bassin rectangulaire.

### **B. Balcons reposant par leurs rives latérales sur des éléments porteurs:**

En partie centrale, la dalle du balcon est calculée comme une simple console. En cas d'appuis aux extrémités, le fonctionnement est celui d'une dalle appuyée sur deux côtés, en angles droit, avec une fissuration se développant en sous face.

Pour éviter cette fissuration, il faut prévoir soit des armatures perpendiculaires à la fissure, soit des armatures sous forme de quadrillage, à la partie inférieure de la dalle ( Figure II.13 ).



**Figure II.13:** Ferrailage à prévoir à la partie inférieure des balcons.

### **II.3. Structures métalliques :**

Il existe cinq types fondamentaux de dégradations à examiner en ce qui concerne les ouvrages métalliques. Ce sont la corrosion, l'abrasion, le jeu d'assemblages, les efforts de fatigue et les efforts d'impact.

Les symptômes et les principales causes de ces détériorations sont les suivants:

#### **II.3. 1. La corrosion :**

On peut définir la corrosion comme la transformation des métaux en composé divers sous l'action de phénomènes naturels.

La dégradation causée par ce phénomène est facile à déceler. Les symptômes en sont une surface oxydée, piquée, laissant apparaître en général des plaques et écailles d'oxydes facilement détachables, d'aspect rouge brun, typique.

Dans le cas de l'acier, ce composé adhère mal au métal d'où il est issu et se détache facilement en écailles ; la surface de la section se trouve réduite [SID 69].

La réduction de la section et l'augmentation de contrainte qui en résulte diminuent la résistance de l'élément.

### **II.3. 2. L'érosion par abrasion :**

L'abrasion des constructions métalliques est liée au travail de parties mobiles en contact ; elle se produit sur des éléments qui subissent l'action des vagues ou sur des parties d'élément immergées dans un liquide en mouvement.

En fait, sur une plage de sable, le continu mouvement des vagues qui contiennent un taux important de particules en suspension peut percer une section d'acier d'un centimètre d'épaisseur ou plus en quelques années.

Dans les zones désertiques l'acier nu peut, à la suite d'une tempête, se trouver poli par l'abrasion des poussières et des débris transportés par le vent.

La dégradation des sections en acier sous l'effet de l'abrasion peut également s'identifier sans difficulté et peut être facilement distinguée de la détérioration due à la corrosion en raison de l'aspect usé et lisse des surfaces ainsi endommagées. Aux endroits où l'agent abrasif ne se manifeste plus et a été supplanté par un agent corrosif il est moins facile de déceler l'abrasion mais habituellement la surface abrasée formant généralement une dépression se distingue des sections voisines [SID 69].

### **II.3. 3. La prise de jeu des assemblages :**

Le jeu d'assemblage occasionne des glissements dans les joints, provoque la déformation de l'ouvrage, crée des zones d'accumulation de contraintes très élevées, et accroît la possibilité de rupture par fatigue.

Les assemblages des ouvrages et éléments en acier qui supportent des charges transitoires doivent être vérifiés régulièrement au moyen des procédés d'inspection habituellement utilisée pour vérifier les ouvrages neufs.

Les rivets desserrés doivent être arrachés et remplacés, soit par des rivets neufs, soit par des boulons à forte résistance et les boulons desserrés doivent être remplacés ou resserrés.

### **II.3. 4. L'effet de fatigue :**

On peut définir cet effet comme la rupture d'un élément de l'ouvrage sous des efforts répétés et variables engendrant des contraintes égales ou inférieures à celles prises comme valeurs admissibles dans le projet. Les symptômes en sont de petites stries perpendiculaires à la direction des contraintes et représentant un grave danger, du fait, surtout, que les fractures qui en résultent risquent d'être très difficile à déceler. Si les fissures de fatigue ne sont pas décelées, elles peuvent provoquer l'effondrement de l'ouvrage sans aucun signe précurseur [CHA 83], [SID 69].



La réparation d'éléments laissant apparaître des fissures de fatigue consiste à leur rendre la résistance perdue ; on obtient ce résultat dans la plupart des cas par le renforcement à l'aide de plaque.

### **II.3. 5. L'effet d'impact :**

Les structures en acier exposées souffrent plus de l'impact d'objets en mouvement que les structures en béton. Ceci est dû à l'utilisation pour les ouvrages en acier de sections ayant des semelles et autres saillies d'assez faible épaisseur.

Les dommages dus aux impacts se caractérisent par des déformations localisées des éléments affectés, qui présentent une courbure ou une ondulation de faible longueur d'onde.

On peut remédier à ce problème en renforçant l'élément à l'aide de plaque ou par gainage.

Si les impacts sont susceptibles de se reproduire et si le poids et l'encombrement le permettent, la mise en place d'une gaine est la meilleure solution [SID 69].

### **II.4. Structures en pierre**

Les principaux problèmes rencontrés dans les murs construits en pierre proviennent de la dégradation du matériau de construction ou de la construction dans son ensemble. La dégradation est essentiellement due à la décomposition de la pierre elle-même, aux dégâts affectant les angles et fréquemment la totalité de la surface visible, et à l'altération de la nature compacte de la pierre. La pierre se lézarde parfois à des endroits où les éléments métalliques utilisés pour relier des structures en bois sont rouillés. Dans certains cas, ces fissures peuvent être dues à la surcharge de la partie supérieure du linteau en pierre des fenêtres et des portes.

Les autres problèmes rencontrés dans les constructions en pierre sont l'affaissement d'un mur, sa séparation du reste de la construction et son effondrement. Les murs perpendiculaires ont parfois tendance à se séparer, de même que les deux faces d'un mur. Enfin, dans les constructions en pierre, la formation de fissures, la dégradation et le décollement des enduits et mortiers peuvent amener les pierres à se détacher et à tomber.

Les principales causes de dégradation (décomposition, érosion, fissures) de la pierre sont les suivantes :

a. Humidité provenant de la pluie ou d'autres causes. L'humidité apparaît généralement dans la partie inférieure du mur et, dans une moindre mesure, dans les parties situées à mi-hauteur (voire dans les parties supérieures du mur). La présence d'eau et d'humidité peut avoir des répercussions sur les éléments en argile de la pierre et conduire à la cristallisation des sels ;

- b. Les causes chimiques et l'influence des facteurs biologiques et de la pollution atmosphérique peuvent entraîner l'altération des éléments de la pierre ;
- c. Les causes mécaniques (charge et pressions), qui forcent la solidité des éléments en pierre.

### **II.5. Structures en bois**

Les principaux dégâts constatés sur certaines parties de la structure en bois sont la pourriture, les fissures et la perte de solidité. Ils sont dus aux variations de température et d'humidité, à des causes biologiques et à des problèmes structurels. En outre, les insectes, les champignons ainsi que d'autres processus biologiques peuvent causer des dégâts et provoquer la dégradation des parties en bois, dont la pourriture se produit généralement dans les parties affectées par l'eau et en particulier celles qui sont encastrées dans le mur.

Les causes biologiques de la détérioration du bois sont néfastes. En effet, certains champignons et insectes qui se développent dans le bois peuvent, dans certaines conditions d'humidité (supérieure à 20 %) et de température (20 à 30 °C), faire pourrir le bois. Les fissures longitudinales existant dans les parties en bois réduisent sa solidité et fournissent des espaces pour les nids des insectes. Les problèmes survenant dans les structures en bois peuvent également provenir de la contraction physique du bois lorsqu'il sèche et de la perte non uniforme d'humidité. L'utilisation de parties en bois n'ayant pas séché correctement et sous contrôle ou provenant d'arbres coupés à des périodes inappropriées –avec pour conséquence la conservation des sucres (liquides) dans le bois– peut avoir des répercussions désastreuses.

La plupart des parties en bois ne présentent pas de forme permanente, même si elles ont été coupées plusieurs années auparavant. En effet, le changement des conditions d'humidité et de température entraîne l'expansion ou la contraction du bois, qui peut se courber, voire se déformer en cas de charge permanente.

### **II .6.Conclusion**

Les désordres existants dans le gros œuvre se manifestent généralement par des fissures, des déformations et flèches excessives, des traces d'écrasement ou de cisaillement, de flambement ou de gonflement. Ils peuvent être causés par l'insuffisance de résistance des matériaux, relativement aux charges appliquées, l'insuffisance des dimensions des pièces métalliques ou des armatures, leur mauvaise disposition. Mais ils peuvent être dus à des surcharges excessives, des vibrations ou des changements des sens répétés des efforts, des tassements différentiels, l'attaque des matériaux par l'humidité et les agents extérieurs.

# CHAPITRE III

LA REMISE EN ETAT

&

LE RENFORCEMENT DES STRUCTURES

### III.1. Introduction :

Des travaux de remise en état ou de renforcement des structures porteuses sont quelquefois, nécessaires, soit pour remédier à la vétusté des constructions ou à leur dégradation, soit pour prévenir, ou réparer, les méfaits de travaux effectués au voisinage immédiat des immeubles, soit encore pour permettre certaines transformations : surélévation d'immeuble, création d'ascenseurs, augmentation des surcharges des planchers...etc.

### III.2 Réparation des structures en béton :

#### III.2.1 Préparation de la surface du béton à réparer:

Après le passage obligé du diagnostic, la réparation proprement dite peut être abordée et le processus comporte plusieurs phases qui ont chacune une finalité bien précise.

Il convient tout d'abord de distinguer les réparations qui visent des éléments de structure dont la dégradation nuit à la résistance et pourrait mettre en cause la stabilité, des réparations qui visent des éléments de façade, dont la dégradation n'est susceptible de compromettre la stabilité que très rarement mais la conservation d'aspect est souvent primordiale.

Dans le premier type, auquel se rattache nombre de réparations concernant des ouvrages de génie civil, il s'agit non seulement de rétablir la protection des éléments de la structure, mais aussi de rétablir, voire renforcer, la résistance de cette dernière.

#### Première phase : Elimination du béton dégradé

Il s'agit d'éliminer les éclats de béton en cours de formation.

L'opération consiste à repérer à l'oreille, en frappant la surface du béton, les zones qui «sonnent creux » et donc qui sont affectées d'une fissure interne engendrée par la poussée des armatures oxydées (Tableau III.1) [SID 69].

Le principal écueil à éviter est la création d'une micro fissuration parasite dont le nettoyage de surface ultérieur n'assure pas avec certitude l'élimination des micro - éclats.

Il est conseillé de dégager sur toute leur périphérie les parties défectueuses pour faciliter la tenue du mortier de réparation, de ménager une contre - dépouille à la périphérie des trous obtenus par élimination des éclats de béton, ce qui permet d'éviter aussi les bords «en sifflet » qui favorisent le «grillage » de périphérie du mortier de réparation [BLA 93].

#### Deuxième phase : Nettoyage des surfaces

Cette deuxième phase est nécessaire pour faire disparaître toute poussière ou souillure afin d'assurer une bonne adhérence au support du produit de couverture ou du primaire d'accrochage. Plusieurs méthodes de nettoyage sont utilisées, mais il faut d'abord s'assurer de la compatibilité entre la méthode de nettoyage prévue et la composition du produit de

couverture. On distingue les méthodes à sec ( brossage, aspiration, soufflage à l'air sec déshuilé ) et les méthodes humides.

#### **Troisième phase: Traitement ou remplacement des armatures existantes:**

Les armatures existantes devant être intégrées au béton neuf doivent être débarrassées de toute trace de corrosion, huiles , saleté , et de tous corps étrangers. A cet effet, on procède par grattage par frottement à la brosse métallique manuelle ou mécanique ou par projection ( sablage ou grenailage ).

Si l'on doit ajouter de nouvelles barres d'armature, il faut se rappeler que les barres d'origine, si elles ne sont pas rompues, continuent à supporter des efforts. En outre, si au cours de la réparation les charges sur l'ouvrage n'ont pas été diminuées, les nouvelles armatures ajoutées à l'ouvrage seront soumises à des contraintes plus faibles que les armatures existantes. Pour que les nouvelles armatures prennent en compte une partie de la charge, il faut que les contraintes dans le béton augmentent. La répartition des contraintes qui en résulte doit être étudiée.

#### **Quatrième phase : Reconstitution de la couverture des surfaces réparées**

Il s'agit de combler les vides laissés autour des surfaces voisines par la purge du béton dégradé, au moyen d'un remplissage adhérent présentant, vis-à-vis des futurs agents de détérioration, une résistance meilleure que celle du béton qu'il remplace. Le tout afin d'éviter une réapparition rapide des mêmes désordres aux même endroits.

Le plus souvent cette fonction est assurée non pas par un béton, mais par un mortier. Soit un mortier ordinaire de ciment, soit un mortier à base de liants hydrauliques.

