



Université de Médéa  
Département de Génie de la Matière  
Filière Génie Civil

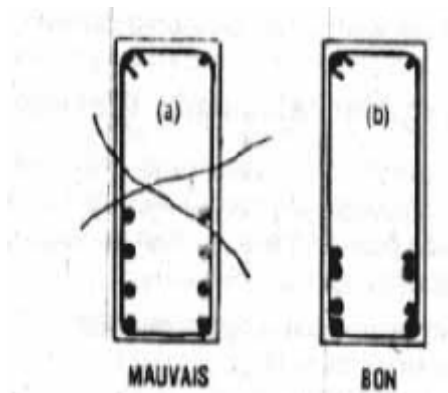
SAHLA MAHLA

# Réparation et protection des Constructions

## Chapitre I: Evaluation de l'état d'une construction

Cours de Master 2 / GC

Dr. F. Debieb



# Situation d'un Bâti : états d'intervention

SAHLA MAHLA

- Etape 1: prise en compte de l'environnement

المصدر الاول للطالب الجزائري



- Etape 2: entretien et maintenance

- Etape 3: réparations

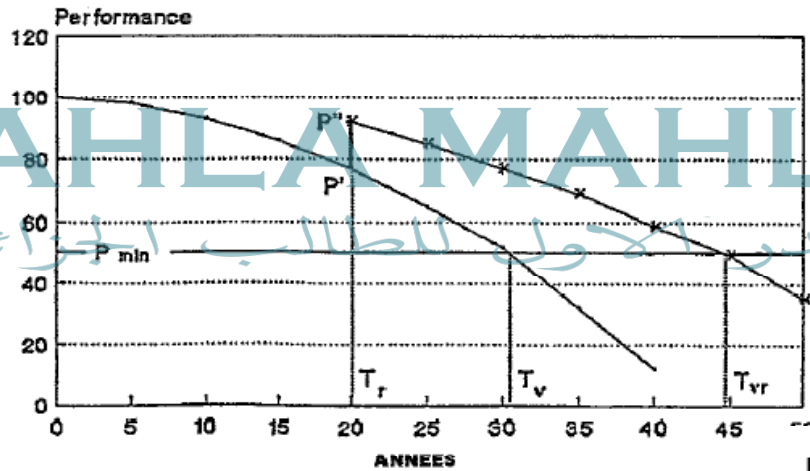
# Quelques définitions

- *réparation* : opération de remise en état d'un élément ou d'un ouvrage dégradé,
- *restauration* : opération de rétablissement de l'ouvrage à son état originel, avant sa mise en service,
- *renforcement* : ensemble des travaux visant à préparer l'ouvrage à une exploitation plus intensive en tenant compte des sollicitations mécaniques, thermiques ou chimiques. Chacune de ces sollicitations peut prendre un caractère permanent ou non, de courte ou de longue durée, statique ou dynamique.

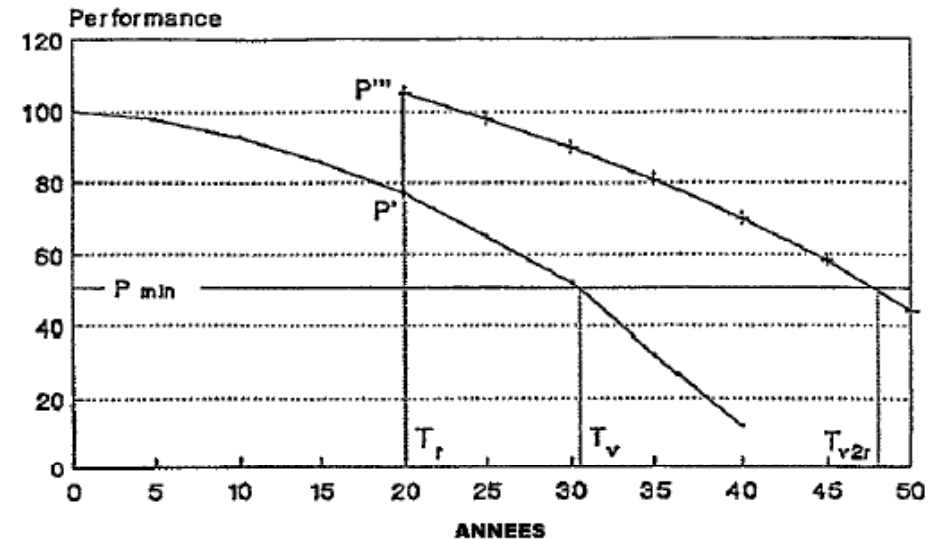
La *rénovation* des bâtiments et des ouvrages de génie civil peut revêtir une ou plusieurs des opérations citées ci-dessus.

# Stratégie d'intervention

- Durée de vie: effet des réparations ( $P'$  à  $P''$ )



- Durée de vie: effet des réparations ( $P'$  à  $P'''$ )



# Options d'intervention

- Durée de vie: timing d'intervention (TR)
  - la vitesse de dégradation est de plus en plus grande et peut devenir infinie (dans le cas de chute brutale des performances).

- implications socio-économiques
- possibilités de réparation réduites ou même nulles.

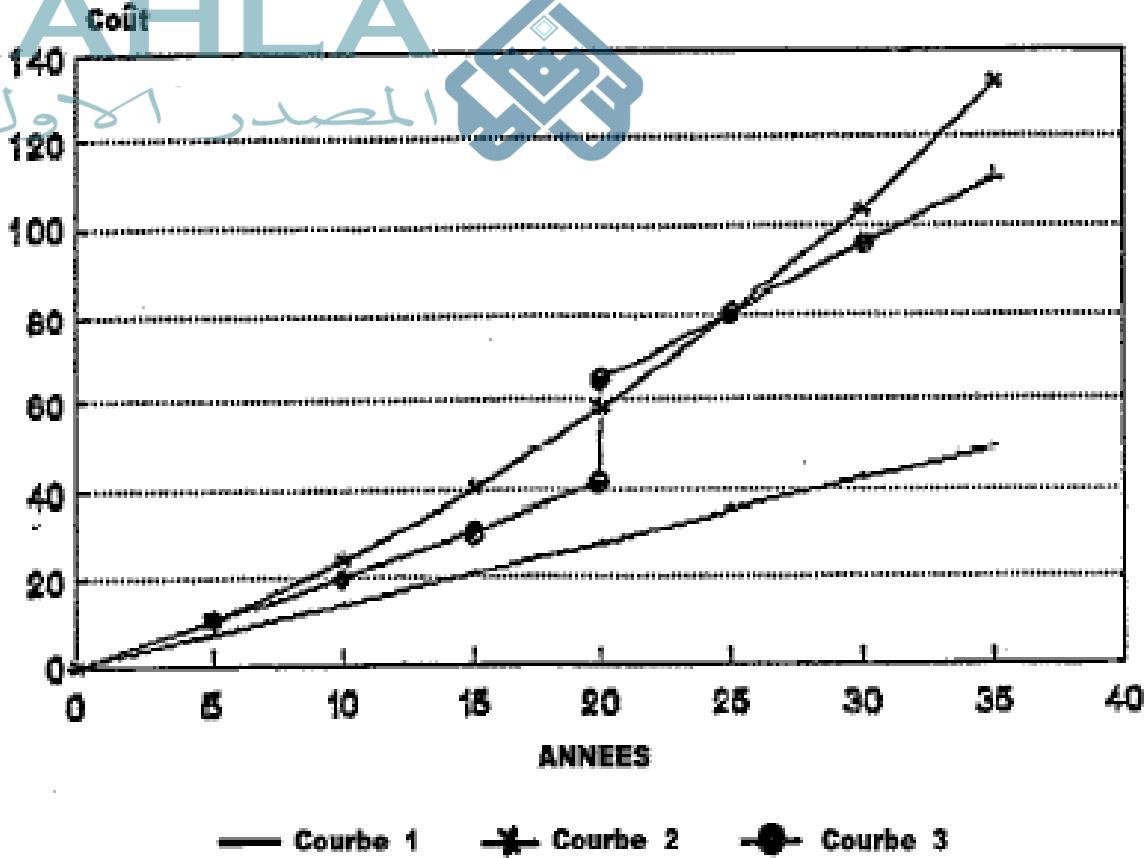
Une étude du risque d'"emballement" de la vitesse de dégradation est à entreprendre pour chaque situation particulière (étude du risque)

- techniques de réparation de plus en plus coûteuses au fur et à mesure que le niveau de dégradation augmente
  - progression géométrique en fonction du taux de dégradation
  - accroissements brusques au-delà de certains niveaux de dégradation.

# Options d'intervention

■ Durée de vie:  
évolution du coût  
des réparations

- Courbe 1: variation linéaire (théorique)
- Courbe 2: accélération (prix de la main d'œuvre et des matériaux)
- Courbe 3: augmentation brusque (techniques d'intervention plus lourdes)



## Options d'intervention

SAHLA MAHLA  
المصدر الأول للطلاب الجزائري

- Durée de vie: évolution du coût des réparations

- Courbe 3: augmentation brusque (techniques d'intervention plus lourdes)
  - p.e. échaffaudage: coûteux, manutention onéreuse, encombrants, ...: aucune plus value ou augmentation des performances pour l'ouvrage réparé
  - risques accrus pour occupants et utilisateurs: accidents, coûts sociaux, ...

## Options d'intervention

- Durée de vie: intervention (TR)
  - Répartition du budget (équilibré et suffisant)
    - évaluation des dégradations;
    - étude des causes;
    - rédaction des documents du contrat;
    - réparation proprement dite;
    - contrôle et à la maintenance de la réparation;
    - couverture de la construction en assurance.



## Eta d'une construction



- Évaluation ponctuelle d'un ouvrage
- Investigation dans le cadre d'un programme de surveillance d'un ouvrage

SAHLA MAHLA  
المصدر الأول للطلاب الجزائري



## Moyens d'accès

Pour réaliser des mesures au niveau



Recourir a des engins spéciaux

- de la construction
- d'un élément
- du matériau
- des désagrégation
- microenvironnement

# Techniques de mesures

## 1. Sur le matériau – mesures sur site

Mesurer les propriétés mécaniques

- Essais destructifs
- Essais non destructifs

Mesurer la position des armatures

- Covermetre -profondeur
- Radiographie: rayon X ou gamma

Evaluer

- L'état de corrosion des acier: potentiel électrodes
- Cohésion béton: arrachement
- Perméabilité du béton: perméabilité
- Caractéristiques du béton: résistivité électrique
- Altération du béton: carbonatation

Evaluer les fissures du béton au point de vu:

- Caractéristiques géométriques: fissuromètre
- De l'activité des fissures – témoin: plâtre, vernier, capteur électriques, ..

Evaluer les cavités dans le béton par :

- Sondage du matériau
- Investigation aux ultrasons, rayon gamma, radar, ...

## 2. Sur le matériau – en laboratoire

Sur les carottes en labo on peut évaluer:

La composition du  
béton par analyse  
chimique ou  
physique

- Teneur et type du ciment
- Teneur en polluant ou autre prod

La compo et la  
structure du béton  
par analyse  
microscopique

- Microscope binoculaire
- Microscope électronique

La perméabilité du  
béton via:

- Vapeur d'eau
- À l'eau
- Capillarité
- Absorption d'eau

Les propriétés  
mécaniques

- Compression
- traction
- fendage

### 3. Sur élément en Béton ou sur l'ouvrage

Les déformations seront évaluées par des mesures topographiques

Des infos utiles pourront être obtenus par l'examen de la réponse de l'élément ou de l'ouvrage à des charges statiques: essais de chargement.