#### **Cinquième phase : Mise en place d'un revêtement de protection superficiel**

Dans le cas d'une intervention localisée, des raisons d'esthétique imposent pratiquement la mise en place d'un revêtement d'aspect pour uniformiser l'apparence de l'ouvrage. Il est donc souhaitable de profiter de la nécessité de ce revêtement pour lui conférer des propriétés autres que celle du simple aspect et notamment une protection du support vis-à-vis des échanges gazeux ( carbonations ) et hydriques et de souplesse vis-à-vis d'éventuelles amorces de fissuration [CRE 94], [CRE 97].

| <b>Méthodes et matériels d'élimination du béton dégradé</b>  |  |   |
|--|--|---|
| <i>Méthodes – Matériels</i>  | <i>Efficacité</i>  | <i>Inconvénients</i>  |
| <p><b>Elimination en épaisseur :</b><br/> <b>Burinage</b><br/> Outils manuels pneumatiques ou électriques légers.<br/> <b>Repiquage</b><br/> Marteau léger pneumatique à aiguilles multiples.<br/> <b>Bouchardage</b><br/> Outils manuels, pneumatiques ou électriques légers à pointes de diamant.</p>  | <p>Bon dégagement des bétons fissurés, brûlés et pollués dans l'encombrement des armatures.</p> <p>Préparation efficace des bétons et surtout des armatures corrodées.</p> <p>Bonne réparation de surfaces de faible importance.</p>   | <p>Création de microfissurations locales dans le cas d'abattage sans précaution.</p> <p>Création de microfissurations dans les granulats du béton ou provoquant leur décollement.</p> <p>Microfissuration importante.</p>   |
| <p><b>Elimination de surface :</b><br/> <b>Sablage à sec</b><br/> Sableuse pneumatique et compresseur.</p> <p><b>Sablage humide</b><br/> Sableuse pneumatique et compresseur.</p> <p><b>Lavage</b> à l'eau à très haute pression<br/> Pompe électrique HP.</p> <p><b>Rabotage mécanique</b><br/> Rabot électrique à molettes ou outils multiples.</p> <p><b>Décapage thermique</b><br/> Lance à becs multiples oxy-acétyléniques.</p> <p><b>Ponçage</b><br/> Ponceuse légère électrorotative</p> | <p>Avec sables synthétiques agréés. Bonne préparation des bétons et armatures avec utilisation de liants de synthèse.</p> <p>Avec de la silice pure, bonne préparation des reprises avec liant hydraulique.<br/> Bon enlèvement des granulats dessertis et des liants dégradés.</p> <p>Préparation des surfaces planes horizontales, non armées, fissurées et polluées.</p> <p>Préparation des surfaces planes de béton non armé très efficace en cas de pollution chimique.</p> <p>Préparation des surfaces planes de faible importance sans fissure ni armature.</p> | <p>Nuages de poussières.<br/> Nécessité d'un personnel qualifié, équipé de protection individuelle agréée, risque pour ce personnel.<br/> Risque important de pollution des parties voisines, prévoir une protection efficace.<br/> Risque pour le personnel, à réserver aux prises avec liant adhérent sur surface humide.<br/> Création d'amorces de fissuration, prévoir un produit de collage ou un primaire d'accrochage.<br/> Création de fissures dans les granulats du béton, prévoir un nettoyage final énergétique.</p> <p>Pas de reprise performante, risque de polissage de la surface.</p> |
| <p><b>Décapage chimique</b><br/> Par acide dilué ou par solvant</p>  | <p>A réserver aux cas particuliers :<br/> Elimination de film synthétique ou de laitance de béton non armé.</p>  | <p>Risque important de pollution des parties voisines, prévoir une protection efficace.</p>   |

**Tableau III.1:** Méthodes et matériels d'élimination du béton dégradé [BLA 93] .

### III.2.2. Techniques de réparation:

Pour réparer un ouvrage en béton, on peut procéder soit par simple ragréage, lorsqu'il ne s'agit que de réparer des épaufrures (ou éclats superficiels de faible importance), soit en faisant une véritable restructuration, lorsqu'il faut reconstituer un volume de béton, souvent armé, qui participe à la résistance de l'ouvrage [MAM 96] , [COL 98]. Deux techniques peuvent être envisagées [LAV 94] , [GEO 96] , [COL 98]:

#### ➤ Utilisation de résines synthétiques :

Les résines synthétiques sont souvent employées pour arrêter la corrosion, protéger les aciers et reconstituer le béton. Les plus utilisées et les plus stables sont les résines époxydes, livrées généralement sous forme de deux composants séparés (base + durcisseur). Elles sont utilisées :

- Dans le cas de ragréage, pour réaliser le mortier de ragréage ;
- Dans le cas de restructuration, pour constituer la couche d'accrochage du béton de restructuration, celui-ci pouvant alors être obtenu à partir d'un liant hydraulique.

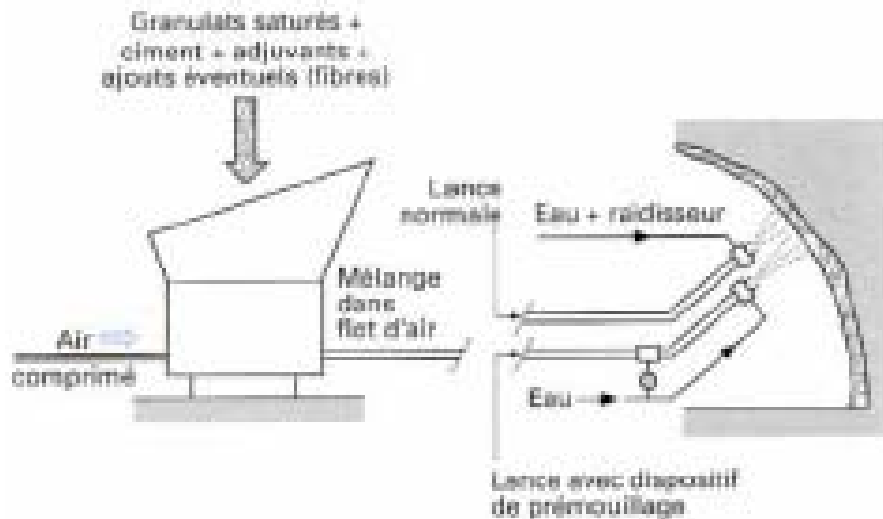
#### ➤ Utilisation de béton projeté :

Lorsque la surface dégradée est importante, on peut employer la technique du béton projeté (par exemple, pour réparer un bâtiment après un incendie).

Cette technique consiste à projeter du béton convenablement dosé sur un support préalablement sablé. Sous l'effet de sa vitesse de projection et des accélérateurs de prise, ou raidisseurs, qui y sont inclus, le béton s'accroche très solidement sur le support et forme avec lui une structure homogène.

La technique du béton projeté est compétitive dès lors que la surface de béton à traiter est suffisamment importante, ce qui permettra d'amortir le coût de la mise en œuvre du matériel.

Son application nécessite de disposer d'une distance de recul de 1m par rapport à la surface à traiter pour pouvoir intervenir soit horizontalement, soit verticalement, et d'une emprise de 100 mètres carrés environ, dans un rayon de moins de 700 mètres du lieu d'intervention, afin d'y installer le compresseur, et y stocker et mélanger les matériaux à projeter. La mise en œuvre est souvent réalisée par voie sèche, ce qui permet une bonne adhérence de la couche rapportée sur le support (Figure III.1).



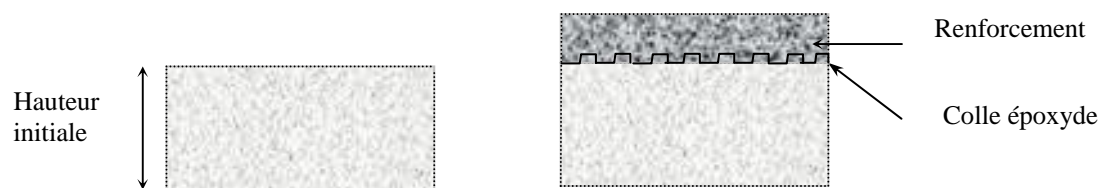
**Figure III.1:** Projection du béton par voie sèche.

Le renforcement d'un élément de structure en béton armé peut être envisagé soit pour remédier aux effets d'un accident (affaissement par exemple), soit pour permettre une modification d'affectation d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage (augmentation des surcharges de service, installation d'une machinerie, ...).

Deux techniques peuvent être envisagées [COL 81], [COL 98] :

➤ **L'augmentation de la hauteur utile de la section :**

Cette augmentation s'obtient par collage, avec une résine époxyde, d'une sur - épaisseur (Figure III.2).



**Figure III.2:** Augmentation de la hauteur utile de la section du béton.



➤ **Collage de tôles faisant office d'armatures extérieures :**

Cette technique est utilisée en cas de fortes augmentations des surcharges de service.

Il faut d'abord débarrasser le béton de la laitance par sablage. Les armatures sont constituées par des plaques de tôle de 3mm d'épaisseur, sablées et protégées d'un époxyde primaire. Après encollage, les plaques sont pressées sur le support. Les plaques doivent ensuite être protégées contre la corrosion et contre l'incendie (Figure III. 3).

Cette technique, délicate, ne doit être mise en œuvre que par une entreprise spécialisée.



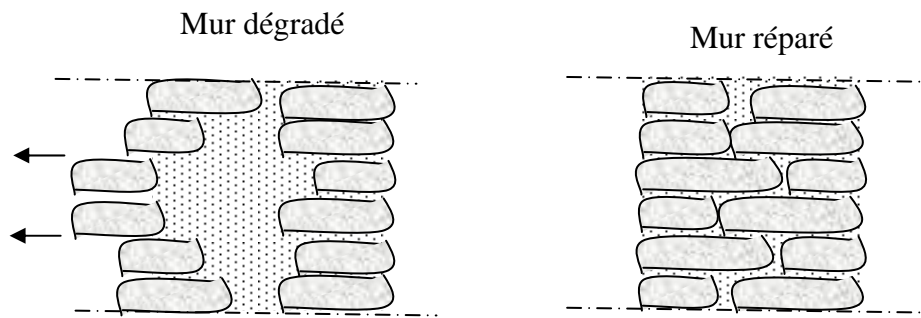
**Figure III.3 :** Principe du collage des tôles.

**III.3. Réparation des structures en maçonnerie et en pierre :**

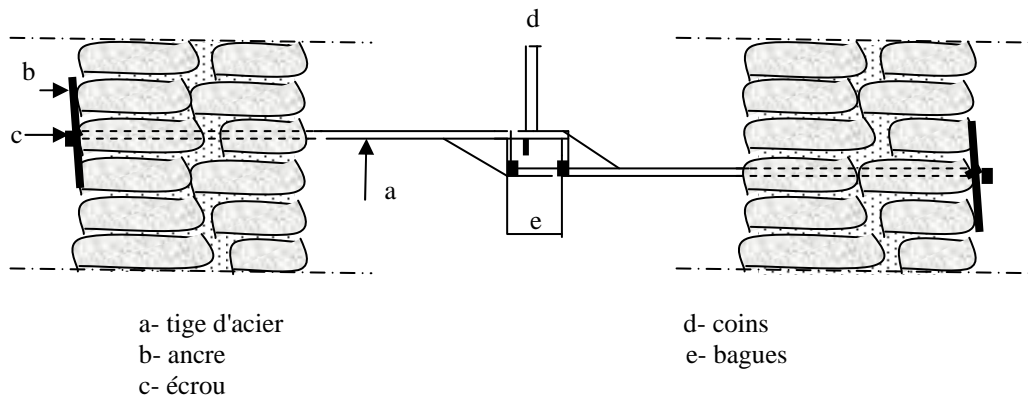
Ce problème se pose pour les structures en pierre ayant subi des agressions chimiques (pollutions atmosphériques, ...) ou mécaniques (usure, chocs accidentels,...) [BRU 04]. Ces agressions peuvent avoir atteint le mortier de liaison entre les pierres ou les pierres de parement elles-mêmes.

Si le mur construit en moellons n'est pas harpé ou mal harpé et perd de sa stabilité et de son aplomb, il existe deux possibilités de le stabiliser [JAS 97] :

- Soit en démontant la partie abîmée et en la remontant correctement en prenant soin de remplacer une partie des pierres trop courtes par les pierres plus longues assurant la liaison entre deux parements ( Figure III. 4 ) ;
- Soit à l'aide de courts tirants, le tirant étant composé de deux tiges en acier raccordées entre elles à l'aide de boucles forgées. Ils comportent à l'extrémité des clés ou ancrés et des écrous ; le rôle des clés étant d'assurer la meilleure répartition des efforts de traction sur les murs de façade (Figure III.5 ).



**Figure III.4 :** Réfection d'un mur mal harpé.



**Figure III.5 :** Principe d'un tirant.

Lorsque la désagrégation du mortier n'est que superficielle, il suffit de rejointoyer la maçonnerie.

Le rejointoiement consiste à dégarnir les joints dégradés sur une profondeur permettant de retrouver le mortier sain, puis à les regarnir avec du mortier hydraulique [OUZ 03].

Il est également possible de procéder au rejointoiement en utilisant la technique du béton projeté. Exécutée dans de bonnes conditions, l'opération permet alors d'atteindre une durabilité d'ouvrage supérieure à celle d'un rejointoiement traditionnel.

➤ Béton projeté:

Lorsque l'attaque du mortier est plus profonde et met en péril la cohésion de la maçonnerie, on peut procéder à des injections à base de résines dans la masse de l'ouvrage pour boucher

les vides entre les pierres. Cette technique est toutefois délicate, car il faut pouvoir contrôler la répartition de la résine à l'intérieur du mur et ne pas entraîner de cloquage [COL 98].

Pour la réparation des pierres de parement, trois techniques peuvent être envisagées:

- ❖ Le remplacement des pierres dégradées: L'opération nécessite de trouver des pierres de substitution. Cette technique est néanmoins préférable, lorsque la partie d'ouvrage à traiter est très dégradée et que la réparation envisagée participe à la consolidation de l'ouvrage [MAM 83].
- ❖ Le remplacement partiel des pierres abîmées: La technique consiste à retirer, en surface et sur l'épaisseur nécessaire, la partie atteinte de la pierre et à la remplacer par une plaquette de pierre, d'aspect similaire, scellée au mortier.
- ❖ Le ragréage: Cette technique consiste à faire disparaître, au moyen d'un mortier imitant la pierre, les blessures superficielles de la maçonnerie [COL 98].

#### **III.4. Réparation des fissures des structures en béton et en pierre**

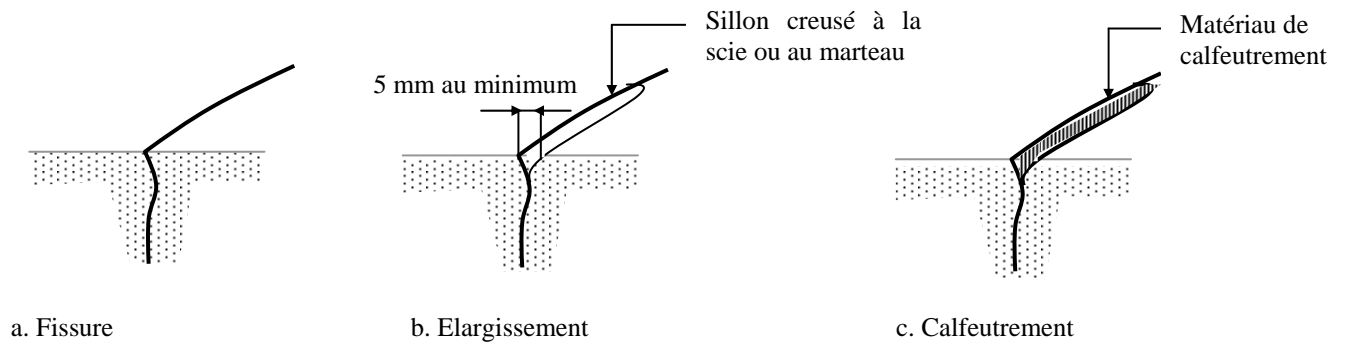
Il existe plusieurs techniques de réparation des fissures qui doivent être choisies selon les caractéristiques de chaque fissure et de leur milieu. Dans certain cas, il peut même arriver que l'utilisation de plusieurs techniques deviennent nécessaires. Ces procédés de réparations sont :

##### **\*Pontage et protection localisés:**

Cette technique consiste à recouvrir en surface des fissures, actives ou non, pour assurer l'étanchéité à la structure. Cette intervention permet, si nécessaire, la pose d'un revêtement de finition [CRE 97].

##### **\* Evidage et calfeutrement:**

Cette méthode nécessite l'agrandissement de la fissure dans sa partie visible puis le remplissage et calfeutrement avec un matériau approprié (Figure III. 6). L'évidage peut être évité mais la réparation sera un peu moins durable. En outre la surface du matériau de calfeutrement sera en relief [SID 69], [MAM 96].



**Figure III. 6 :** Elargissement et calfeutrement des fissures.

**\* Injection :**

Les fissures peuvent être calfeutrées par injection sous pression d'un produit susceptible de créer une liaison mécanique et / ou une étanchéité entre les parties disjointes.

La technique habituelle consiste à forer des trous dans les fissures à intervalles réguliers, à injecter de l'eau ou un solvant pour décaper la partie défectueuse, à laisser sécher la surface ( en utilisant un jet d'air chaud si nécessaire ), à obturer les fissures en surface entre les joints d'injection , et à injecter le produit jusqu'à ce qu'elle coule des sections adjacentes à la fissure [SID 69] , [VEN 82].

**\* Traitement généralisé:**

Ce traitement assure une ou plusieurs des fonctions suivantes:

- esthétique
- imperméabilisation
- étanchéité

Il est intéressant, pour traiter d'une façon complète ces quatre procédés de réparation, d'utiliser des produits et de se référer aux fascicules de STRRES (Syndicat National des Entrepreneurs de Travaux de Réparation et de Renforcement des Structures, France) [MAM 96]. Le Tableau III.2 montre le choix des techniques et des produits de réparation des fissures en fonction de leur ouverture, de leur activité, de la présence ou non d'eau [OUZ 11]. .

**Tableau III.2.** Choix des techniques de traitement des fissures en fonction de leur ouverture, de leur activité, de la présence ou non d'eau.

|   | Milieu ambiant    | Activité | Techniques de traitement                     | Produits utilisables                               | Fonctions recherchées   | Observations   |
|---|-------------------|----------|--|--|---|--|
| Ouverture des fissures < 0,5 mm                   | Sec               | Passive  | Revêtements                                  | LHM, PUR, EP                                       | Fermeture en surface.   | Produits à consistance pâteuse.  |
|   |                   |          | Injection                                    | PUR, EP  | Comblent un vide.   | Résine très fluide et durée pratique d'utilisation lente. Ces résines étant très diluées, elles présentent une faible résistance.                                  |
|   |                   | Active   | Revêtements souples                          | LHM, PUR   | Couvrir la fissure  | Produit souple à consistance pâteuse avec une épaisseur en adéquation avec le souffle.   |
|   |                   |          | Pontages de surface                          | EP, PUR  | Obturation locale de la surface.  | Produit souple armé avec une rupture. d'adhérence sur les bords de la fissure.   |
|   | Humide Ruisselant | Passive  | Injection de blocage + revêtement            | Gel de silice, hydrogel acrylique /PMMA, gel mixte | Arrêt de venue d'eau + fermeture en surface pérenne.                        | Produit réactif de blocage à condition que l'adhérence soit supérieure à la sous-pression ; le revêtement doit être humide compatible avec le produit d'injection. |
|   |                   | Active   | Injection de blocage + revêtement hydrogel   | Acrylique /PMMA, PUR                               | Arrêt de venue d'eau + fermeture en surface et résistance aux déformations. | La capacité à la déformation doit être compatible avec le souffle et le revêtement doit être compatible avec le produit d'injection.                               |
| Ouverture des fissures comprise entre 0,5 et 3 mm | Sec               | Passive  | Injection                                    | EP, ciments surbroyés                              | Remplir et assurer une continuité.  | Avant d'injecter avec des coulis de ciment, la fissure doit être injectée à l'eau pour éviter son colmatage immédiat.  |
|   |                   | Active   | Calfeutrement en engravure                   | Mastic PUR, silicone ou acrylique...               | Etancher, isoler.   | Réalisation d'une engravure (saignée) est difficile si les fissures sont sinueuses.  |
|   |                   |          | Pontage de surface                           | PUR, EP  | Obturation locale de surface.   | En fonction du souffle, une rupture d'adhérence sur les bords de la fissure peut être nécessaire.  |
|   | Humide Ruisselant | Passive  | Injection                                    | Gel PUR, acrylique, PMMA, gel mixte, mousse PUR    | Blocage d'une venue d'eau en profondeur et remplissage de continuité.       | Les gels mixtes ciment ou synthétique assurent la pérennité après assèchement.   |
|   |                   | Active   | Injection de blocage + revêtement ou pontage | Hydrogel acrylique, PMMA, PUR, mousse flexible PUR | Arrêt de venue d'eau+ fermeture en surface et résistance aux déformations.  | La capacité à la déformation doit être compatible avec le souffle le revêtement doit être compatible avec le produit d'injection.                                  |

Tableau III.2. Suite

|  | Milieu ambiant    | Activité                                     | Techniques de traitement                               | Produits utilisables   | Fonctions recherchées  | Observations  |
|--|-------------------|--|--|--|--|---|
| Ouverture des fissures comprise entre 3 et 10 mm | Sec               | Passive                                      | Injection  | EP, PUR, ciments surbroyés   | Remplir, assurer une continuité.   | Avant d'injecter avec des coulis de ciment, la fissure doit être injectée à l'eau pour éviter son colmatage immédiat. |
|  |                   | Active                                       | Calfeutrement en engravure la                          | Mastic PUR, silicone ou acrylique...   | Etancher, isoler.  | Réalisation d'une engravure (saignée) est difficile si les fissures sont sinueuses.                                   |
|  |                   |  | Pontage de surface                                     | PUR armé, membranes collées  | Obturation locale de surface.  | Les dimensions de la rupture d'adhérence sont à adapter au souffle.   |
|  | Humide Ruisselant | Passive                                      | Injection  | Mousse rigide PUR, gel mixte, hydrogel ciment...                                     | Blocage d'une venue d'eau en profondeur et remplissage de continuité.  | Les gels mixtes ciment ou synthétique assurent la pérennité après assèchement.  |
| Active   |                   | Injection de blocage + revêtement ou pontage | Mousse flexible PUR, gel mixte souple, hydrogel souple | Arrêt de venue d'eau + fermeture en surface et résistance aux déformations.          | La capacité à la déformation doit être compatible avec le souffle et le revêtement doit être compatible avec le produit d'injection. |   |
| Ouverture des fissures > 10 mm                   | Sec               | Passive                                      | Injection  | Ciments normaux et surbroyés   | Remplir, assurer une continuité avant d'injecter.  | Avec des coulis de ciment, la fissure doit être injectée à l'eau.   |
|  |                   | Active                                       | Mise en place d'un joint de dilatation                 |  | Ne contrarie pas les mouvements.   | Nécessité d'une étude de la structure pour le choix du joint.   |
|  | Humide Ruisselant | Passive                                      | Injection  | Mousse rigide PUR, gel mixte, coulis ciments normaux                                 | Blocage d'une venue d'eau en profondeur et remplissage de continuité.  | Les gels mixtes ciment ou synthétique assurent la pérennité après assèchement.  |
|  |                   | Active                                       | Injection de blocage + revêtement ou pontage           | Hydrogel acrylique /PMMA, combinaison gel + Joint + PUR ou hydrogonflants en surface | Arrêt de venue d'eau + fermeture en surface et résistance aux déformations.  | La capacité à la déformation doit être compatible avec le souffle.  |

**EP** : résines époxydes ; **Gel de silice** : tous les dérivés de l'acide silicique et des silicates ;

**Gel mixte** : gel obtenu par combinaison de plusieurs produits de réactions indépendantes ;

**Hydrogel** : gel en solution aqueuse ; **LHM** : liant hydraulique modifié par un polymère ;

**PMMA** : résines polyméthacrylate de méthyle ; **PUR** : résines polyuréthanes.

### III.5. Prescriptions particulières de réparation des fissures supérieures à 10 mm pour les murs en maçonnerie:

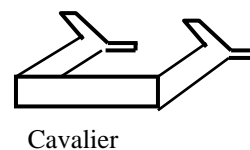
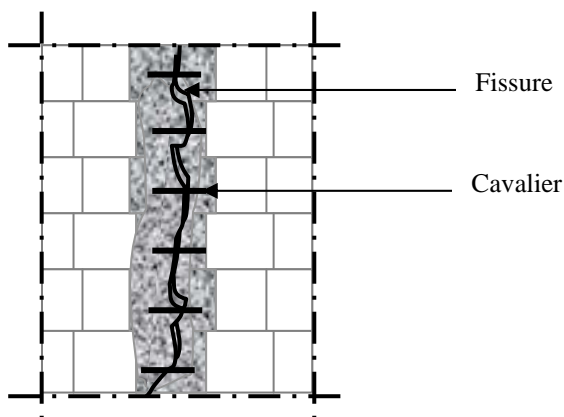
Dépendant de l'épaisseur des ouvertures des fissures, différentes méthodes de réparation peuvent être utilisées. Ces méthodes peuvent aller de la simple injection au remplacement de tout le mur en passant par celle qui consiste à remplacer les briques ou les moellons le long de la fissure. Si la largeur des fissures dépasse 10 mm et si les briques ou les moellons sont endommagés le long de cette fissure, l'injection seule n'est plus efficace :

#### ➤ Pour les fissures verticales :

##### ❖ Agrafage du mur :

On peut restituer à une section fissurée sa résistance à la traction en posant des cavaliers, un peut à la manière dont on coud du tissu [SID 69],[BER 10].

Cette opération consiste à dégager les briques ou les moellons sur une largeur de 15 à 20 cm de part et d'autre de la fissure et de les remplacer soit par d'autres en utilisant un mortier très riche en ciment, soit par du béton avec des fers ronds ou avec des fers plats en forme de U ( Figure III. 7 ) [CGS2 92].



Le mur est dégarni sur environ la moitié de son épaisseur; le vide ainsi créé est rempli de béton ou avec de la nouvelle maçonnerie avec un mortier riche en ciment; les cavaliers sont aussi utilisés en travers de la fissure.

**Figure III.7:** Réparation de fissure verticale à l'aide des cavaliers.

##### ❖ Gainage :

Le procédé consiste à réparer les murs fissurés en utilisant des gaines en béton armé qui permettent d'augmenter la rigidité du système de contreventement de l'ouvrage.

Il est préférable de gainer le mur sur les deux faces avec des liaisons ; un treillis soudé est placé de part et d'autre de la fissure, maintenu par des étriers (tout en exécutant un perçage au niveau des murs afin de placer les étriers) (Figure III.8).

Le béton de la gaine est mis en œuvre par projection. L'épaisseur de la gaine est de 3 à 4 cm pour la maçonnerie en briques simples et de 8 cm ou plus pour la maçonnerie lourde [CGS2 92].

Pour les ouvrages relativement petits, il n'est pas nécessaire de gainer le mur sur toute sa surface. Il suffit de gainer certaines parties choisies minutieusement.