### 4. Sur l'environnement

Il est utile de relever les données climatiques qui affectent directement les zones investiguées:

- Orientation;
- Situation vis-à-vis de la pluie, du vent, ...
- Données météorologiques du site



- **Université de Médéa**
- **Département de Génie de la Matière**
  - **Filière Génie Civil**

**SAHLA MAHLA**

المصدر الأول للطالب الجزائري  
Réparation et protection des constructions



## Chapitre 2: Diagnostique des causes de dégradation d'un

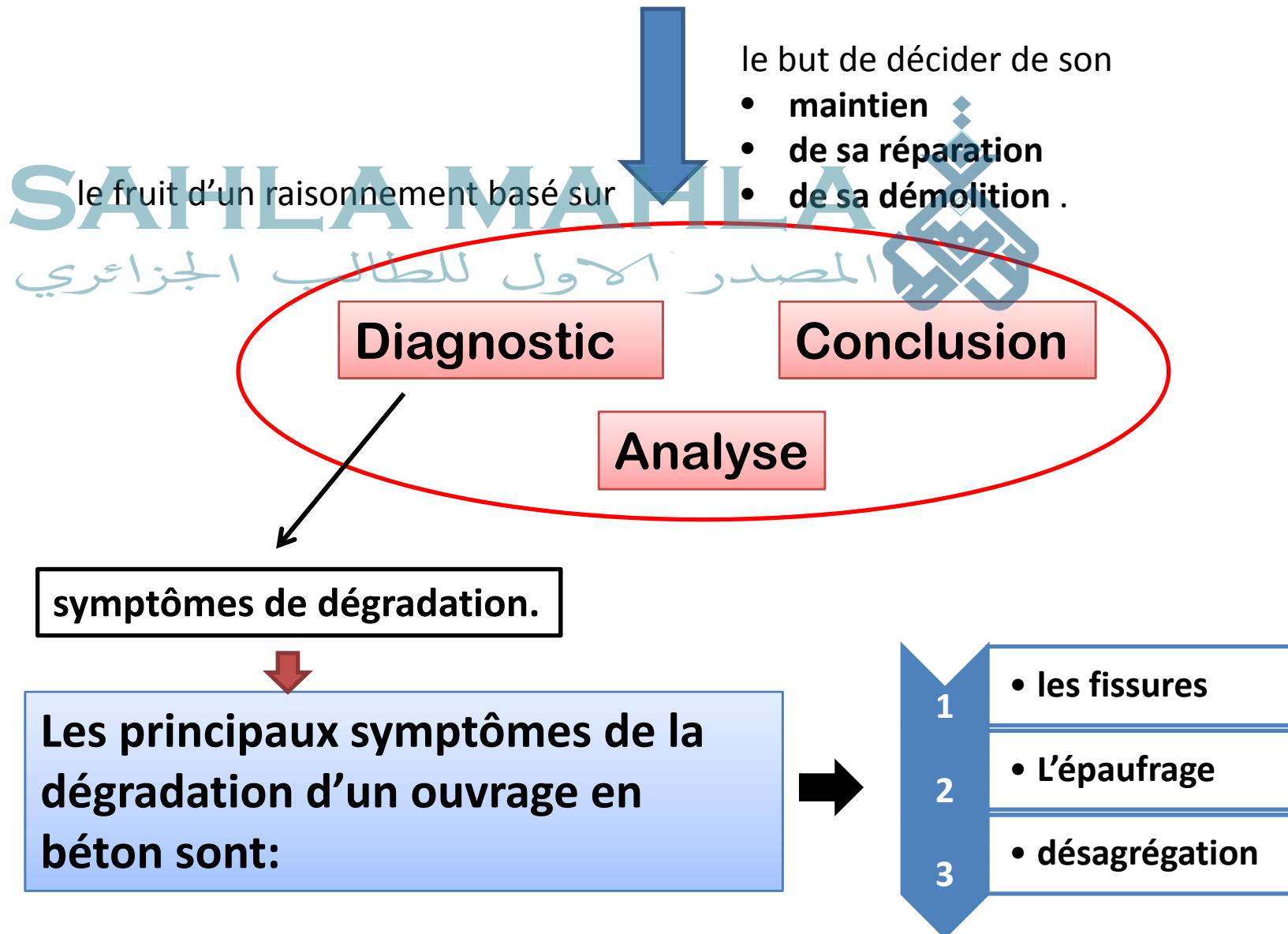
**ouvrage en BA**

Dr. F. Debieb

Cours de Master 2 / GC

Tiré de: DOUAISSIA Zineb, Univ Annaba, Colloque National - Pathologie des Constructions : Du Diagnostic à la Réparation  
Univ Constantine - 25 et 26 Novembre 2008,

# La caractérisation d'une structure existante



En conséquence : diagnostiquer la cause de la dégradation du béton se fait



en recherchant toutes les causes possibles de l'état observé par élimination jusqu'à ce qu'une conclusion s'impose



Le procédé d'élimination nécessite que l'on dresse une liste des agents et des processus de dégradation, et



que l'on comprenne comment ils agissent et effectuent les constituants du béton.



## LES PRINCIPAUX SYMPTOMES DE LA DIGRADATION D'UN OUVRAGE:

- les fissures.
- l'épaufrage.
- la désagrégation (que l'on peut définir comme un pourrissement de toute la surface ,avec perte de ciment et libération des agrégats).

SAHLA MAHLA



المصدر الاول للطلاب المهندسي

### A. Les fissures :

**La plupart des fissurations sont dues à des phénomènes physiques  
( retrait , dilatation)**

**les fissures de décollement entre  
différentes natures de matériaux (par  
exemple entre une ossature béton armé et  
les remplissage en maçonnerie**

**les fissures de rupture qui peuvent être  
traversantes (ou partielles) et qui  
correspondent à une sollicitation  
excessive.**

# Caractéristiques des fissures

Les fissures ne sont pas toutes dangereuses, certaines ne peuvent être que inesthétiques, et autre peuvent compromettre la durée de vie des ouvrages et de sont :

- les fissures parallèles aux aciers, conduisant à une corrosion rapide de ceux-ci, et à la destruction des structures.

- Les fissures permettant des infiltrations d'eau dans des ouvrages qui sont destinés à être étanche ou à contenir des fluides (liquides ou gaz (exemple : cuivres - réservoirs d'eau ou de liquide, soufflerie aérodynamique )

- Fissures d'ouvrages maritimes

- Fissures mettant en cause la stabilité des ouvrages en affaiblissent progressivement la résistance mécanique des éléments structuraux et conduisant à l'effondrement final.

- Fissures permettant la pénétration des agents agressives jusqu'aux armatures, etc....

# ETUDE MORPHOLOGIQUE GENERALE DES FISSURES

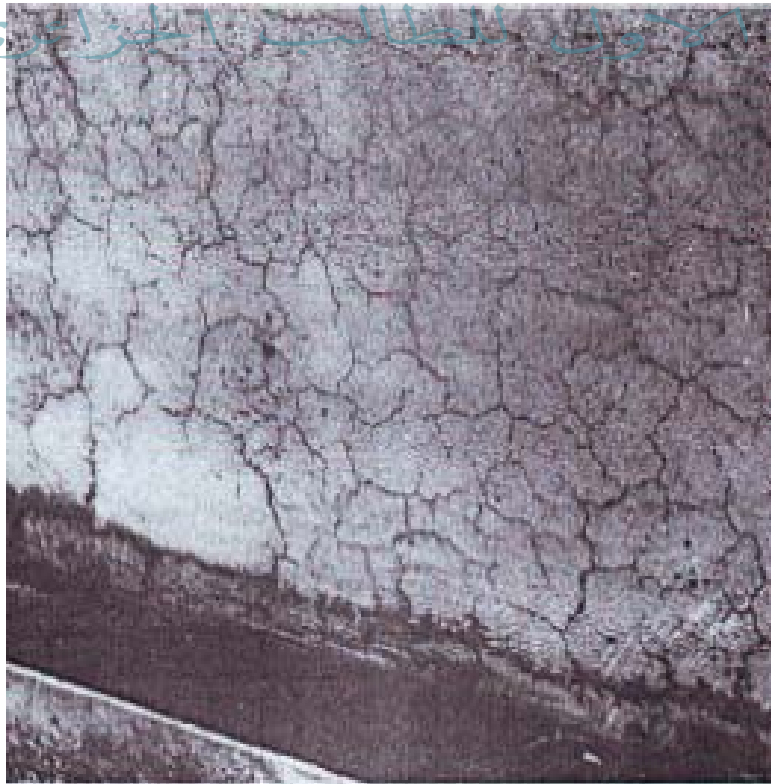
## 1. Caractères morphologiques

- a) **Orientation** : - verticale, horizontale, inclinée (préciser l'angle par rapport à l'horizontale), mixte (plusieurs direction) , quelconque.
- b) **Tracé ou forme** : rectiligne, courbé, quelconque, simple, multiple et composé
- c) **Emplacement** : repérage dans l'élément considéré
- d) **Importance** :
  - en nombre (répétition irrégulière ou régulière)
  - en longueur ou développée.
  - En largeur (mesurable, non mesurable ou variable, constante).
  - En épaisseur (par rapport à celle de l'élément) : superficielle (non traversante) traversante partielle, traversante totale.
  - Fissures visibles à l'oeil nu ;
  - Faïençage (réseau de microfissures) se représentant sous la forme d'un dessin géométrique à mailles régulières (Fig.1).
  - Microfissures d'ouverture  $\leq 0,2$  mm.
  - Par rapport au plan de l'élément, dans le plan, sans décalage ou avec décalage des parties adjacents.

### e) Particularités :

- Date de la première opération ; certaines fissures apparaissent après quelques heures en quelques jours, d'autres après plusieurs années.
- Effets secondaires, par exemple éclatement ou arrachement des parties adjacentes.
- Pénétration.
- Tache.

SAHLA MAHLA



- Faïençage enduit ciment généralisé.



- Autocolmatage de microfissures d'enduit par dépôt de calcite.

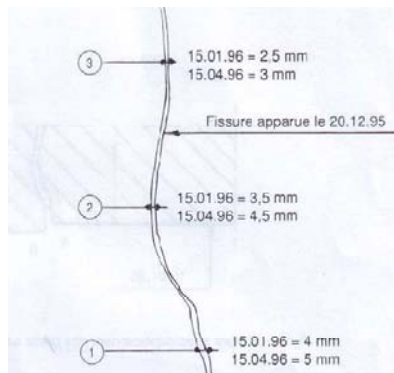
# MOYENS D'INVESTIGATION DES FISSURES

Plusieurs méthodes permettent de relever et de suivre le développement et l'évolution des fissures

## SAHLA MAHLA

### 1. Relevé photographique:

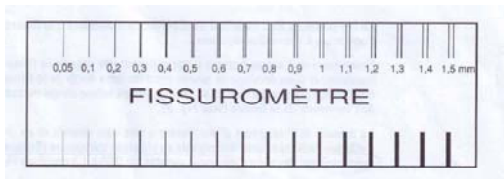
Le relevé photographique effectué a dates régulières (selon évolution éventuelle) avec mesure des ouvertures en quelques points caractéristiques (fig.3) permet de suivre l'évolution des fissures.



Exemple de relevé d'une fissure.