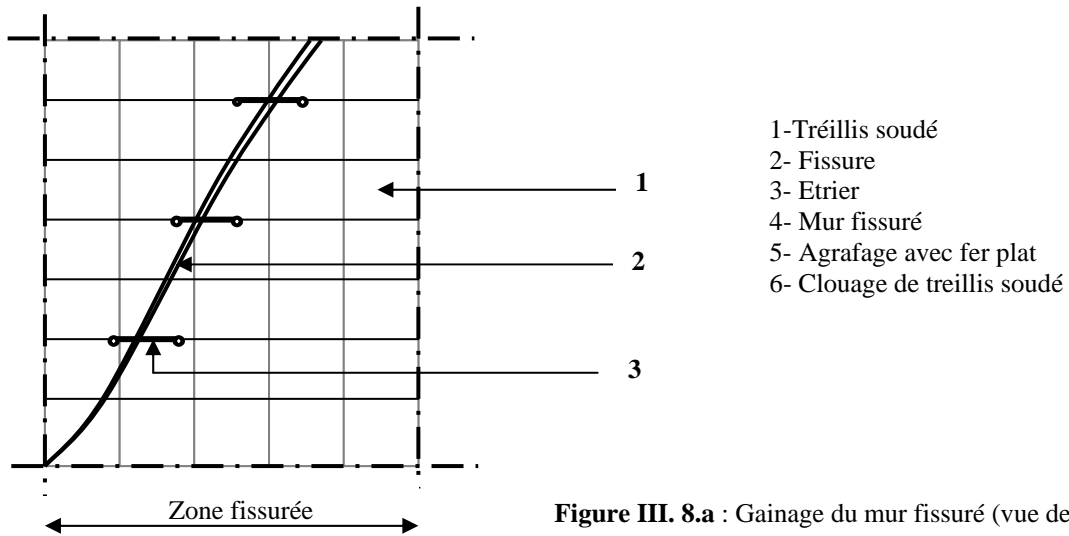


Figure III. 8.a : Gainage du mur fissuré (vue de face).

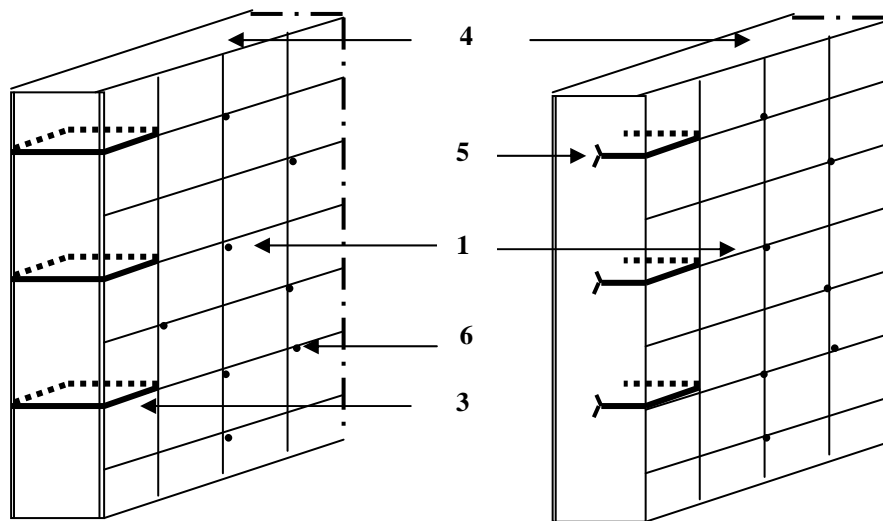


Figure III.8.b:  
Gainage du mur fissuré sur les deux faces.

Figure III.8.c:  
Gainage du mur fissuré sur une face.

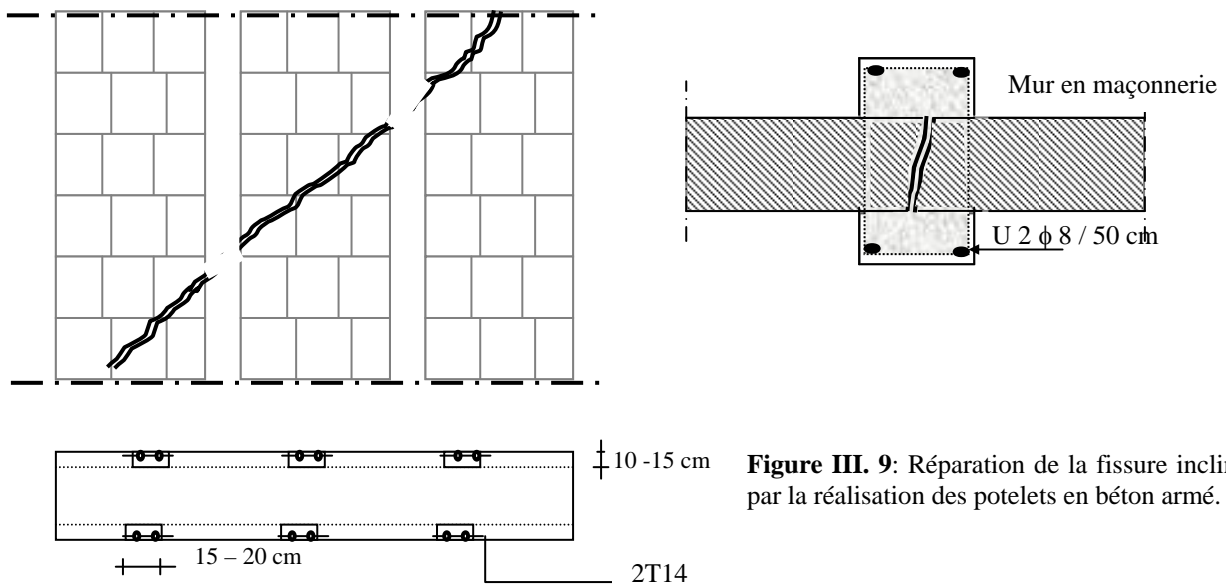
Figure III.8 : Réparation de fissure verticale par gainage.



➤ **Pour les fissures inclinées :**

Dans le cas des fissures inclinées, l'injection seule n'est pas suffisante et il faudrait procéder à la réalisation de potelets en béton armé en plusieurs endroits pour rigidifier le mur.

Pour cela il faut dégager des briques ou les moellons sur une largeur de 15 à 20 cm le long d'un tracé vertical, sur une profondeur de 10 à 15 cm. La cheminée ainsi créée est remplie de béton armé. Si la réalisation des potelets est difficile ou impossible, il est possible de réaliser des chaînages apparents de part et d'autre du mur (Figure III.9) [CGS2 92].



**Figure III. 9:** Réparation de la fissure inclinée par la réalisation des potelets en béton armé.

➤ **Pour les fissures à l'intersection des murs :**

Comme les murs en maçonnerie sont mal liaisonnés, il résulte de larges fissures verticales ou des séparations totales qui éliminent les effets d'interaction. En prenant en considération la faiblesse des constructions en maçonnerie, les procédures de réparation doivent être combinées avec celles de rigidification des intersections:

- Le premier procédé de rigidification des intersections consiste à réaliser des liaisons avec des fers plats, la fissure est ensuite réparée en utilisant un treillis soudé, sur chaque face, scellé aux deux murs et recouvert d'un enduit de ciment [BER 10] ( Figure III.10).
- Le deuxième procédé consiste à placer des briques- liaison ou des moellons -liaison communes aux deux murs tous les 70 cm environ avec un mortier très riche en ciment. La fissure est colmatée avec un mortier en ciment (Figure III.11).
- Le troisième procédé consiste à renforcer les murs au niveau des intersections par la réalisation de chaînages en béton armé (Figure III.12).

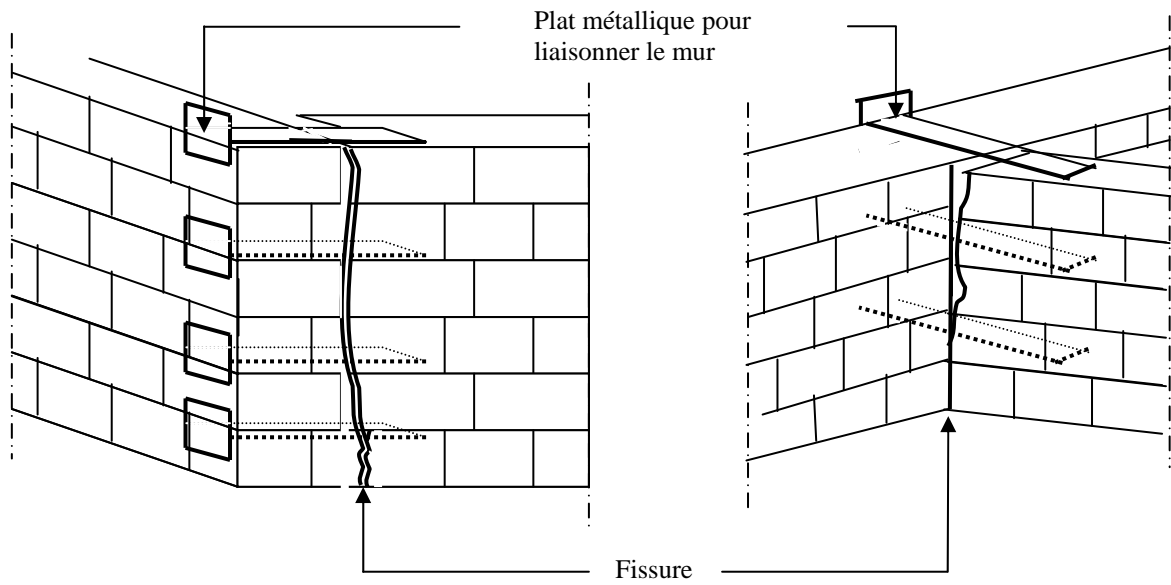


Figure III. 10: Réparation des fissures à l'intersection des murs par l'utilisation des fers plats.

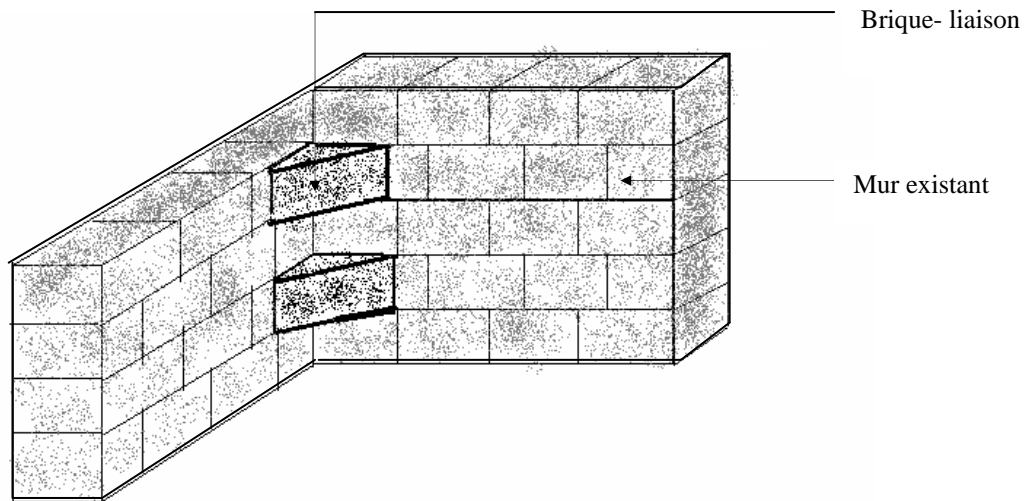
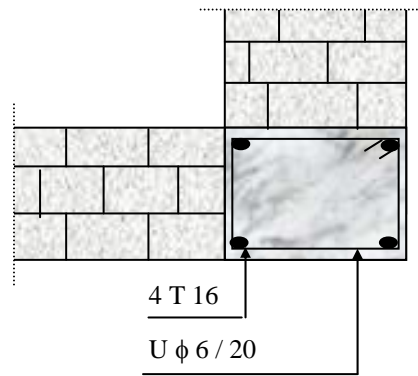


Figure III.11 : Rigidification des intersections des murs par l'utilisation des briques.



**Figure III.12 :** Réalisation de chaînage en béton armé au niveau de l'intersection des murs.

### III.6. Réparation des structures en charpente métallique:

#### III. 6.1. Assurer la propreté de l'ouvrage :

La corrosion sera fortement accélérée si on laisse s'accumuler les saletés sur l'élément considéré. Il est nécessaire de balayer, de nettoyer les surfaces à l'air comprimé ou par aspiration ; aux endroits accessibles, il faut le faire souvent et aux endroits moins accessibles, à l'intervalle régulier [SID 69] .

#### III.6.2. La peinture :

La peinture est le monde universel de protection de l'acier contre la corrosion.

Il convient d'abord de nettoyer la surface et de la protéger des particules pouvant s'y déposer. La longévité du revêtement dépend de la préparation de la surface, la durée de la protection étant d'autant plus longue que le nettoyage a été plus soigné.

Après le nettoyage il faut :

- appliquer la première couche de peinture avant que la surface puisse être salie à nouveau;
- vérifier après chaque couche de peinture qu'il ne reste pas de vides, de manques et de cloques qu'il conviendrait de retourner (Les couches successives doivent avoir des couleurs différentes pour faciliter les vérifications);
- vérifier l'épaisseur des différentes couches;
- s'assurer que la surface est en parfait état avant d'effectuer le paiement des travaux.

#### III.6.3. Le zingage :

Ce revêtement est utilisé pour obtenir une protection plus durable que celle fournie par les procédés classiques de peinture.

Dans les climats humides ou tropicaux la couche de zinc est elle-même protégée par une bonne peinture. Toutes les opérations de fabrication, en particulier les pliages, le brûlage ou

les soudures doivent être effectuées avant le zingage, car ces opérations brûlent ou écaillent le zinc protecteur [SID 69].

#### **III.6.4. Gainage:**

On peut assurer une protection permanente en gainant l'élément tout entier avec du béton ou de la matière plastique ou en l'entourant d'un manteau de métaux non ferreux.