*La mesure de l'ouverture d'une fissure a une date donnée et en un point choisi, s'effectue facilement avec une réglette en plastique transparent (Fissuromètre CEBTP) étalonnée avec des traits d'épaisseur variable, de 0.05 à 1.5mm.*

**Les relevés photographiques doivent être effectués dans les mêmes conditions (même angle de prise de vue, même distance, même échelle de reproduction).**

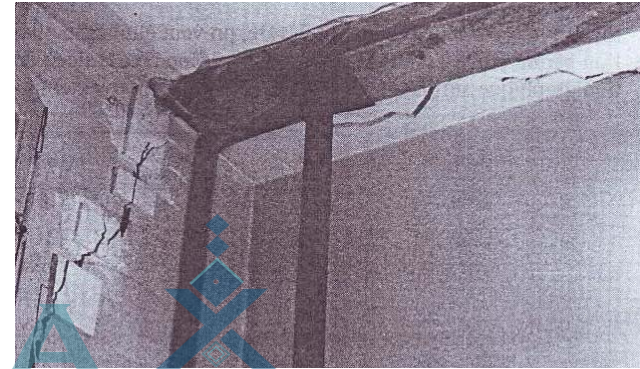


Fissuromètre CEBTP

## 2. Témoins



Fissuration d'un mur banché en béton mousse; mise en place d'un témoin transparent en verre collé des 2 côtés de la fissure.



Utilisation répétée de témoins plâtre ; fiabilité douteuse (compte tenu des mouvements, les témoins cassant)

Languettes de plâtre de 5 à 10 mm d'épaisseur, 5 à 10 cm de largeur et 10 à 20 cm de longueur, posées à cheval sur la fissure et permettant de repérer sa variation éventuelle (date généralement gravée dans le plâtre encore frais). On évitera la pâte de ciment à cause du retrait.

❖ **Avantages** → **Système simple et peu coûteux**

❖ **Inconvénients**

- inesthétique (car il faut suivre dans le temps le mouvement de la fissure).
- pas toujours fiable : décollement de la paroi d'un côté (ou des deux côtés) par défaut d'adhérence sur certains supports, plâtre trop souple pouvant encaisser de petits mouvements en phase élastique sans rupture significative (Figures ci-dessus).
- pas toujours correctement utilisé ou interprété (renseignements de type qualitatif souvent mal utilisés).

Les causes les plus fréquentes de dégradation du béton sont récapitulées dans le Tableau suivant:

1	<b>Causes survenant lors de la construction</b>	
	A	Tassements localisés des surfaces de coulage
	B	Déplacements des coffrages.
	C	Vibrations.
	D	Ségrégation du béton frais.
	E	Retrait de prise du béton.
2	<b>Retrait lors du durcissement</b>	
3	<b>Contraintes thermiques</b>	
	A	Variations de la température atmosphérique
	B	Variations de la température interne.
4	<b>Absorption d'eau par le béton</b>	
5	<b>Corrosion des armatures</b>	
	A	Corrosion due aux agents chimiques.
	B	Corrosion due aux effets électrolytiques
6	<b>Réactions chimiques</b>	
7	<b>Altération atmosphérique</b>	
8	<b>Ondes de choc</b>	
9	<b>Erosion (Abrasion)</b>	
	A	Dalles de sol.
	B	Ouvrages hydrauliques.
	C	Conduites.
	D	Ouvrages maritimes dans la zone des brisants.
	E	Piles de pont.
10	<b>Mauvaises conceptions dans le détail des ouvrages</b>	
	A	Angles rentrants.
	B	Brusques variations de section.
	C	Joints rigides entre dalles préfabriquées.
	D	Déformations.
	E	Fuites aux joints.

## DIAGNOSTIC DES CAUSES :

Diagnostiquer la cause de détérioration d'un ouvrage en béton revient essentiellement à procéder par élimination jusqu'à ce qu'une conclusion s'impose.

*SAHIA MAHIA*  
*المصدر الأول للطالب البيروني*  
**Avant de procéder au diagnostic, il convient de retenir que, à moins que la cause de dommage ne soit absolument évidente, il ne faut pas s'interrompre à mi-chemin dans le processus exposé.**

Plusieurs agents destructeurs, agissant simultanément, peuvent être à l'origine de difficultés, et il est inutile d'en identifier un sans se rendre compte de l'action des autres.

### 1. Première étape : Rechercher les erreurs dans le projet :

Il est important de vérifier si la dégradation n'est pas due à une charge causée par quelque défaut déterminant dans l'étude de l'ouvrage. Il faut rendre cette justice aux bureaux d'études que ce cas est très rare ; mais il se présente parfois. On s'en assure de la façon suivante :

**Il faut d'abord examiner quel genre de contrainte aurait pu provoquer la détérioration observée,**

**il faut examiner l'orientation des fissures, et voir s'il a un rapport logique avec le schéma d'ensemble des contraintes**

Cours master 2 / réparation / 2012-13



**2. Deuxième étape : Etablir un rapport entre les causes possibles et les trois symptômes fondamentaux :**

Cause principale	Principaux symptômes constatés			Situation probable de l'agent de dégradation
	Fissures	Epaufilage	Désagrégation	
Phénomènes résultant des opérations de construction	X			Inactif
Retrait au séchage	X			Inactif
Contraintes thermiques				
a. Variation de la température ambiante	X			Actif
b. Variation de température interne	X	X		Actif ou inactif
Absorption d'eau par le béton	X			Actif
Corrosion des barres d'armature				Actif
a. Origine chimique	X	X		
b. Origine électrolytique	X	X		Actif
Réactions chimiques	X	X	X	Actif
Altération		X	X	Actif
Ondes de choc	X	X		Inactif
Erosion			X	Actif
Détails mal étudiés	X	X		
Erreurs au cours de l'étude	X	X		

### **3. Troisième étape : Eliminer les possibilités facilement identifiables :**

Cette possibilité est la Corrosion de l'armature, cette cause est facilement identifiable. Le recouvrement de béton s'épauffre au droit de l'armature, et celle-ci rouille. Au début, la détérioration se manifeste par une série de fissures parallèles aux armatures. Puis, un plan de clivage se forme au niveau des nappes d'armatures et des taches de rouille apparaissent le long des fissures. Enfin, le béton se détache des armatures.

### **4. Quatrième étape : Procéder à des recherches poussées :**

- Faire l'historique de l'ouvrage.
- Assurer que l'ouvrage n'a pas bougé.
- Faire une étude exhaustive de la dégradation.

## 5. Cinquième étape : Analyser les indications disponibles :

Il s'agit d'une phase difficile et déroutante. En général, il convient d'agir selon le processus suivant :

### 5.1 - Le symptôme fondamental est la désintégration de la surface :

a) Il faut tout d'abord rechercher si ce n'est pas à cause de matériaux défectueux.

a) Il faut d'abord examiner le milieu : Si le gel ou dégel n'agissent pas sur la partie endommagée, l'altération atmosphérique est à éliminer et l'attaque chimique ou l'abrasion sont en cause.

(Effet chimique , altération atmosphérique , abrasion)

c) Il faut ensuite voir ce qu'il en est de l'abrasion : voir si la zone détériorée y est soumise. Si l'ouvrage est de nature à être soumis à l'abrasion, il faut voir s'il existe des signes d'usure, de polissage ou des particules qui sont broyées, il faut déterminer jusqu'à quelle profondeur le béton est altéré. Si la détérioration de la pâte de ciment pénètre profondément dans le béton il s'agit probablement d'une attaque chimique. Par exemple l'attaque par sulfate à une profondeur de 60 cm.

(Effet chimique , altération atmosphérique , abrasion)

d) Il faut ensuite rechercher les symptômes habituellement manifestés par le béton soumis à une attaque chimique, c'est-à-dire : particules d'agrégat sortant de l'enrobage, perte d'adhérence du ciment.

## 5.2 - Cas d'un gonflement du béton :

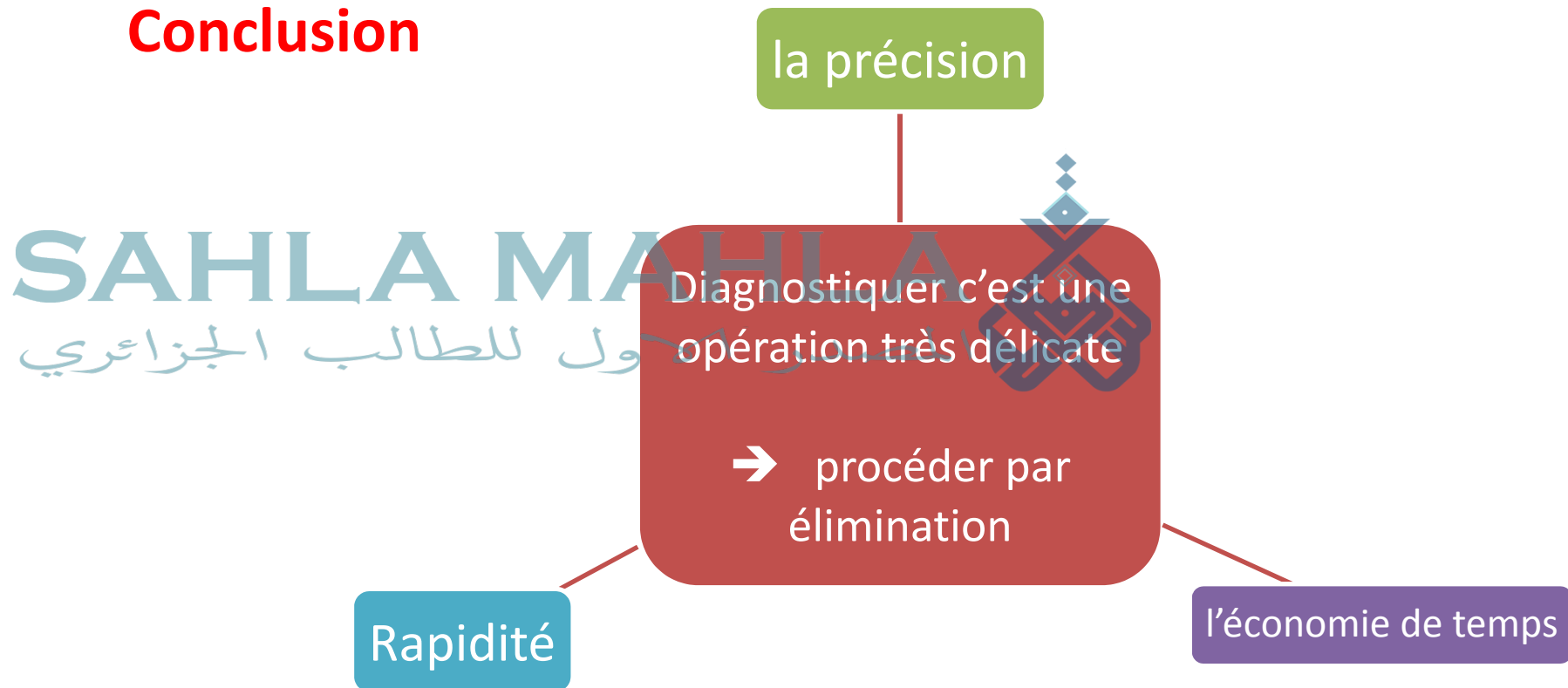
Il a trois causes possibles : réaction chimique, absorption d'eau ou hausse de température de la masse du béton. Comme ces trois agents peuvent agir sur des types d'ouvrage semblables, il est difficile de dire quelle réaction se produit

## 5.3 - Cas de fissuration :

Il faut rechercher :

- Si la fissure affecte la partie du béton travaillant à la traction, ou également celle travaillant à la compression.
- Si elle est profonde ou superficielle. Si elle est interne, externe, ou les deux à la fois. Par exemple, si la fissure est uniquement interne elle peut correspondre à un déplacement du coffrage ainsi que tout autre facteur tendant à faire varier le volume de la masse du béton ; on peut citer parmi ces facteurs les variations de température, d'hygrométrie, ou les réactions chimiques. De même, les fissures superficielles ont un rapport avec le retrait.
- Si l'emplacement de la fissure correspond à quelque variation de la distribution ou de la proportion d'armature ou à un changement de section.
- Si le réseau de fissuration est en rapport avec la cadence de bétonnage, avec un élément de l'ouvrage ajouté ultérieurement, ou avec quelque changement d'utilisation ou de destination.
- Si la dégradation semble récente ou ancienne, ou la dégradation cesse, et pourquoi.