##### **\*Béton:**

Un gainage de béton est le plus souvent utilisé pour protéger les installations portuaires soumises aux marées et situées au-dessous du niveau de la mer, les conduites enterrées, pour revêtir les canalisations, l'intérieur des colonnes tubulaires, les parties des ouvrages qui ne seront plus accessibles après la fin des travaux, et les ouvrages exposés à une atmosphère particulièrement corrosive.

Un gainage de béton n'est pas un simple remplissage. Il faut utiliser un béton de bonne qualité de 250 bars de résistance à la compression et insister sur une bonne exécution parfaitement soignée [SID 69].

##### **\* Revêtement bitumineux armé :**

Ces revêtements forment une excellente protection contre la corrosion et sont couramment employés pour gainer les éléments enterrés dans les sols fortement corrosifs.

Les revêtements bitumineux armés sont surtout utilisés pour protéger les canalisations, les tirants et assemblages qui servent à ancrer les ouvrages de soutènement.

Le travail consiste à revêtir la surface métallique à protéger d'une couche d'impression de goudron, à la vernisser et à recouvrir le tout d'une ou plusieurs enveloppes spiralées de feutre ou d'autre matériau approprié, saturé d'un mélange imperméable à base de bitume [SID 69].

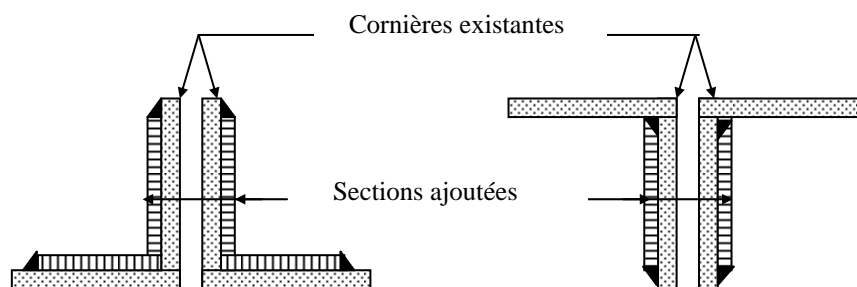
#### **III.6.5. Placage:**

Lorsque l'abrasion et la corrosion sont limitées à quelques éléments ou parties d'éléments d'ouvrage, une manière commode et économique de compenser la diminution de section est d'appliquer du métal neuf sur les pièces détériorées. Pour ce faire, on peut prendre des plaques ou des feuilles de métal roulées, les mettre en place en les faisant déborder de part et d'autre de la partie d'élément dégradé, et les souder sur les parties en bon état ( figures III.13 et III.14 ).

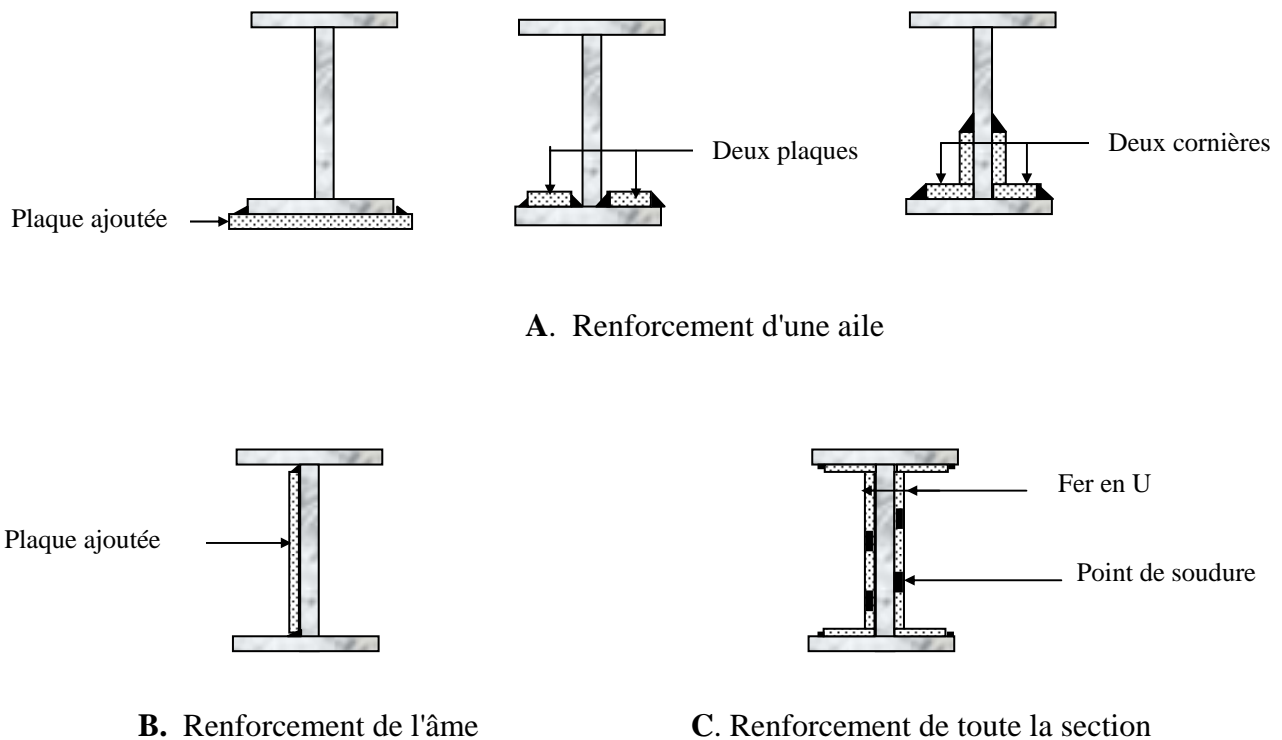
#### **III.6.6. Influence des détails de construction :**

De nombreuses difficultés dues à la dégradation des constructions métalliques peuvent être évitées en apportant une attention particulière aux détails du projet :

- Il faut choisir des formes de sections qui aient le moins de surface exposée possible par exemple, du point de vue de la lutte contre la corrosion, une section en T est préférable aux cornières assemblées, et une poutre en caisson préférable à une section en H.
- Il faut éviter les formes ou les détails où peuvent s'accumuler débris et saletés.
- La base des colonnes doit être protégée par un gainage de béton ou par des socles dépassant du niveau du sol. La surface de béton adjacente doit avoir une pente permettant d'écarter l'eau de la structure métallique.
- Les fentes et les trous dans les surfaces horizontales en acier doivent être soit bouchés de façon qu'ils ne s'engorgent pas, soit suffisamment grands pour assurer un écoulement réel.
- Il faut éviter les dispositions qui conduisent à des fentes étroites que l'on ne peut ni combler ni peindre.
- Des soudures pleines sont préférables aux joints couvrants, d'une part à cause de l'eau qui pénètre entre les plaques et d'autre part parce qu'il est impossible d'enlever tout le décapant des surfaces en contact.
- Les colonnes tubulaires doivent être remplies de béton ou fermées pour être étanche à l'air.
- Les espaces entourant les éléments en acier doivent être soit ventilés, soit obturés.



**Figure III.13:** Exemple de la mise en place de plaques de renfort d'un élément de cornières.



**Figure III.14:** Détails de mise en place de renforts de poutre à larges ailes.

### III.7 Remplacement d'un plancher ancien :

La nécessité de remplacer un plancher ancien trop dégradé ou la réorganisation du volume intérieur d'un bâtiment obligent quelquefois à construire des planchers neufs dans des immeubles existants.

Cette réalisation ressortit des techniques de la construction neuve, mais elle nécessite de prendre en compte certaines contraintes spécifiques :

- Les contraintes liées aux caractéristiques de la structure : de par leur conception d'origine ou du fait des mouvements qui ont eu lieu depuis, les planchers participent souvent, en habitat ancien, au contreventement général de la construction. Ce sont eux qui empêchent l'écartement des murs et à cet effet certaines solives munies d'ancrages jouent le rôle de tirants.

Quand on remplace un plancher, il convient donc d'être attentif aux différentes fonctions que celui-ci remplissait ;

- Les contraintes liées aux difficultés de manutention et de mise en œuvre : l'approvisionnement du chantier ne peut pas être fait par une grue comme c'est le cas en

construction neuve. Il est effectué alors à partir des ouvertures ou des trémies d'escaliers existants. Ces difficultés peuvent amener à choisir des produits plus légers et moins volumineux ;

- Les contraintes liées à l'état des maçonneries, qui ne permettent pas toujours une forte augmentation des charges et l'exécution d'engraves pour supporter les appuis du nouveau plancher.

En fonction de l'importance respective de ces problèmes, plusieurs solutions peuvent être envisagées :

❖ **Planchers en bois neuf :**

Cette solution est la mieux adaptée pour résoudre le problème du remplacement d'un plancher en bois ancien dans le cas d'immeubles à pans de bois ou à murs porteurs de faible épaisseur.

❖ **Planchers en béton :**

Lorsque les structures porteuses verticales sont constituées de maçonneries suffisamment massives et résistantes, on peut couler une dalle en béton qui assurera la fonction porteuse, par-dessus le solivage existant, qu'on conservera à titre décoratif. On obtient ainsi un plancher lourd. La nécessité de créer des engraves pour appuyer la dalle sur les murs rend impossible cette technique dans le cas de maçonneries minces ( murs en briques pleines, par exemple ) ou peu résistantes ( maçonneries en moellons mal jointoyés ) [ANA 79], [COL 98].

❖ **Planchers métalliques :**

Ils sont réalisés à partir de poutrelles métalliques. Un système intéressant utilise des solives métalliques espacés de 1 m. Des pré-dalles en béton, disposées sur les ailes inférieures des profilés, supportent un remplissage en béton léger jusqu'au niveau haut des solives; on coule ensuite une dalle en béton de 5 cm armée d'un treillis [ANA 79] .

Les précautions d'usage seront prises pour l'appui des solives métalliques sur la maçonnerie, en raison de leur espacement.

❖ **Planchers à poutrelles en béton armé ou précontraint :**

Ces planchers ne diffèrent des planchers précédents que par la nature des poutrelles qui les composent. Celles-ci étant plus lourdes que les poutrelles métalliques, leur approvisionnement est donc plus difficile, surtout lorsque leur longueur est relativement importante.

Ces planchers ont néanmoins, par rapport aux planchers en béton, l'avantage de nécessiter moins de matériel sur le chantier.

### **III.8. Lutte contre l'humidité :**

#### **III.8.1. Différents types d'humidité :**

La présence d'humidité dans les ouvrages du bâtiment constitue un phénomène très répandu. La recherche de la cause des désordres constatés ou l'évaluation de l'état de siccité d'un support neuf sur lequel des travaux doivent être effectués (peinture, revêtement de sol ) constitue toujours une opération délicate. Certes l'expérience acquise par un entrepreneur peut lui permettre de reconnaître un support sain ou de préconiser les travaux aptes à supprimer les sources d'humidité, mais ce procédé n'est pas sans risque. Dans la plupart des cas, les causes des désordres sont imbriquées et multiples.

L'humidité dans les murs est toujours nuisible parce qu'elle provoque des dégradations des bâtiments en affaiblissant leur résistance. Elle peut avoir différentes origines :

- Remontées capillaires (ou humidité ascensionnelle),
- Infiltrations d'eau de pluie,
- Humidité de condensation,
- Humidité d'origine accidentelle.

#### **III.8.2. Remèdes possibles:**

##### **III.8.2.1.Procédés contre les remontées capillaires :**

###### **\* Solutions simples :**

- Dans la plupart des cas, il suffit d'améliorer l'entourage immédiat du bâtiment pour évacuer l'eau loin du mur le plus vite possible, en révisant les pentes de terrain avoisinant.
- Les matériaux utilisés dans les parties du mur qui sont au contact du sol, ne doivent pas être poreux ni présenter la caractéristique de retenir l'eau, comme les enduits plâtre par exemple [JAS 97] .
- Les murs doivent respirer et être ventilés. Une bonne ventilation des caves et le remplacement des enduits à la chaux sont à préconiser.

###### **\* Drainage au pied du mur:**

- Dans les cas graves, un système de drainage est nécessaire le long du mur au pied des fondations ou à une faible distance du mur (Figures III.15 et III.16). L'eau recueillie dans les drains doit pouvoir être évacuée sur l'égout ou plus bas, sur un matériau en pente, si la proximité d'autres bâtiments ne l'empêche pas [LOG 81] , [COL 89].



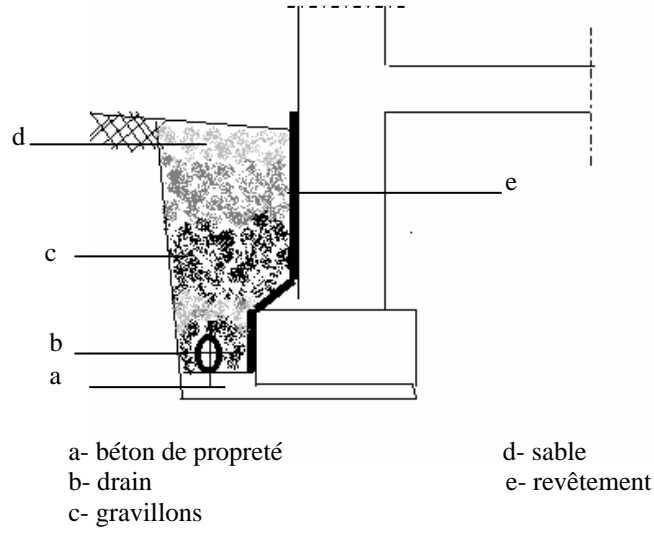


Figure III.15: Drainage au pied du mur.

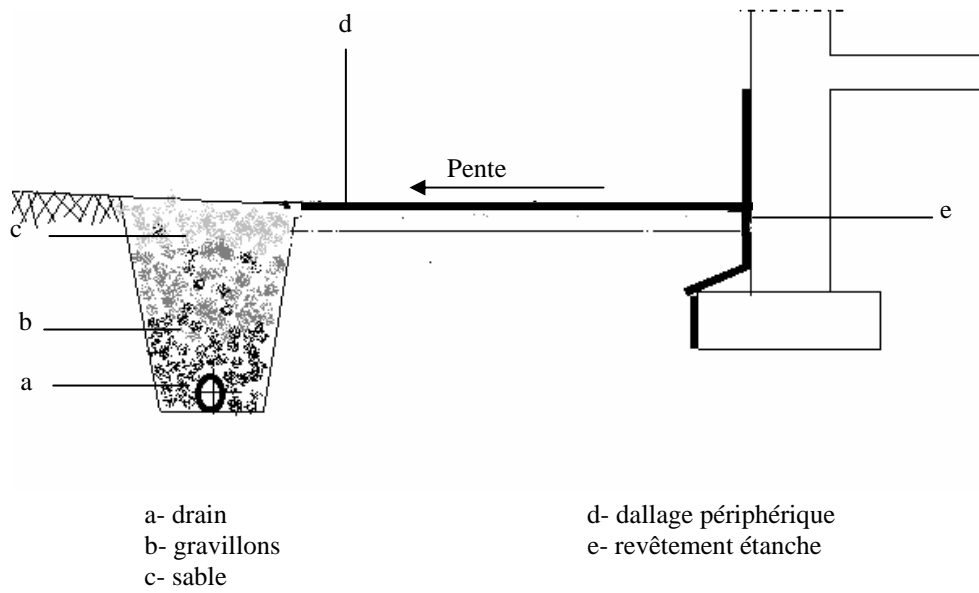


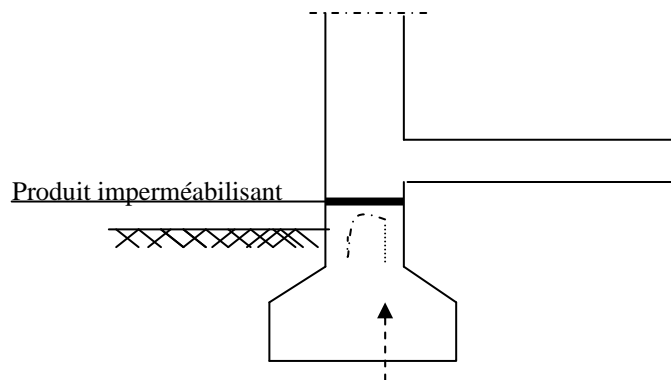
Figure III.16 : Drain éloigné du mur.

**\* Isolation horizontale du mur :**

La mise en place d'une isolation horizontale dans le mur existant est possible, malgré la difficulté de l'opération.

On peut procéder de deux manières différentes [LOG 81], [JAS 97] :

- Soit en sciant le mur et en introduisant dans son épaisseur progressivement des écrans étanches.  
Dans ce cas, on peut utiliser comme écran : une chape bitumineuse armée à armature métallique, une couche de mortier synthétique étanche, une couche de mortier de ciment avec un hydrofuge ou encore une feuille de plomb.
- Soit en injectant dans des trous forés un produit imperméabilisant qui forme en pénétrant une barrière étanche à l'eau.  
L'isolation horizontale empêche de monter dans le mur mais ne facilite pas l'évacuation de l'eau. Cette solution ne sera pas retenue en conséquence dans le cas d'une humidité trop forte au pied des fondations (Figure III.17).



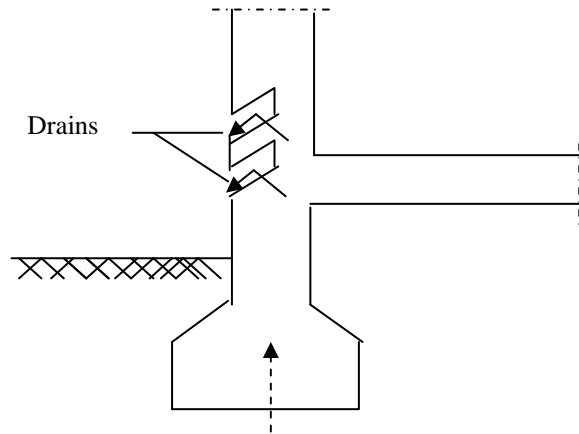
**Figure III. 17:** Isolation horizontale du mur.

**\* Assèchement des murs à l'aide des drains :**

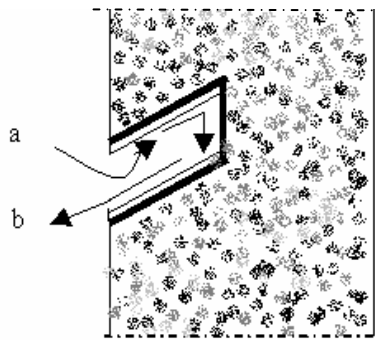
La pose des drains dans le mur est une méthode d'assèchement des murs couramment pratiquée.

Le drainage permet l'évacuation d'excès de l'humidité qui a pu monter dans le mur.

De nombreux forages dans la maçonnerie risquent de l'affaiblir, d'où la nécessité d'une attention toute particulière lors des travaux. Des drains en terre cuite scellés avec un mortier maigre seront préférés aux drains en plastique moins résistants (Figures III.18 et III.19) [COL 89], [COL 98] .



**Figure III.18:** Drainage du mur humide.



a- air sec

b- air humide

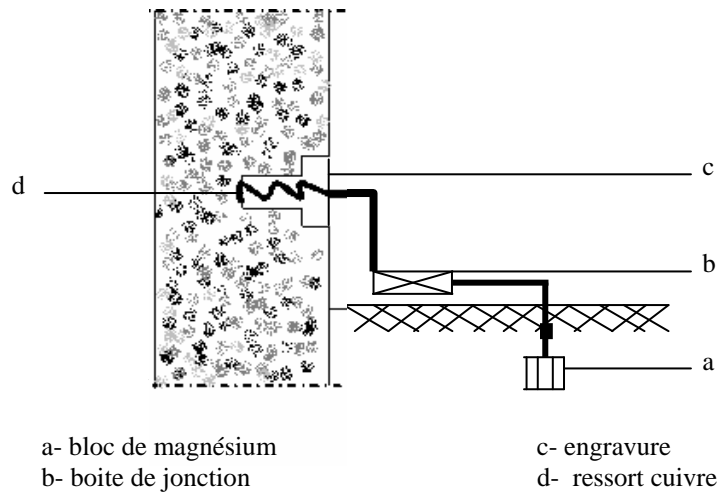
**Figure III.19:** Principe d'évacuation de l'humidité par drain.

**\*Assèchement des murs par électro- osmose :**

Le procédé d'assèchement par l'électro- osmose utilise l'influence d'un faible courant électrique pour évacuer l'eau contenue dans la maçonnerie (Figure III.20) [LOG 81].

A 0.5m ou 1m au-dessus du sol on pratique dans le mur une saignée de 0.05 à 0.06m de profondeur. Dans celle-ci on perce des trous de 0.01m de diamètre, espacés de 0.30 à 0.50 m suivant l'humidité du mur. Des ressorts en cuivre étamé sont scellés au ciment dans chaque trou et réunis par une ligne en cuivre étamé noyée dans l'engravure [JAS 97].

Au sol, une série de blocs de magnésium avec entre eux un fil protégé par un tube d'acier constitue la ligne de terre. Celle-ci est reliée à la ligne des ressorts par des boîtes de jonction. Un faible courant de l'ordre de 1 volt s'établit entre le mur et le sol [COL 89].



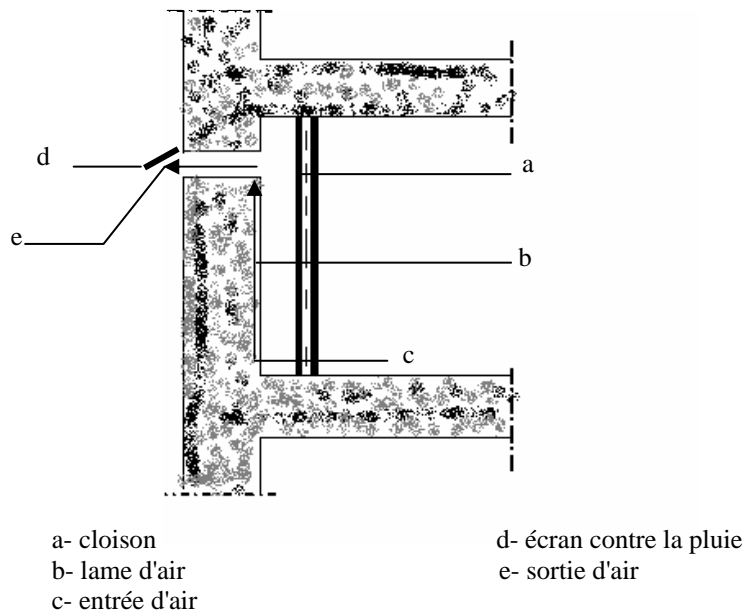
**Figure III.20** : Assèchement par électro - osmose.

**\*Cloison de doublage :**

Si on utilise la cloison de doublage isolante côté intérieur du mur, il est indispensable de ventiler la lame d'air vers l'extérieur, ainsi elle sèche le mur (Figure III.21) [JAS 97].

Sans cette précaution, il y a le risque certain d'aggravation des dégâts, l'humidité restant emprisonnée et même remontant plus haut dans le mur.

Pour les mêmes raisons et d'une manière générale, l'application des enduits et des revêtements étanches qui empêchent la libération des vapeurs d'eau contenues dans le mur est à proscrire.



**Figure III.21** : Cloison de doublage à lame d'air mobile.

### III.8.2.2. Remèdes contre les infiltrations directes de la pluie:

#### \* L'étanchéité des toitures :

Des ruptures dans l'étanchéité des toitures provoquent l'infiltration de l'eau dans le mur. Il en est de même lorsque l'étanchéité laisse à désirer dans le voisinage des souches ou lorsque les gouttières ou les descentes d'eaux pluviales sont bouchées ou abîmées.

Le nettoyage et la remise en état de tous ces ouvrages suffiront pour remédier à la pénétration de l'eau dans les murs.

#### \* L'étanchéité des façades :

L'eau de pluie battante ou la neige frappe directement la façade et pénètre dans le mur.

#### ❖ *L'hydrofugation*

Dans le cas des façades en pierre ou en brique, il est indispensable de refaire les joints abîmés au mortier de chaux ou mortier adhésif. La réfection des joints supprimera la possibilité de grandes entrées d'eau dans le mur.

Le traitement d'hydrofugation de surface freine sensiblement la pénétration de l'humidité dans le mur tout en maintenant la perméabilité du mur à la vapeur d'eau sous pression. Il est important de laisser le mur respirer pour permettre l'évacuation de l'humidité qui a pu pénétrer dans le mur [CRE 97], [COL 98].

#### ❖ *Revêtements d'imperméabilisation*

Il existe les revêtements d'imperméabilisation à la base de polymères applicables sur les enduits ciment, le béton ou la maçonnerie traditionnelle.

Ces revêtements sont soumis en place à la brosse ou au rouleau. Ils remédient efficacement à la porosité excessive des matériaux ou des enduits et aux fissurations capillaires, formant un film adhérent et souple arrêtant les infiltrations d'eau tout en restant perméable à la vapeur d'eau sous pression [CRE 94].

#### ❖ *Revêtement d'étanchéité*

Sur les façades qui ont tendance à la fissuration, on peut appliquer un revêtement spécial d'étanchéité des façades du type résine acrylique armé, l'armature généralisée étant constituée par une feuille de fibre minérale, tissée ou non tissée, placée entre deux couches d'imperméabilisation [COL 89].

Ce revêtement résiste efficacement aux nouvelles fissures survenues dans le support. Il peut être appliqué sur le revêtement de façades en pâte de verre ou revêtement céramique avec les joints non étanches [JAS 97].

**❖ Enduits**

Les procédés traditionnels, tel un enduit au mortier, sont applicables sur des façades à parement continu. Dans ce cas, on utilisera de préférence le mortier de plâtre à la chaux, et pour obtenir une étanchéité efficace d'une façade en maçonnerie perméable à la pluie, on l'appliquera en trois couches [CRE 97].

**❖ Peintures d'extérieur**

Les peintures et émulsions plastiques respirantes de qualité extérieure, peintures à la pliolite ou peintures fibreuses peuvent protéger une façade contre la pluie et seront d'autant plus durables et efficaces que le mur est moins poreux [JAS 97].

**❖ Bardage**

Les façades exposées d'une manière continue aux fortes intempéries seront protégées par bardage. On utilise les ardoises naturelles et artificielles, bardeaux en amiante-ciment, zinc-aluminium, ... [JAS 97]

Le bardage permet l'intercalation d'un isolant entre le mur et le revêtement extérieur, en apportant une isolation thermique et acoustique en plus de protection très efficace contre l'humidité (Figure III.22). La circulation d'air derrière le revêtement (entre les chevrons du support) empêche la création des phénomènes de condensation et assure la bonne conservation de l'ensemble [JAS 97], [COQ 02].

**\* Infiltrations d'eau au niveau des menuiseries :**

A fin d'éviter des infiltrations d'eau par des menuiseries, il est indispensable de vérifier et de remettre en état les protections prévues contre la pénétration d'eau de pluie, à savoir : les pentes des appuis, les feuillures, gorges et trous d'évacuation.