## Conclusion



### Références bibliographiques

- ✓ DOUAISSIA Zineb, « PRINCIPE ET APPLICATION D'UN PROGRAMME CREE POUR DIAGNOSTIQUER LA CAUSE DE DETERIORATION D'UN OUVRAGE EN BA », Colloque National : Pathologie des Constructions : Du Diagnostic à la Réparation, Uiv . de Constantine, Nov. 2008
- ✓ BARON J. & OLLIVIER J. P., «La durabilité des bétons», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1996, 453 p.
- ✓ Guettala A. et Benmebarek S., « DIAGNOSTIC ET REPARATION D'UN PONT EN BETON ARME », 2e Conférence spécialisée en génie des matériaux de la Société canadienne de génie civil, Montréal, Québec, Canada, 5-8 juin 2002.



- *Université de Médéa*
- *Département de Génie de la Matière*
  - *Filière Génie Civil*

SAHLA MAHLA

المركز الأول للطالب الجزائري  
Réparation et protection des constructions



## Chapitre 3: Matériaux d'intervention

Cours de Master 2 / GC

Dr. F. Debieb



# Principes de base pour une réparation durable

- Sélection appropriée des matériaux
- Utilisation des matériaux suivant les règles de l'art
- Préparation des surfaces
- Techniques d'application
- Mûrissement de la réparation
- Contrôle qualité



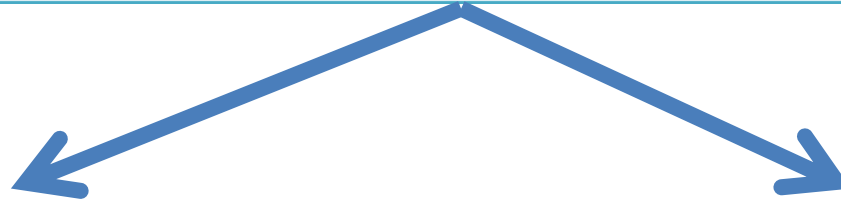
Chaque technique d'intervention (de réparation) sur un ouvrage



Propre à une situation réelle de l'ouvrage et de son environnement



Ceci demande un matériau ou un système de matériaux adapté



**Matériau préfabriqué**

- Éle métallique
- Éle préfabriqué en Béton

**Matériau formé sur place**

Grace a des modifications physico-chimiques de l'un des composant (à savoir le liant)



Chaque matériau = formulation

Liant  
Constituant principal

Divers éléments de proportion  
(0 - 95%)

Rôle

Assurer la cohésion du matériau  
et son adhésion à un support

- Améliorer les propriétés mécaniques (agrégats + fibres)
- diminuer le prix d'un volume de formulation
- faciliter la mise en œuvre
- protéger le liant avant ou après mise en œuvre (additif fongicide, anti-oxydant, ..)

Les liants peuvent être classés selon plusieurs modes:

• **Selon la nature chimique:**

- Liants minéraux (ciments, silicates);
- Liants organiques (polymère, bitume);

• **selon le type de réaction lors de la mise en œuvre (liquide → solide)**

- Liants non réactifs (pas de réaction chimique) =
  - \*) Liants polymériques non réactifs (thermoplastiques – chaîne libre)
  - \*) liants hydrocarbonés (goudron et bitumes)
- liants réactifs : formés par les réactions chimiques

• **Combinaison des 2 classements =**

- liants réactifs minéraux (liant hydraulique)
- liants réactifs organiques (résine + durcisseur)

• **Liants mixtes (L. Hydraulique + L. Organique) → Liants hydrauliques modifiés (LHM)**

Fort utilisé dans la réparation et la protection des structures en BA

## Formulation

- Liants;
- Constituants provisoires:
- Charges, pigments et additifs divers.

SAHLA MAHLA

المصدر الأول للطالب الجزائري





- **Université de Médéa**
- **Département de Génie de la Matière**
  - **Filière Génie Civil**

# SAHLA MAHLA

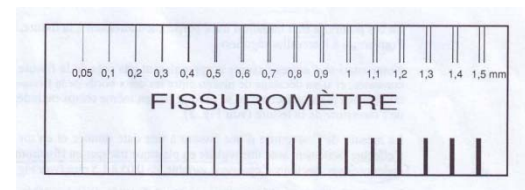
## Réparation et protection des constructions

المركز الأول للطالب الجزائري

### Chapitre 4: Traitement des fissures

Cours de Master 2 / GC

Dr. F. Debieb



# Pathologies des éléments en béton

## ☐ Effets

SAHIL MAHILA

○ Fissuration

المصدر الأول للبناء الجزائري

○ Epaufrures

○ Désintégration



## ☐ Cause première: eau

## ☐ Autres Causes

○ Corrosion des armatures

○ Mécanismes de désintégration

○ Effets de l'humidité

○ Fautes de réalisation

# **1. La fissuration du béton armé peut avoir deux origines bien distinctes et indépendantes l'une de l'autre:**

**a- La fissuration liée à la mise en œuvre et à la qualité du matériau: FISSURATION ACCIDENTELLE**

**b- Les fissurations liées au fonctionnement de l'ouvrage:**

- **FISSURATION FONCTIONNELLE « Mécanique »**
- **FISSURATION FONCTIONNELLE « Thermique ».**

Les fissures peuvent présenter plusieurs aspects: ou caractéristiques

- Fissures passives ou actives;
- Fissures sèches ou humides;
- Fissures fine ou larges;
- Fissures non traversante ou traversante;
- Fissure unique, répétée ou ramifiées avec communication entre les diverses fissures;
- Microfissures et faïençages,

## Fissuration accidentelle

Les principales causes de fissuration accidentelle - précoce ou plus tardive – sont :

1. **Le ressuage:** l'exsudation superficielle d'une partie de l'eau de gâchage à la surface du béton frais s'accompagne d'un tassement qui peut créer des fissures au droit des obstacles s'opposant au mouvement, L'ouverture de ces fissures peut atteindre plusieurs millimètres et entraîner la corrosion des armatures

2. **Le retrait plastique:** Il s'agit d'un phénomène exogène de dessiccation qui se produit avant et pendant la prise du béton.

**La fissuration plastique affecte les bétons de qualité médiocre.**

**Le retrait thermique** après prise : la prise du ciment étant une réaction exothermique, elle s'accompagne d'un important dégagement de chaleur (plusieurs dizaines de degrés) qui chauffe le béton. Après la prise, le refroidissement du béton se traduit donc par un retrait thermique qui peut provoquer l'apparition de fissures. Le risque dépend notamment de l'épaisseur des ouvrages: au-delà de 80cm notamment.

**Le retrait hydraulique:** ce retrait différé s'exerce sur une période de 1 à 2 ans après la mise en oeuvre. Il est directement lié au départ de l'eau libre du béton (excédant d'eau de gâchage nécessaire à l'ouvrabilité du béton mais n'entrant pas dans sa constitution)

Les fissures accidentelles n'ont en elles-mêmes aucun caractère de gravité. Elles peuvent cependant avoir des conséquences néfastes sur les ouvrages eux-mêmes ou les éléments qui leur sont associés :

- Corrosion des armatures si leur ouverture est importante
- Infiltration d'eau, notamment si elles sont traversantes
- Désordres causés à des revêtements rapportés ...

• **Les ouvertures limites des fissures selon la sensibilité des armatures à la corrosion**

• **L'intérieur des bâtiments est considéré comme ambiance non sévère.**



## Fissuration fonctionnelle mécanique

Le principe même du fonctionnement des ouvrages en béton armé est basé sur la médiocre résistance du béton en traction. Celle-ci est compensée par les armatures placées dans les zones tendues. La sollicitation des armatures en traction suppose donc la fissuration du béton.

SAHILA MAHILA

المصدر الأول للطالب الجزائري



Lorsque ces fissurations sont conformes au schéma de calcul, il n'y a pas de danger ni de désordres. Les fissures fonctionnelles d'un ouvrage en béton correctement dimensionné et mis en œuvre sont par nature compatibles avec un bon comportement. La seule anomalie peut donc provenir d'une ouverture excessive des fissures qui indique obligatoirement le dépassement des sollicitations prises en compte.

## Fissuration fonctionnelle Thermique

La plupart des ouvrages en BA sont soumis à des variations de température qui se traduisent par des dilatations et rétractions. Lorsque ces mouvements sont gênés ou empêchés par des éléments de structure ou lorsque les joints de dilatation sont trop espacés, les raccourcissements s'effectuent au prix de fissures.

Lorsque la répartition des joints a été déterminée sur la base des valeurs forfaitaires couramment utilisées, sans tenir compte du fonctionnement réel du bâtiment, l'espacement retenu peut s'avérer insuffisant et entraîner une fissuration de retrait thermique.

## 2. Caractéristiques des fissures

### a) Caractéristiques géométriques

- **Ouverture**: c'est la largeur entre lèvres: évaluée à l'œil ou moyennant le fissuromètre.
- **Tracé**: il est définie par son orientation (indique souvent l'origine de la fissure) et sa longueur développée
- **Profondeur**: -/ fissure traversante = si elle est visible sur deux au moins axes  
-/ fissure de surface = qd son ouverture est max en surface et nulle à l'int

### b) Classification des fissures

- **Faïençage**: réseau d'ouvertures linéaires superficielles de très faibles largeur ( $<0.2 \mu\text{m}$ ) sur la couche du béton
- **Microfissures**: fissures très fines au tracé +/- régulier et le plus souvent discontinu et de très faibles largeur ( $<0.2 \mu\text{m}$ ) mais plus profonde que le faïençage
- **Fissures**: ouverture linéaire au tracé +/- régulier dot la largeur est au oins  $0.2 \mu\text{m}$

### 3. Evolution de la largeur des fissures

Selon le comité Européen de Normalisation (CEN) on peut retenir les définitions suivants:

#### Fissure passive (morte):

L'ouverture de la fissure ne varie pas dans le temps. Autrement dit, c'est une fissure qui ne cause pas la fissuration d'un témoin en plâtre placé sur cette fissure.

#### Fissure active:

Cette fissure continue à évoluer dans le temps. Exemple: fissure due à un tassement différentiel des fondations.

#### Fissure stabilisée:

Cette fissure évolue dans le temps dans des limites connues. Souvent son mouvement suit une variation cyclique, liée aux variations thermiques (dilatations) ou hygrométrique (variation de l'humidité) que subit l'ouvrage.

#### Fissure acceptable:

Fissure contrôlée adéquatement par le renforcement et qui ne conduit pas à la corrosion des armatures

#### Fissure à traiter:

Fissure qui diminue la capacité portante, ou qui peut conduire à la corrosion de l'armature, ou qui réduit la résistance au passage

## 4. Examen préalable des dommages

Observer ou rechercher le type d'ouverture à traiter : largeur, profondeur, disposition et nombre des ouvertures (fines fissures isolées ou en réseau, larges fissures, joints de reprise, nids de gravier, .....