Il y a lieu aussi de calfeutrer bien la fenêtre ou la porte-fenêtre, avec des mastiques ou mortiers spéciaux.

Les joints entre les maçonneries et les menuiseries mal exécutées ou rompues sont très souvent à l'origine des sinistres d'eau. On remplacera les menuiseries trop usinées ou inadaptées.

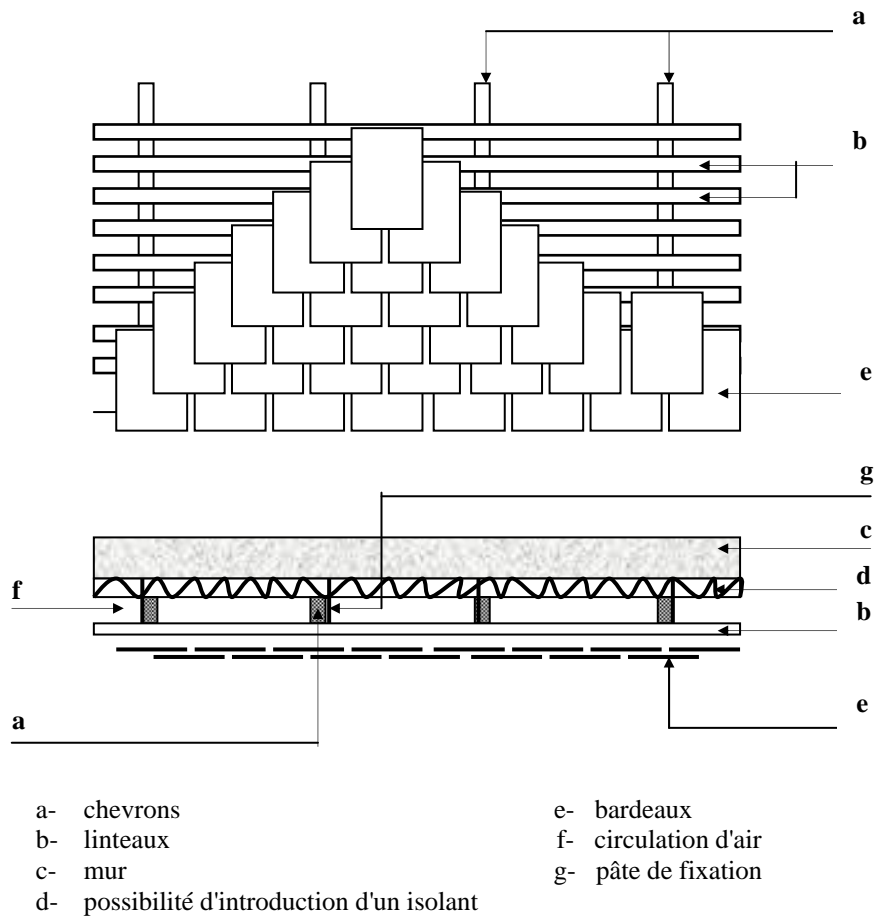


Figure III.22: Principe de bardage.

### III.8.2.3. Remèdes à la condensation :

#### \* Diminution hydrométrique :

Il est souhaitable et possible de diminuer le degré d'hydrométrie des locaux, en produisant moins de vapeur d'eau, en abaissant la température d'eau chaude sanitaire notamment, en installant des hottes au-dessus des appareils de cuisson ou de machines à laver. Une bonne ventilation des pièces humides diminue considérablement le taux d'humidité des autres locaux.

#### \* Régulation chauffage

Une bonne régulation du chauffage et une répartition équitable dans les différents locaux peuvent diminuer le risque de condensations.

L'absence de chauffage de certains locaux et le surchauffement d'autres bouleversent l'équilibre thermique et provoquent les déplacements d'air humide, d'où risque de voir apparaître les condensations sur les parois de pièces sèches mais non chauffées.

### \* Ventilation

Le renouvellement d'air, c'est à dire l'apport de l'air frais et l'évacuation de l'air vicié est indispensable pour améliorer le confort hygrométrique des locaux. L'air froid amené de l'extérieur, une fois réchauffé, est capable d'absorber une quantité de vapeur d'eau considérable.

### \* Parois froides

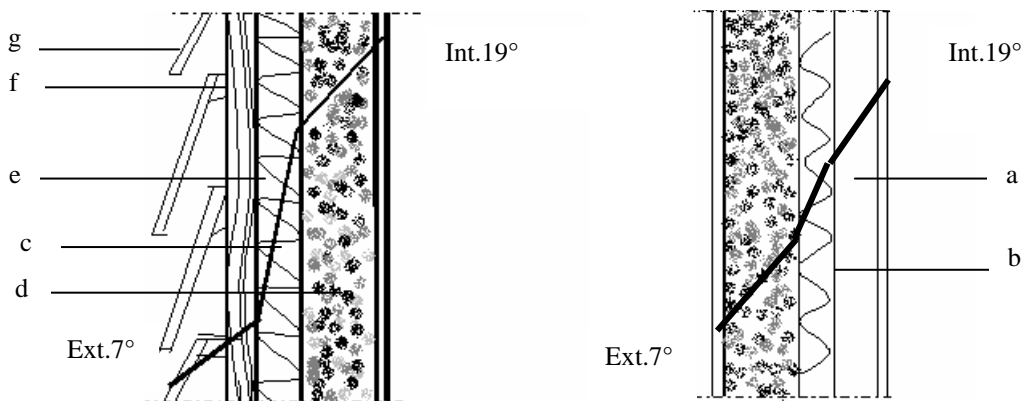
A fin d'éviter l'effet d'une paroi froide et des points faibles thermiques (ponts thermiques) il est nécessaire d'améliorer l'isolation thermique des locaux (Figure III.23).

En ce qui concerne les ouvertures, les remplacements des vitres simples par un vitrage isolant préfabriqué, le survitrage ou la pose d'une double fenêtre seront très efficaces [MEC 77].

Il est aussi nécessaire de bien calfeutrer les menuiseries entre vitrage et châssis ouvrant, entre ouvrant et dormant et entre dormant et la maçonnerie.

Sur le mur, on appliquera côté intérieur, un revêtement isolant, ayant soin de placer l'écran pare - vapeur entre le mur et le revêtement isolant afin d'empêcher les condensations de se produire dans l'épaisseur du mur [JAS 97].

Une isolation du mur côté extérieur par le système de bardage ou des enduits projetés sur des isolants minéraux comme la laine de verre ou de mousses synthétiques, permet en plus de bien isoler les points thermiquement faibles au droit de liaison entre le mur de façade et le plancher et au droit des refends [COL 89] , [JAS 97] .



**Isolation par l'extérieur**

- a- Cloison
- b- Pare- vapeur
- c- Isolation
- d- Mur en béton

**Isolation par l'intérieur**

- e- Chevron
- f- Linteau
- g- Bardeaux

**Figure III.23** : Répartition de températures dans un mur suivant les types d'isolation.



#### III.8.2.4 Remèdes contre l'humidité d'origine accidentelle:

Pour ce qui concerne l'humidité d'origine accidentelle, il n'existe qu'un seul remède possible: c'est de mettre un terme à la cause accidentelle de l'humidification. Le problème ne réside donc pas dans le choix d'un remède: il est dans la détection de la cause du mal et dans l'évaluation des dommages subis par les ouvrages agressés.

#### III.9.Réparation des infrastructures

Le mode de réparation des fondations est très différent suivant qu'il s'agisse d'effectuer des travaux d'urgence ou qu'il suffisse d'attendre la stabilisation [PHI 06].

Dans le cas où la stabilisation s'obtient d'elle-même sans mettre en péril la solidité du bâtiment, il serait vain de procéder à des réparations prématurées : il faut attendre que les fissures n'évoluent plus, puis il faut les reboucher pour remédier aux désordres.

En habitat existant, les reprises de fondations sont assez rares. Généralement, on y a recours pour éviter ou réparer des sinistres, ou pour permettre des modifications du bâtiment incomparables avec des fondations d'origine [BUI 76].

La technique la plus couramment utilisée est celle de la reprise en sous-œuvre des fondations. Deux techniques particulières méritent d'être mentionnées car elles permettent de résoudre des problèmes auxquels les reprises traditionnelles n'apportent pas de solution: il s'agit de celles utilisant des micro -pieux [BOU 96], [MAG 96], [COL98] et des injections de sol [SID 69], [BER 10].

##### III.9.1 Micro -pieux:

###### ❖ Description:

La technique des micro -pieux consiste à exécuter des pieux de faible diamètre(60 à 250mm), forés à l'aide d'outils permettant de traverser et d'identifier, avec le même matériel, la roche, la maçonnerie, le béton et les couches de sol justifiant la consolidation.

Dans la majorité des cas, les micro - pieux sont forés par rotation. Ce procédé de forage est parfaitement adapté à la reprise en sous-œuvre au voisinage d'ouvrages existants.

Le bétonnage des micro- pieux s'effectue généralement en pression et on utilise un béton fortement dosé en ciment. Ce procédé confère aux micro -pieux une très grande adhérence au terrain et une bonne résistance. D'où une charge portante par frottement latéral élevée par rapport à leur section.

La disposition et le nombre des micro -pieux sont directement fonction des qualités des fondations auxquelles on doit les associer. On peut:

- Soit les sceller à la maçonnerie existante, à l'intervalle défini, par une voûte de décharge de micro -pieu à micro -pieu;
- Soit créer une structure additionnelle pour obtenir un écartement plus grand entre micro -pieux; mais sa réalisation nécessite des travaux de démolition et de déblais plus important; de plus, elle est souvent difficile à intégrer dans la fondation existante.

❖ **Domaine d'application:**

Il s'agit d'une technique délicate dont le prix est relativement élevé. Toutefois, la mesure où la reprise en sous-œuvre des fondations nécessite de descendre à plus de 3m de profondeur, les micro -pieux sont compétitifs.

Le faible encombrement du matériel à utiliser permet de résoudre le problème des accès difficiles et des volumes de manœuvre exigus.

On y a souvent recours en cas de sinistres (tassements en cours de construction, désordres après affouillements limitrophes,...), pour le renforcement de monuments historiques ou pour la reprise de fondations profondes.

### III.9.2 Injections de sol:

❖ **Description:**

La technique consiste à combler par injection sous pression les vides ou fissures du sol afin d'augmenter sa résistance à la compression.

Les produits d'injection sont, selon les cas, constitués de coulis de ciment éventuellement additionné de pouzzolanes de cendre volante, de plastifiant et d'accélérateur de coulis d'argiles colloïdale ou de bentonite, de coulis à base de produit chimique liquide ou de résines organiques.

❖ **Domaine d'application :** Cette technique permet :

- De combler en sous sol les vides qui n'auraient pas été détectés au moment de la construction ou qui se serait produit après coup, sous l'effet de venues d'eau par exemple;
- D'augmenter, si nécessaire la compacité des sols sous radier de fondation.

Simple dans son principe, elle doit cependant n'être appliquée qu'en tenant compte des conditions particulière à chaque cas. Elle n'est notamment pas utilisable dans tous les sols, certain n'étant pas injectable et d'autres risquant d'absorber des volumes énorme de coulis sans aucun effet de consolidation. Elle nécessite par ailleurs de grande précaution lors de sa mise en œuvre (risque de fissuration du bâtiment traité ou de désordre dans les bâtiments voisin).

Cette technique ne peut donc être appliquée avec succès et économie qu'après une sérieuse étude géologique et uniquement par entreprise spécialisée ayant une grande expérience dans ce domaine.

### **III.10. Amélioration des façades:**

On doit avoir une attention particulière pour les façades lors d'une opération de réhabilitation, aussi bien du point de vue technique (solidité, isolation), que du point de vue l'esthétique [CRE 97]. En effet, la réfection d'une façade peut être une occasion d'améliorer confort des occupants de l'immeuble en apportant l'isolation thermique et acoustique supplémentaire. C'est aussi une occasion d'améliorer l'aspect extérieur de la façade détériorée par le temps.

#### **III.10.1. Nettoyage des façades:**

Plusieurs techniques peuvent être employées en fonction de la nature des matériaux et de l'importance des salissures [CRE 94], [CRE 97]:

##### **❖ Nettoyage par le jet de sable ou d'eau sous pression:**

Pour le nettoyage des façades en pierres de taille ou en brique qui ne reçoivent pas d'enduit, on utilise le plus souvent le sablage hydropneumatique.

Ce procédé très efficace a l'avantage de ne pas provoquer de la poussière.

##### **❖ Brossage:**

Sur les façades de petites dimensions ou sur les façades richement sculptées et précieuses des monuments historiques, l'emploi d'eau pure ou d'eau additionnée d'un détergent d'utilisation courante et le brossage manuel restent les plus efficaces.

##### **❖ Décapants chimiques:**

Les décapants chimiques peuvent être utilisés, mais leur emploi invite à une très grande prudence en ce qui concerne les réactions possibles avec les différents composants de la façade.

##### **❖ Lavage:**

Des façades plus récentes qui ont reçu un revêtement moderne céramique, en pâte de verre, en panneaux d'aluminium anodisé seront nettoyées à l'eau avec un détergent d'utilisation courante.

La façade, une fois réparée et nettoyée doit être protégée contre l'accumulation de la crasse sur sa surface et surtout pour empêcher l'entrée des salissures en profondeur.

#### **III.10.2. Reprises locales et petites réparations:**

##### **\* Façades en pierres apparentes:**

Si les pierres sont profondément touchées, les reprises locales consistent à remplacer de pierres abîmées par des pierres saines de qualité que celle d'origine.

Des réparations des pierres abîmées en surface peuvent se faire avec un mortier spécial à base de pierre de même famille que les existantes, mélangée avec un produit

liant (chaux hydraulique naturelle, chaux éteinte, ciment) . Ce mélange sera appliquer sur une colle à mortier, surtout si l'épaisseur de la couche de mortier apportée est importante [MAM 83].

Il convient de bien nettoyer et gratter la pierre préalablement à toute intervention pour assurer la bonne adhérence du produit. Ce procédé permet des effets esthétiques très appréciables si on soigne bien la finition.

**\*Façades en brique:**

Il faut procéder en priorité à tous les travaux nécessaires pour la stabilité de la façade.

Si la façade ne reçoit pas d'enduit, le changement des briques abîmées paraît la solution la plus raisonnable. Il est toutefois possible, comme pour la pierre, de fabriquer un mortier spécial en mélangeant de la poudre de brique à un liant et de l'utiliser pour les réparations locales en surface [MIN 81], [JAS 97].

**\*Façades avec un revêtement moderne :**

Les reprises locales sont possibles mais très difficiles sur ce type de façades. Il est malaisé de refaire la patine des revêtements céramique, de pâte de verre ou des revêtements en aluminium et les réparations restent toujours visibles [JAS 97].

Des revêtements d'étanchéité incolores et transparents armés de textiles spéciaux, sont une finition très efficace de parements en pâte de verre ou de céramique, compte tenu de leur résistance aux éventuelles fissurations [CRE 94].

**III.10. 3.Finitions:**

**\*Enduits extérieurs :**

• *Enduits existants :*

Des façades qui ont reçu un enduit doivent faire l'objet d'un examen attentif de l'état des enduits existants. Si le support est en bon état et si les enduits et leur adhérence ne posent pas de problèmes particuliers, ils peuvent être conservés et les reprises locales et le colmatage des fissures éventuelles sont possibles.

Les enduits en mauvais état seront remplacés par des enduits neufs.

• *Choix d'enduits :*

En procédant au ravalement d'une façade, il faut avoir le souci de l'esthétique, de la qualité du produit utilisé, de sa durabilité dans le temps et de son éventuel entretien.

Entre différents types d'enduits, il faut choisir l'enduit approprié aux caractéristiques du bâtiment réhabilité. Les enduits étanches à l'eau sont à proscrire, s'ils restent étanches à la

vapeur d'eau sous pression. La respiration du mur est une nécessité absolue si on veut éviter les désordres dus à l'humidité.

Une erreur à ne pas commettre, c'est la volonté de remédier à certaines imperfections de planéité des façades à l'aide d'enduits, les surépaisseurs d'enduit ainsi créées risquent localement de provoquer des surcharges dangereuses.

Pour éviter des dégradations éventuelles, il est important de bien soigner les alentours des joints de dilatation, et les endroits où deux matériaux différents se touchent ; ils sont les points fragiles de la façade. Pour faciliter l'adhérence des enduits sur le mur, l'utilisation de colles à mortier est conseillée (mélange de sable, de liants et de résines adhésives) [DEL 82], [CRE 97].

**\* Peintures d'extérieur :**

Il est important que les peintures utilisées à l'extérieur en couche décorative, soient respirantes et suffisamment élastiques pour amortir la petite fissuration du support.

La peinture à l'huile ou d'autres peintures formant sur le mur un film étanche sont souvent la cause des dégradations survenues sur les façades, surtout si elles sont appliquées sur des enduits ayant tendance à stocker l'humidité (plâtre) [BOU 87].

Il est prudent de s'informer auprès des bureaux d'architecture, en ce qui concerne le choix du coloris et la nature de la couche décorative avant de commencer les travaux.

### **III.11. Conclusions**

De ce qui précède, nous pouvons conclure qu'une opération de réhabilitation exige un sérieux travail de recherche, tant au plan architectural que technique, et l'emploi de produits et de méthodes de mise en œuvre adaptés, entraînant, pour l'ensemble des corporations du bâtiment, de nouvelles responsabilités, qu'elles n'ont peut-être pas encore toutes bien assimilées.

Il existe un certain nombre de conseils relatifs aux choix d'une technique de remise en état et de renforcement d'un ouvrage existant :

- Il ne faut jamais engager de travaux destinés à lutter contre une dégradation, aussi peu onéreux soient-ils, sans avoir au préalable procédé (ou fait procéder) à un diagnostic sérieux permettant de déterminer le type de désordre à combattre.
- Lorsque le diagnostic démontre que plusieurs causes se conjuguent ou paraissent se conjuguer pour entraîner la dégradation d'un bâtiment, plusieurs interventions sont en général nécessaires. La sagesse commande alors de ne pas les engager ensemble mais successivement, en commençant par la moins onéreuse et en n'entamant la suivante qu'après avoir jugé les résultats de la précédente.

- Il ne faut pas confondre les remèdes s'attachant aux causes du mal à ceux n'ayant pour seul objet que camoufler ses effets.
- Avant d'entamer un traitement important, et donc coûteux, il est recommandé, chaque fois que cela est possible, de procéder à un essai pour juger de son efficacité dans le cas concerné. Avant de porter un jugement sur les résultats de cet essai, il convient d'attendre un délai raisonnable (par exemple pour le cas de l'humidité, plusieurs mois sont en effet nécessaires pour que l'eau accumulée avant traitement dans les maçonneries puisse s'évaporer ou pour que l'humidité réapparaisse après application d'un remède inefficace). Se garder donc des satisfactions ou des mécontentements trop hâtifs.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Références bibliographiques**

- [SID 69]. SIDNEY M.JOHNSON, " Dégradation, entretien et réparation des ouvrages du génie civil", Editions Eyrolles, 1969.
- [BUI 76]. MAURICE BUISSON, LOUIS BOURGINE, " Expertise des constructions en vue de leur consolidation", Encyclopédie pratique de la construction et du bâtiment, Tome 2, Librairie Aristide Quillet, 1976, ( 1324- 1348).
- [GIS 77]. PIERRE GISSEROT, " Entretien et exploitation des bâtiments public", Editions du Moniteur, 1977, ( 23-36).
- [MEC77].Ministère de l'Equipement de la Construction, " Guide pratique pour l'amélioration des logements existants", Editions du Moniteur,1977.
- [ANA 79]. Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat, " Planchers anciens", Editions du Moniteur,1979,( 3-60 ).
- [COL 81]. RAYMOND COLLOMBET, " Réhabilitation: Quelles solutions techniques", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Novembre 1981, (197-203).
- [LOG 81]. LOUIS LOGEAIS ," L'assèchement des murs", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Mars 1981,( 83-88 ).
- [MIN 81]. Ministère du logement, " Technique de réhabilitation des HLM", Editions du Moniteur, 1981.
- [BER 82]. PATRICK BERGER, VINCENT BARRE, " Réhabilitation: 9 opérations exemplaires", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Décembre 1982,( 23-35).
- [DEL 82]. PAULE DELCAMBRE, " Les causes des altérations des façades enduites", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Décembre 1982, ( 97-99).
- [LEB 82]. LEON.B, " Réhabilitation et développement urbain", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Novembre 1982, ( 63-64).
- [VEN 82]. MICHEL VENUAT, " Comment réparer les fissures dans les ouvrages en béton", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Décembre 1982,( 98-99 ).
- [CHA 83]. JEAN CHAUDESAIGUES ," Renforcer ou réparer une structure: Pourquoi et comment", Annales N° 411, Tome 1,1983,( 4-25 ).
- [MAM 83]. MARC MAMILLAN, " Restauration des ouvrages et des structures ", Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 1983, ( 337-367).
- [BOR 85]. GEORGES BORNAND, " Le diagnostic en habitat existant", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Mars 1985,( 53-61 ).



- [BOI 87]. DANIEL BOITEL, CLAUDE HAZARD, " Guide de la maintenance", Editions Nathan, 1987, ( 3-22).
- [BOU 87]. BOULANDET.P , " Humidité: Attention au choix du traitement", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Mars 1987,( 95-100 ).
- [COL 89]. RAYMOND COLLOMBET, " L'humidité des bâtiments anciens", Editions du Moniteur, 1989.
- [CGS1 92]. Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, " Recommandations techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages", premier semestre 1992.
- [CGS2 92]. Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique," Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages", Deuxième semestre 1992.
- [CHO 92]. CHOUKIR .A , " La fissuration des ouvrages en béton", Revue Marocaine du Génie Civil N° 42, 1992, ( 35-42).
- [BLA 93]. BERNARD BLACHE, JEAN-DANIEL MERLET," Comment réparer le béton armé", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Avril 1993,( 25-32 ).
- [CRE 94]. ROLAND CRESSON, " Revêtements organiques de façade", Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et de Travaux Public N° 525, Société d'Editions du Bâtiment et des Travaux Public, Juillet- Août 1994, (13- 32).
- [LAR 94]. PIERRE LARAPIDIE," Pas de bonne réhabilitation sans diagnostic", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Avril 1994, (106).
- [LAV 94]. CHRISTIAN LAVAL, " Entretien, Réparation et Renforcement des ouvrages en béton", Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et de Travaux Public N° 525, Société d'Editions du Bâtiment et des Travaux Public, Juillet- Août 1994, ( 33- 47 ).
- [ROU 94]. BERNARD ROURE, " Le diagnostic, un outil d'assurance qualité", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Avril 1994, (28-29).
- [BOU 96]. PIERRE BOUSQUET, "Pieux et palplanches", Techniques de l'ingénieur, Tome 1, Editions Eyrolles, 1996, ( 9 ).
- [GEO 96]. JEAN GEOFFRAY, "Béton hydraulique (Mise en œuvre) ", Techniques de l'ingénieur, Tome 4, Editions Eyrolles, 1996, ( 2230-1, 2230-47 ).
- [MAM2 96]. MARC MAMILLAN, " Restauration des bâtiments en béton armé", Techniques de l'ingénieur, Tome 4, Editions Eyrolles, 1996, (2350-1,2350-14).
- [MAG 96]. JEAN-PIERRE MAGNAN, GEORGES PILOT, "Amélioration des sols", Techniques de l'ingénieur, Tome 2, Editions Eyrolles, 1996, (245-18, 245-19).

- [**CRE 97**]. ROLAND CRESSON, " Peintures et revêtements organiques appliquées en façade", Encyclopédie du bâtiment, Tome 3, Editions WEKA, 1997, (1-3101, 10-3101)
- [**DAV 97**]. VICTOR DAVIDOVICI, " Enseignements tirés de la fissuration des structures en béton armé", Formulaire du béton armé, Tome 2, Editions du Moniteur, 1997, (286-295).
- [**JAS 97**]. JASKOWSKA, " La réhabilitation des murs extérieurs et refends", Encyclopédie du bâtiment, Tome 2, Editions WEKA, 1997, (1-2172, 16-2172)
- [**PER 97**]. JEAN PERRET," Guide de la maintenance de bâtiments", Editions du Moniteur,1997,( 59-119 ).
- [**COL 98**]. RAYMOND COLLOMBET, " Techniques et produits pour l'amélioration de l'habitat", Editions du Moniteur, 1998, (14-30).
- [**JOF 99**]. PASCALE JOFFROY, " La réhabilitation des bâtiments: Conserver, améliorer, restructurer les logements et les équipements", Editions du Moniteur, 1999.
- [**COQ 02**]. ANNIE COQUILLAT, ALAIN GRELAT, " Prévion des sinistres dus à l'humidité dans les bâtiments anciens", Centre **Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP)**, Premier trimestre 2002
- [**AFG 03**]. Association Française du Génie Civil (AFGC), "Conception de bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages – Maîtrise de la durabilité vis-à-vis de la corrosion des armatures et de l'alcali réaction – État de l'art et guide pour la mise en oeuvre d'une approche performantielle sur la base d'indicateurs de durabilité", Documents scientifiques et techniques. Version 20, Juin 2003.
- [**OUZ 03**]. Kheira OUZAA, "Réhabilitation du vieux bâti. Solutions techniques pour un bâtiment menaçant ruine situé à Oran", *Thèse de Magister en Génie Civil*, Faculté d'Architecture et de Génie Civil, USTO – M.B., 2003.
- [**BRU 04**]. Brühwiler E., "Maintenance des ouvrages", Cours EPFL, Lausanne, Suisse, 2004.
- Cated , " Fissuration : Causes, prévention et traitement des fissures", Editions Eyrolles ,1999.
- [**SHA 05**]. A.A.SHASH, "Repair of concrete beams- a case of study",Construction and building materials journal,N°19,2005,(75-79).
- [**ACI 06**]. ACI Committee 546.3R-06, "Guide for the Selection of Materials for the Repair of Concrete", American Concrete Institute, Farmington Hills,Michigan ,2006.
- [**ACI 07**]. ACI Committee 224 .1R-07, "Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures", American Concrete Institute, Farmington Hills,Michigan, 2007.
- [**PHI 06**]. PHILIP J., BOUYAHBAR F., MUZEAU J., "Guide pratique de la démolition des bâtiments", Eyrolles ,2006.

[BER 10]. Bertrand SCHWARTZ, "Réhabilitation des bâtiments. Structures et enveloppe, solutions techniques", Edition Lavoisier, 2010.

[OUZ 11]. Kheira OUZAA, "Modélisation et simulation de la fissuration du béton : application aux dallages, aux voiles et aux poutres de ponts en béton armé", *Thèse de Doctorat En Sciences en Génie Civil*, Faculté d'Architecture et de Génie Civil, USTO – M.B., 2011.