Rechercher les causes de la fissuration afin de contrôler si les causes ont disparue, sinon prendre toute disposition afin de les éliminer ou de les neutraliser.

Contrôler si la fissuration est active ou stabilisée. Les fissures actives ne seront traitées qu'avec prudence et une attention particulière sera portée à l'efficacité et à la prévision de durabilité du traitement.

## 5. Contrôle de l'activité d'une fissure

Le contrôle de l'activité d'une fissure s'effectue par le collage de témoin sur chaque face de la fissure

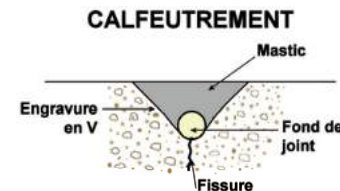
- **témoin en plâtre;**
- **Collage de témoin de part et d'autre de la fissure et mesure de l'évolution de la distance entre repère:**
  - mesure ponctuelle (déformètre à comparateur)
  - ou enregistrement continu (déformètre à capteur capacitif ou potentiométrique relié à un enregistreur)

## 6. Techniques de traitement des fissures

Selon la situation (type de fissures, activité, type de structure et type d'environnement), et l'objectif de l'intervention (monolithisme, étanchéité, protection, ...), il y aura lieu de choisir une technique d'intervention parmi les techniques suivantes:

- a) **Injection;**
- b) **Calfeutrement;**
- c) **Pontage et protection locale;**
- d) **Protection générale;**
- e) **Agrafage;**
- f) **Post-contrainte (additionnelle).**

## 7. Traitement des fissures par calfeutrement



Le calfeutrement est un colmatage (bouchage) des fissures avec des produits souples ou Rigides pour rétablir une étanchéité à l'air ou à l'eau. Il s'applique aux fissures qui ne mettent pas en jeu la résistance de l'ouvrage (fissures des dalles, faïençage, etc. ..)

### Rôle:

Avant de traiter une fissure par calfeutrement, il faut créer une saignée suffisamment large de façon que le mastic puisse absorber les mouvements de la fissure

### Procédure:

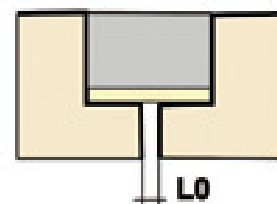
- ✓ Ouverture d'une saignée le long de la fissure;
- ✓ Élimination de la poussière par brossage ou soufflage;
- ✓ Nettoyage et séchage des lèvres de la fissures;
- ✓ Mise en place d'un fond de joint et des ruban adhésifs pour délimiter la largeur de calfeutrement.

### Mise en œuvre du produit:

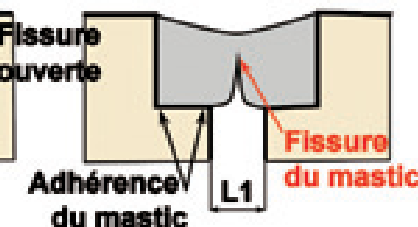
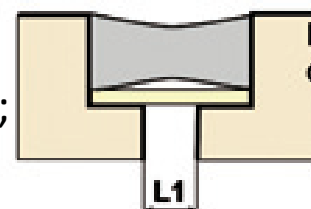
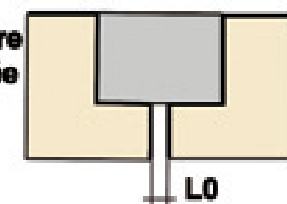
- ✓ Manuellement (truelle, langue de chat, spatule, couteau)
- ✓ À l'aide d'un pistolet pour les mastics en cartouche.



Calfeutrement avec fond de joint



Calfeutrement sans fond de joint



## 8. Traitement des fissures par pontage et protection localisée

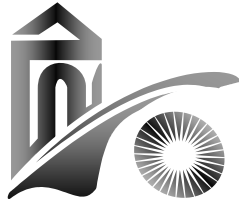
Consiste a recouvrir

SAHLA MAHLA

المصدر الاول للطالب الجزائري







- **Université de Médéa**
- **Département de Génie de la Matière**
- **Filière Génie Civil**

# SAHLA MAHLA

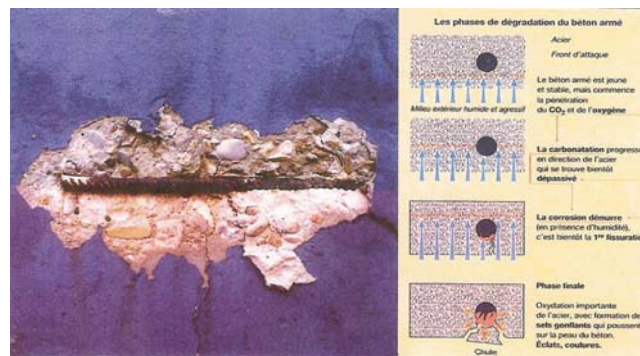
## Réparation et protection des constructions

المركز الأول للطالب الجزائري

### Chap 5: Traitement des Epaufrures et des désagrégations

Cours de Master 2 / GC

Dr. F. Debieb



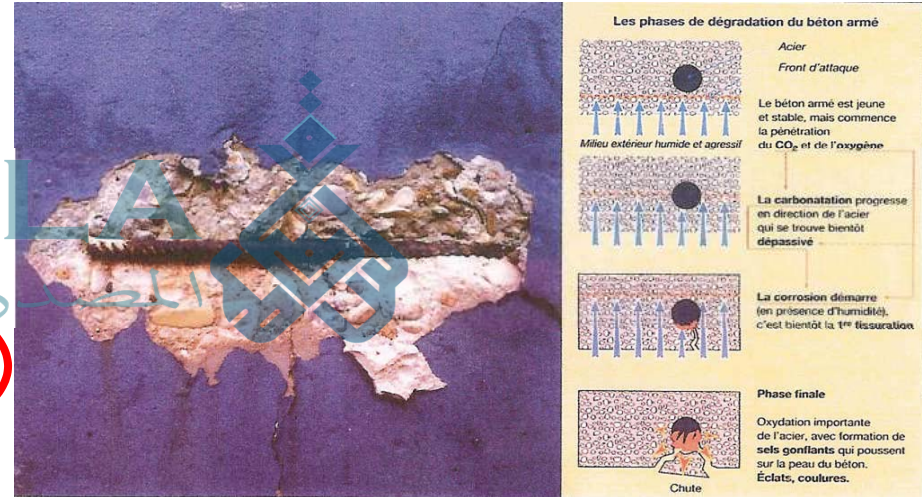
# Pathologies des éléments en béton

## ☐ Effets

○ Fissuration

○ Epaufrures

○ Désagrégation



## ☐ Cause première: eau

## ☐ Autres Causes

- Corrosion des armatures
- Mécanismes de désintégration
- Effets de l'humidité
- Fautes de réalisation

## Définition

Les épaufrures correspondent à un éclatement du béton avec chute de fragments laissant souvent les armatures oxydées apparentes; les épaufrures sont logiquement la suite logique de la corrosion des armatures de peau.

## Position

Souvent les épaufrures se trouvent sous les faces des balcons, dalles, les éléments Minces (voiles, linteaux) et de rives (poutres, acrotères...

## Techniques de réparation

La technique la plus utilisée est le ragréage : consiste à reconstituer une partie de béton détérioré en appliquant un nouveau mortier ou résine

## Nature des produits utilisés

- Les mortiers avec des ciments classiques ou spéciaux (prompt, alumineux, ..)
  - Les résines époxydiques
  - Les liants mixtes: hydrauliques + époxy
- remarque: dans ce cas de produits le dosage est délicat et il est conseillé

d'employer des mortiers prédosés,

# Principes du traitement

## a) Préparation du support

- élimination du béton endommagé (carbonaté) et non adhérent jusqu'à mise à nu du béton sain.
- Élimination de la peinture, poussière, huile, graisse et débarrasser les aciers de la rouille.

### La préparation du support se fait par:

- ✓ Burinage, repiquage au marteau, sablage ou dépoussiérage à l'eau ou à l'air comprimé pour le béton,
- ✓ Burinage, brossage, sablage pour les armatures,

### Remarque:

Avant le traitement des armatures corrodées il est conseillé un dégagement par burinage d'un minimum de 2cm derrière l'armature,.

## b) Application d'une couche d'accrochage

- La couche d'accrochage a une fonction de coulage entre le vieux béton et le mortier de réparation,.
- Elle est à base de résine époxy (primaire) si elle devrait assurer la protection des armatures (passivation).

- Elle est à base de liant hydraulique (mortier d'accrochage), avant l'application de la couche D'accrochage, il faut humidifier la surface (éviter l'excès d'eau) pour les mortier à base de liant hydraulique ou mixtes (liant + résines) par contre pour les résines il faut que la surface Soit sec.

### c) Mise en œuvre du mortier de réparation

- Le mortier de réparation est appliqué immédiatement après l'application de la couche D'accrochage (s'il est appliqué sur un primaire époxy celui-ci doit être encore poisseux (collant ou gluant).
- Un bon compactage s'impose du pt de vue adhérence et étanchéité.

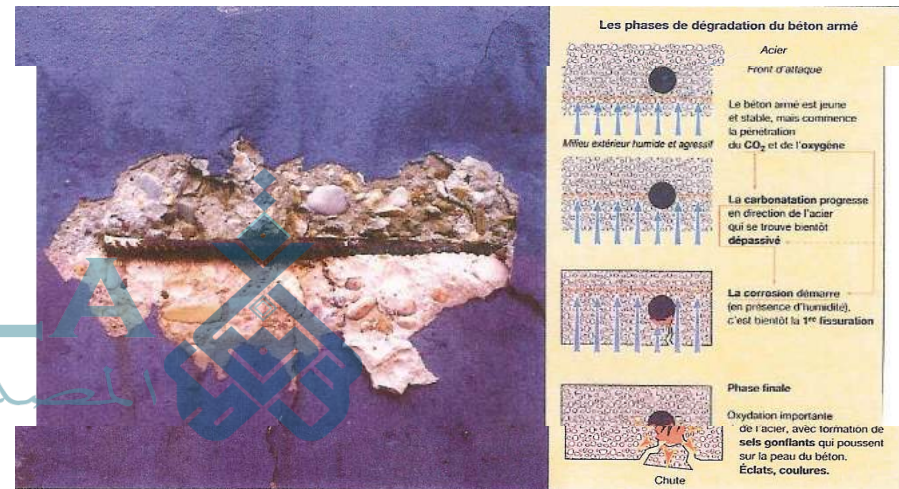
le mortier de réparation doit respecter certain critères:

- une tenue verticale sans coffrage
- Adhérence supérieur a la cohésion du support
- L'imperméabilité à l'eau et aux agents agressifs
- Un coefficient de dilatation thermique équivalent au Béton support,

## Cas de dégradation

- Cause : manque d'enrobage

SAHLA MAHLA  
المصدر الأول للطالب الجزائري



## Traiter

- Objectifs
  - Arrêter la corrosion des armatures
  - Prévenir l'apparition de nouveaux désordres
  - Etre efficace et durable
  - Restaurer l'esthétique du bâtiment
  - Redonner le milieu alcalin (pH >13)
- D'où une méthodologie spécifique

## Méthodologie de réparation

- Préparer soigneusement le support
  - Purger le béton dégradé
  - Dégager les armatures
  - Eliminer la rouille
- Ne jamais laisser les armatures brossées ou sablées sans protection

## Protéger les armatures

- Primaires d'accrochage
- Produits anticorrosion
- Produits passivant
- Peintures
- Exemples de fournisseurs
  - Sika (Monotop610 AC)
  - MBT France (Masterseal 300 MC)
  - Lanko (Lanko 670 Passivant )
  - Weber et Broutin (Madafer)

## Mise en oeuvre (mortier hydraulique)

- Support propre et dépoussiéré
- Humidifier les parties à réparer
- Attention à la température (gel, canicule)
- Tourner avec le soleil
- En cas de vent
  - Produits de cure éliminé avant peinture



## La finition et la protection

- La durabilité de la réhabilitation
  - Dépend du choix technique
  - De sa mise en œuvre (appliqueur)
- Application de peintures (genre RPE)
  - Imperméabilisant
    - Laisser respirer le support
- Etendre la finition dans les zones non touchées (action préventive)



# Exemple de réparation



# Normalisation NF P 95-101

AFNOR NF P 95-101 93 1012372 0479223 179

ISSN 0335-3931

norme française

NF P 95-101  
Novembre 1993

Indice de classement : P 95-101

Ouvrages d'art

Réparation et renforcement  
des ouvrages en béton et en maçonnerie —  
Reprise du béton dégradé superficiellement

Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés

- E : Engineering structures — Repair and strengthening of concrete and masonry constructions — Consolidation of the deteriorated concrete skin — Specification pertaining to the technique and the materials used  
D : Bauwerke — Instandsetzung und Verstärkung von Bauwerken aus Beton und Mauerwerk — Verstärkung des beschädigten Betons — Spezifikationen über die angewandte Technik und die eingesetzten Werkstoffe

Norme française homologuée par décision du Directeur Général de l'AFNOR le 5 octobre 1993 pour prendre effet le 5 novembre 1993.

correspondance

À la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux internationaux ou européens sur le même sujet.

analyse

Dans la série des normes P 95-101 à P 95-107 qui concernent les techniques de réparation d'ouvrages d'art, le présent document définit les spécifications relatives aux techniques et aux matériaux utilisés pour la reprise du béton dégradé.

descripteurs

Thésaurus International Technique : ouvrage, réparation, renforcement, béton, constituant, mise en œuvre, essai, contrôle, réception, hygiène, sécurité.

modifications

corrections

éditée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), tour europe cedex 7 92049 paris la défense — tél. : (1) 42 91 55 55

AFNOR 1993

© AFNOR 1993

1<sup>er</sup> tirage 93-11

Cours Master 2 / réparation / 2012-13



- **Université de Médéa**
- **Département de Génie de la Matière**
  - **Filière Génie Civil**

**SAHLA MAHLA**

*Réparation et protection des constructions*

Chap 6: Techniques d'intervention en vue d'assurer

La protection des armatures

Cours de Master 2 / GC

Dr. F. Debieb



Un acier mis au contact d'un béton qui a une forte basicité (pH de l'ordre de 13 ) et qui n'est pas pollué par des chlorures, se recouvre d'oxydes protecteurs. Si son enrobage est chimiquement modifié, cet acier se recouvre de produits " intermédiaires " qui ne sont pas stables en présence d'oxygène dissous dans le béton. Ils se transforment en des produits " finaux " non protecteurs, ce qui conduit à la dissolution et à l'enrouillement continu de l'acier.

SAHILA MAHILA  
المصدر الاول للطلاب الجزائري

**Les bétons armés sont au contact d'un milieu naturel : atmosphère, eaux ou sols. Ces milieux contiennent souvent des produits qui sont agressifs vis-à-vis du béton ou des armatures. Ainsi, les sulfates contenus par exemple dans l'eau de mer et les eaux séléniteuses peuvent provoquer le gonflement du béton, s'ils sont en quantité suffisante. Mais les agents qui sont à l'origine de la corrosion des armatures sont surtout le dioxyde de carbone et les chlorures.**

Le dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$  pénètre sous forme gazeuse dans le béton. Il provoque une réaction, dite de carbonatation, avec l'eau interstitielle. Le front de carbonatation avance progressivement à partir du parement. Il transforme les hydroxydes [surtout, la chaux  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] en carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) et abaisse le pH de la solution interstitielle depuis environ 13 jusqu'à environ 9. Ceci dégrade la passivation des armatures.

**Bâtiments** : acrotères et balcons, dans toutes les atmosphères, éléments verticaux et terrasses, en milieu industriel et maritime. Ce sont bien sûr les éléments les plus sensibles des bâtiments, du fait soit de leur minceur, soit de la difficulté à maintenir des enrobages suffisants.

المصدر الأول للطالب الجزائري



*Eclats en formation*

**Bâtiments industriels** : poteaux et dalles. Ces éléments sont en effet soumis assez souvent à des expositions d'agents chimiques. Les poutres sont également des éléments particulièrement sensibles des constructions industrielles, car supportant parfois les dalles de plancher. Certaines d'entre elles sont parfois dans des états assez surprenants.



*Poutre support de réservoir*

**Parkings :** poutres et dalles, en milieu maritime ou montagneux. Cela est lié dans les deux cas à la présence des chlorures (provenant respectivement de l'eau de mer et des sels de déverglaçage).

SAHIL MAHLA  
صدر الأول للطالب الجزائري



*Poteau porteur sous garage*



*Poteau support de ligne électrifiée*

**Composants de structures préfabriquées :** il ne semble pas que des problèmes importants soient à signaler dans cette rubrique, du fait probablement que les bétons sont mieux soignés et mieux mis en œuvre. Toutefois, les poteaux de lignes électriques par exemple semblent être un objet de préoccupation. Il existe également une importante pathologie touchant divers éléments de construction, due à l'utilisation dans les années 60-80 d'accélérateurs de prise à base de chlorures de calcium. Cela concerne des panneaux de façade, des acrotères, jardinières, etc.

**Ponts et ouvrages d'art :** dans cette catégorie d'ouvrages, il apparaît que les zones les plus sensibles soient les tabliers, les appuis en superstructures, et les équipements de tablier où l'influence des sels de déverglaçage est importante.



Pile de pont

**Réservoirs (enterrés, au sol, aériens) :** le principal problème de ces structures est lié aux circulations d'eau dues soit à la présence de fissures d'origines diverses (thermiques, mécaniques,...) ou de défauts d'enrobages des armatures, notamment si le milieu contient des sels agressifs (chlorures notamment). Sur les structures existantes souffrant de fissures, ou de fuites diffuses, les réparations consistent à colmater les défauts ou à installer une étanchéité.

**Silos :** les silos pour le stockage des matériaux granuleux ou poudreux (céréales, ciments,...) sont soumis à de fortes contraintes, notamment pendant les périodes de chargement et de déchargement. Ces contraintes induisent des fissures, verticales ou horizontales. Celles-ci peuvent être à l'origine de pénétration d'eau, engendrant une corrosion des armatures.

## **Aéroréfrigérants industriels, de centrale**

**nucléaire** : ces structures sont soumises à un environnement sévère (brouillard d'eau sous forme de vapeur ou de gouttelettes entraînées à l'intérieur, soleil, pluie ou gel à l'extérieur) engendrant des contraintes amorçant des fissures. Par ailleurs le fort gradient hydrique est à l'origine d'un transfert de vapeur d'eau pouvant être la source d'altération du béton.



*Paroi d'aéroréfrigérant*

**Cheminées** : les cheminées (industrielles notamment) sont soumises à un environnement très sévère, acide particulièrement (acide sulfurique et acide chlorhydrique).

**Structures portuaires** : celles situées en bord de mer souffrent de l'agression due aux chlorures. L'intensité de la corrosion est liée à l'agressivité du milieu (zone de marnage, d'éclaboussures, d'embruns). Des défauts d'enrobage ou de qualité du béton sont alors immédiatement mis en évidence.



*Pile en zone de marnage*



## Canalisations en béton armé et précontraint :

la plupart sont enterrées, et des ruptures surviennent lorsque la protection du béton n'est plus suffisante (défauts locaux d'enrobage, présence de chlorures).



*Tuyau en béton armé*

## Monuments historiques protégés

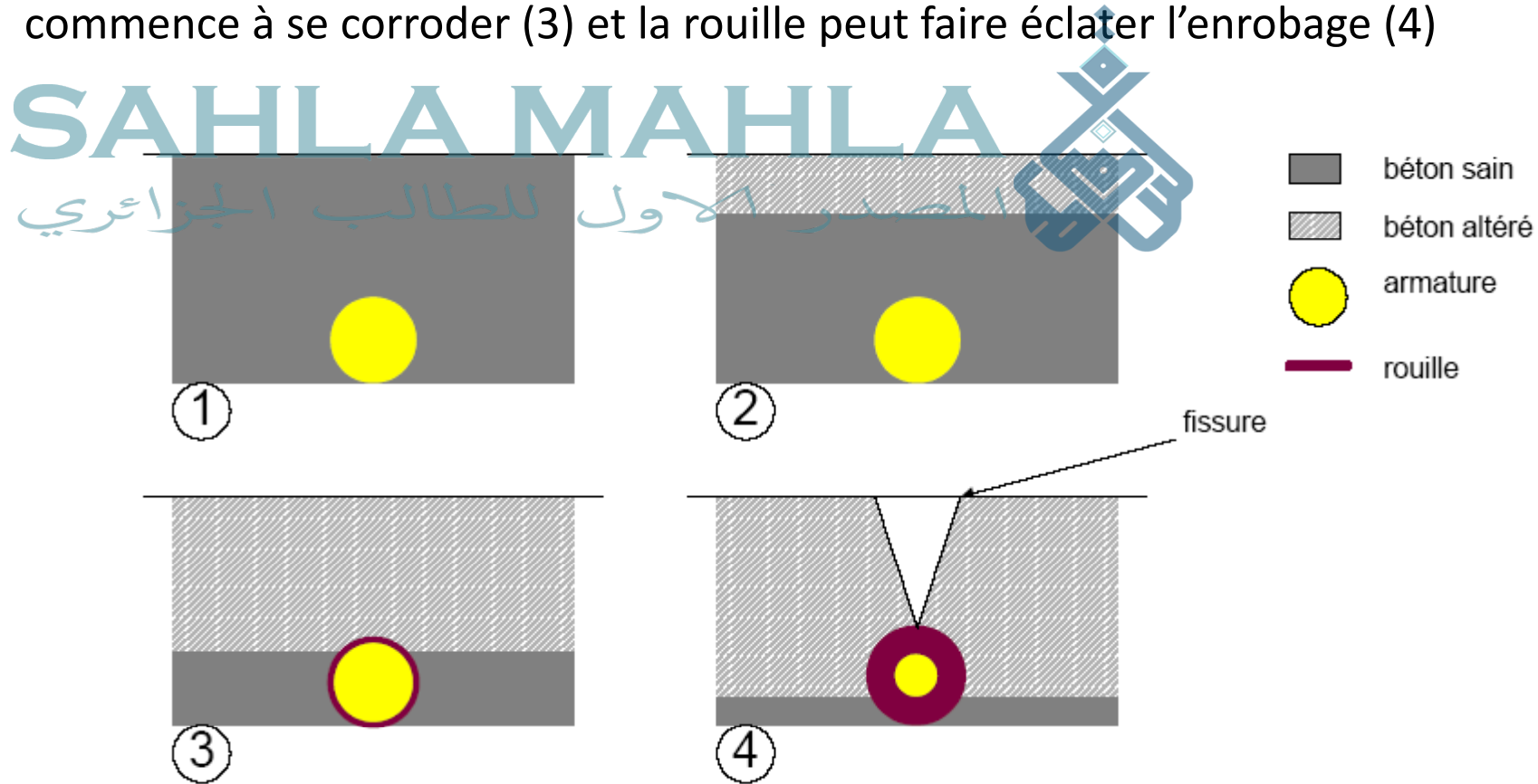
(Mosquée, églises ou autres), en béton armé, de plus en plus nombreux, qui possèdent leurs contraintes propres, notamment en termes de réparation.



*Parement en béton armé dans un monastère classé*

## Dégradation béton due à la corrosion

Cette dégradation procède par étape : dans le béton sain (1), un agent agressif pénètre progressivement (2), lorsque sa teneur est assez forte, l'armature commence à se corroder (3) et la rouille peut faire éclater l'enrobage (4)



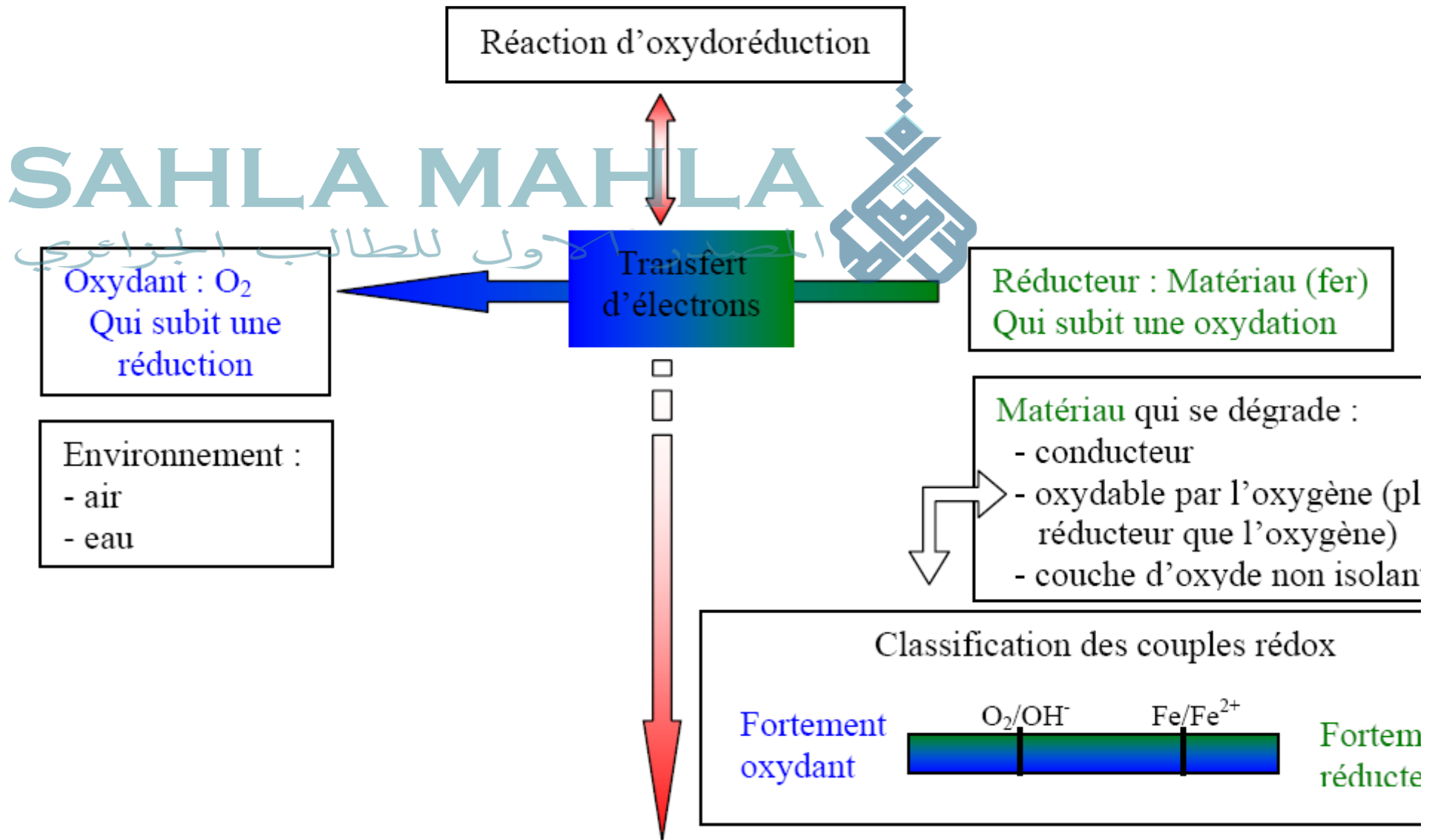
La corrosion des armatures a souvent pour conséquences des symptômes visibles sur le parement, tels que des éclats, épaufrures, taches de rouille. Dans certaines circonstances, toutefois, une délamination dans le lit des armatures peut se produire, sans signes apparents de corrosion.

La forme, l'étendue des désordres, leur intensité dépendent à la fois de la position des armatures (enrobage, et espacement), de la qualité du béton d'enrobage (compacité et homogénéité), et de l'environnement (nature de l'agent agressif : chlorures).

Ainsi, lorsqu'une corrosion se manifeste, il est raisonnable de s'attendre à ce que le processus de dégradation s'étende au delà de la dégradation visible.

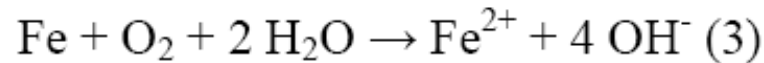
La plupart des méthodes d'investigation sont donc orientées vers la détermination de caractéristiques liées à ces paramètres.

# Corrosion = dégradation du matériau



Dégradation du matériau qui est oxydé par l'oxygène

## Mécanisme d'oxydoréduction



⇒ Le fer en s'oxydant libère deux électrons qui sont acceptés par l'oxygène qui se réduit, le fer provoque donc en s'oxydant une réduction, il est donc un réducteur.

⇒ **Un réducteur est une espèce chimique qui, en subissant une oxydation, provoque une réduction**

⇒ L'oxygène en se réduisant accepte deux électrons qui ont été libérés par le fer qui s'est oxydé, l'oxygène provoque donc en se réduisant une oxydation, il est donc un oxydant.

⇒ **Un oxydant est une espèce chimique qui, en subissant une réduction, provoque une oxydation.**

## La réaction

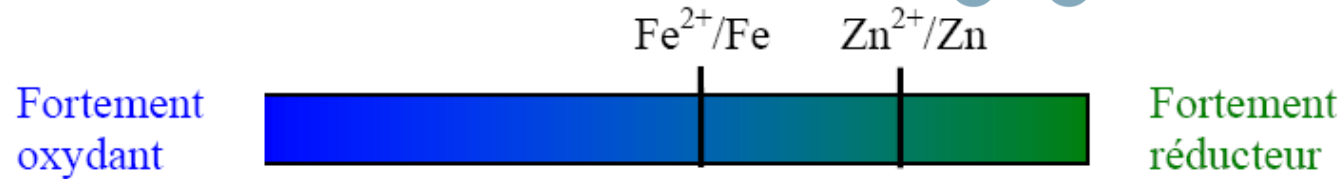
⇒ Une réaction d'oxydoréduction ou rédox :

- est une réaction **globale composée de deux demi-réactions, celle d'oxydation (équ.1) et celle de réduction (équ.2).**
- est une réaction où il y a **transfert d'électrons** et donc une réaction au cours de laquelle les **nombre d'oxydation changent.**

## Comment éviter la corrosion du fer ?

Par galvanisation (recouvrement) ou  
Par anode sacrificielle (mise en contact)

Avec un métal (Zn) plus réducteur que le fer qui s'oxyde donc à la place du fer



## L'objectifs du diagnostic de corrosion

Les objectifs d'un diagnostic de corrosion sont :

- l'identification de l'origine (carbonatation, chlorures externes ou internes, autres),
- l'évaluation de l'étendue dans l'espace,
- la prédiction de l'évolution probable, dans le temps ou dans l'espace,
- l'estimation des conséquences sur la sécurité de l'ouvrage ou des personnes,
- la définition des suites à donner et entre autres le principe des solutions de réparation.

**L'ingénieur chargé des opérations de diagnostic doit avoir des compétences sur la physico-chimie des matériaux, l'instrumentation, les méthodes de réparation et de traitement. Dans les cas délicats, il devra s'associer avec un ingénieur spécialiste des structures (pour les problèmes d'ordre mécanique), ou un ingénieur chimiste de laboratoire (pour les problèmes liés aux gonflements du béton, etc.).**

## L'Inspection

L'inspection proprement dite comprend le relevé, éventuellement sur plans, de tous les

désordres visibles, et de tous renseignements utiles quant à l'aspect du parement :

- la présence d'anciens revêtements, ou de produits d'imprégnation,
- l'apparence de la surface du béton, stalactites, efflorescences, traces de rouille,
- la présence de fissures, (ouverture, réseau),
- la détérioration de la peau du béton,
- les armatures apparentes et les épaufrures,
- la déformation de la structure,
- la détection des zones sonnant creux,
- les traces d'humidité.



# Mesures relatives aux armatures

## 1. Mesure de l'enrobage des armatures

L'enrobage des armatures est un paramètre déterminant dans les phénomènes de corrosion.

Ces techniques, dont les performances sont fonction de leur principe de base, permettent d'accéder aux informations suivantes :

- enrobage (profondeur),
- estimation du diamètre des armatures,
- présence d'armatures adjacentes,
- reconnaissance du profil de l'acier.



## 2. Estimation des surfaces corrodées et évaluation des risques de corrosion : mesures de potentiel

Parmi les méthodes électrochimiques pouvant être appliquées à la détection du risque de corrosion des armatures dans le béton, les mesures de potentiel sont les plus utilisées et les plus connues, du fait de leur simplicité et de leur caractère non destructif. Cette méthode permet une évaluation des risques de dépassement des armatures.



### 3. Estimation de la vitesse de corrosion

Une autre méthode électrochimique permet d'estimer la vitesse de corrosion instantanée des armatures en une zone donnée.



SAHILA MAHLA  
المصدر الأول للطالب الجزائري

## ANALYSES ET ESSAIS DE LABORATOIRE

### a) Prélèvements

Des prélèvements sont effectués, si nécessaire, dans des zones représentatives des états de dégradation, par carottage ou forage.

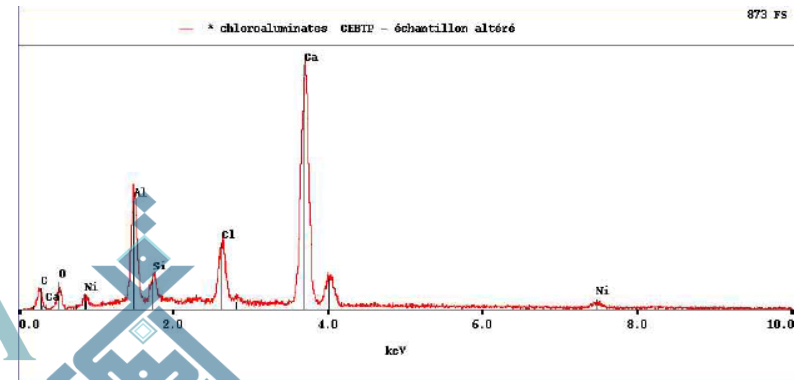
Le forage est utilisé, par exemple, pour estimer la pénétration des chlorures. Dans ce cas, il concerne des profondeurs successives, de l'ordre du centimètre.



## b) Caractérisation chimique

Les caractéristiques chimiques du béton d'enrobage sont déterminées sur les prélèvements :

- analyse chimique globale
- dosage des chlorures totaux et des chlorures libres (solubles dans l'eau).
- dosage des sulfates,
- autres déterminations particulières (par exemple, les sulfures).



## c) Caractérisation physique

Les caractéristiques physiques du béton d'enrobage sont surtout liées à leur résistance à la pénétration (transfert) des fluides :

- porosité à l'eau (éventuellement au mercure),
- perméabilité,
- diffusivité des corps tels que les chlorures,
- absorption capillaire,
- résistances mécaniques et éventuellement d'autres caractéristiques.

### Remarque

**Le béton peut également être affecté par d'autres pathologies telles que l'alcaliréaction, les réactions sulfatiques, ou le gel. En cas de doute, des investigations supplémentaires sont nécessaires pour identifier l'origine de la pathologie.**

## RAPPORT DE DIAGNOSTIC

Le rapport de diagnostic présente l'ensemble des résultats et leur interprétation, mais doit être compréhensible par un non initié.

Il comprend :

- l'identification de la structure, le nom du demandeur,
- l'identification du laboratoire (ou de l'ingénieur) chargé de l'étude, la date,
- une brève description de la structure,
- le rappel des objectifs de l'étude,
- la liste des documents consultés,
- les résultats de l'inspection détaillée,
- les résultats des essais in situ et de laboratoire,
- une discussion sur l'origine des désordres, leur étendue, leur évolution probable, et leur incidence sur la sécurité,
- des conclusions claires sur les désordres constatés et des propositions éventuelles de complément d'étude,
- une liste des priorités des réparations et travaux à effectuer,
- des recommandations relatives aux méthodes de réparation les plus adaptées.

# LES METHODES DE REHABILITATION

## A/ RECONSTITUTION DE L'ENROBAGE

La reconstitution du parement a pour objectif de restaurer l'apparence du béton, tout en arrêtant le processus de corrosion et en rendant à la structure son intégrité. Il s'agit de réparations à caractère discontinu, ponctuel et superficiel,

### A.1. Elimination des zones dégradées

Avant de réparer les zones dégradées (armatures apparentes, éclatements de béton, traces de rouille, etc.), les revêtements en place doivent être retirés, sur toute la surface, par un moyen mécanique ou chimique. Les produits de démolition doivent être mis en décharge ou recyclés, en conformité avec les textes réglementaires en vigueur sur la protection de l'environnement.

**Pour traiter les armatures corrodées, il convient de les dégager par burinage, repiquage ou bouchardage, jet d'eau ou sablage.**

## A.2/ Remplacement des armatures fortement corrodées

A cette étape des travaux, un contrôle du diamètre résiduel des armatures les plus fortement attaquées sera effectué (à l'aide d'un pied à coulisse par exemple).

Les armatures supplémentaires de même nature seront mises en place, par scellement ou soudure, afin de restituer la section initiale, avec une tolérance de 5%, en tenant compte des longueurs d'ancrage et de recouvrement, et des armatures de couture. Dans le cas de soudures, celles-ci devront être effectuées, selon les normes en vigueur, après que la soudabilité de l'acier ait été vérifiée.

## A. 3/ Protection des armatures

La protection des armatures consiste à appliquer sur toute la surface de celles qui sont dégagées (périphérie complète), un produit assurant une protection vis-à-vis de la corrosion.

Cette application doit suivre immédiatement le décapage, car l'oxydation des armatures risque de s'amorcer et de compromettre la bonne tenue de la réparation.



## A. 4 /Etape de la réparation des bétons

La réparation des bétons consiste à rétablir l'enrobage des armatures par la mise en oeuvre de mortier. Ce dernier doit respecter les critères :

- de tenue verticale sans coffrage,
- de montée en résistance rapide et de résistance mécanique supérieure au béton support,
- d'adhérence supérieure ou égale à la cohésion du support,
- d'imperméabilité à l'eau et aux agents agressifs,
- de coefficient de dilatation thermique et de module d'élasticité dynamique équivalent au béton support,
- de bonne protection des aciers.



## Les Normes

Les principales normes relatives aux produits de réparation sont les suivantes :

Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique			
N° de normes	Titre	Nature du liant	Année
NF P 18-800	Définitions, classification, conditionnement, marquage, conditions de réception	H – R	1989
NF P 18-802	Contrôle sur chantier	H – R	1992
Produits ou systèmes de produits destinés aux réparations de surface du béton durci			
NF P 18-840	Caractères normalisés garantis- Normes d'essais garantis – Normes		1993
NF P 18-852	Essais d'adhérence sur surfaces sciées	H – R	1993
NF P 18-853	Essai d'adhérence après cycles thermiques sur surfaces sciées	H – R	1993
NF P 18-854	Essai de tenue aux chocs répétés sur surfaces sciées	H – R	1993
NF P 18-855	Essai de perméabilité aux liquides avec surfaces sciées	H – R	1992
NF P 18-856	Essai de tenue aux rayonnements U.V.	R	1993
NF P 18-857	Essai de tenue aux chocs sur surfaces sciées après cycles	H – R	1993
NF P 18-858	Essai d'adhérence sur surfaces rugueuses	H	1993
NF P 18-859	Essai d'adhérence après cycles thermiques sur surfaces rugueuses	H	1993
NF P 18-860	Essai de tenue aux chocs répétés sur surfaces rugueuses	H	1993
NF P 18-861	Essai après cycles de gel-dégel, de tenue aux chocs répétés sur éprouvettes à surface rugueuse	H	1993
NF P 18-862	Essai de perméabilité aux liquides sur éprouvette à surface rugueuse	H	1993

H : produits hydrauliques    Cours Master 2 / Réparation / 12-13  
R : résines de synthèse



## B/ IMPREGNATIONS

D'une façon générale, les produits appliqués par imprégnation sont des consolidants ou des hydrofuges. Ils se distinguent par leur fonction principale :

- un produit consolidant confère à une zone peu profonde altérée, une cohésion identique à celle du même matériau d'origine. Il ne s'agit donc pas d'une consolidation structurale à l'échelle d'un ouvrage.
- un hydrofuge constitue une barrière interne au matériau, vis-à-vis de la pénétration de l'eau liquide, sans trop affecter la perméabilité à la vapeur d'eau. Un hydrofuge est dit de surface, lorsqu'il est appliqué sur le béton durci.



Action d'un produit hydrofuge

### Domaine et limites d'emploi

Une hydrofugation se justifie, si le béton subit une altération liée à un contact avec de l'eau liquide provenant de l'atmosphère (et non pas du sol ou d'une fuite d'eau). Ce traitement est appliqué à titre préventif ou curatif.

## C/ INHIBITEURS DE CORROSION

Par définition, un inhibiteur de corrosion est un composé chimique qui, ajouté en faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou arrête le processus de corrosion d'un métal placé dans ce milieu. Ses fonctions essentielles sont les suivantes :

- de pénétrer une couche de béton très hétérogène par nature (variations de compacité notamment) ,
- d'abaisser la vitesse de corrosion du métal, sans en affecter ses propriétés (ni celles du milieu environnant),
- d'être stable dans le milieu considéré et compatible avec celui-ci, à la température d'utilisation,
- d'être efficace à la concentration recommandée,
- de ne pas être toxique.

Application d'inhibiteur



## D/ REVÊTEMENTS DE SURFACE

La mise en peinture des ouvrages de génie civil en béton a, en général, pour principaux objectifs :

- d'améliorer l'esthétique de l'ouvrage, par la mise en couleur ou la création de motifs décoratifs, en vue de lui donner un aspect particulier, ou d'homogénéiser, lorsque nécessaire, la teinte de ses parements,
- d'augmenter le confort et la sécurité des usagers, tout en facilitant le nettoyage (exemple : revêtement des tunnels),
- de participer à la sécurité de l'ouvrage (exemple : balisage des pylônes),
- de contribuer à la protection du béton : la mise en place d'un système de peinture en couche mince, dans la mesure où il apporte une amélioration de l'imperméabilité du support peut permettre de ralentir la pénétration de l'humidité extérieure et d'améliorer ainsi la durabilité du béton.



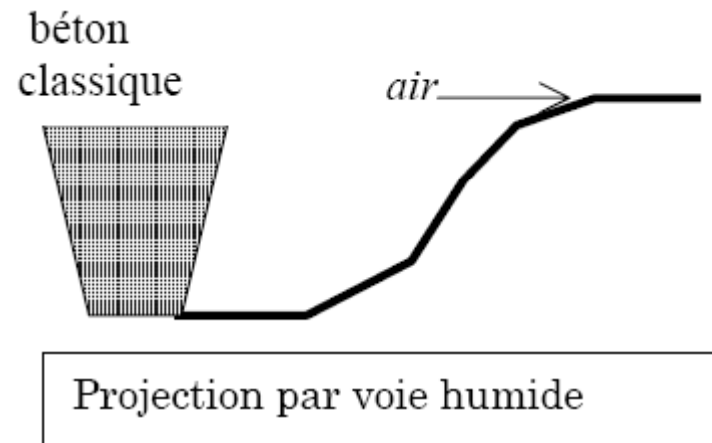
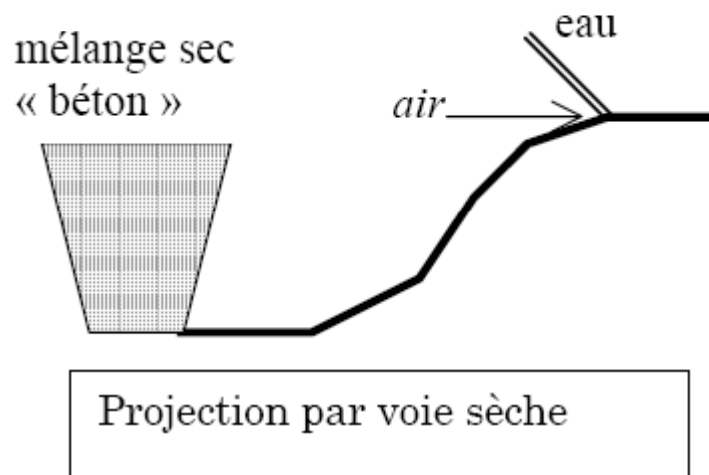
## E/ BETON PROJETÉ

Un béton projeté est constitué d'un mélange de granulats, de ciment et d'eau avec parfois des ajouts, projeté grâce à de l'air comprimé, sur une paroi.



SAHLA MAHLA  
المصدر الأول للطالب الجزائري

### Techniques de projection



## F/ TRAITEMENTS ELECTROCHIMIQUES

### 1. Traitements électrochimiques de ré-alkalinisation et d'extraction des chlorures

Le principe de ces traitements consiste à polariser l'armature la plus proche du parement, à l'aide d'une anode placée sur ce parement et enrobée d'une pâte saturée d'un liquide convenablement choisi (électrolyte). Le courant de polarisation circule de l'anode vers l'armature (cathode). Les armatures plus profondes doivent être reliées électriquement à celle qui est directement polarisée.

Ces traitements électrochimiques sont dits temporaires, parce qu'ils durent généralement entre une et six semaines. Deux techniques de traitements temporaires sont distinguées :

- une technique pour laquelle un générateur électrique (technique du courant imposé) est placé entre l'anode et l'armature,
- une technique pour laquelle l'anode, en alliage judicieusement choisi, est directement reliée à l'armature (courant galvanique).

## Procédure d'application

Un traitement s'applique en plusieurs étapes.

### Système à courant imposé :

- projection d'une première couche de pâte (cellulose ou laine de roche) avec une solution électrolytique adaptée (carbonate alcalin pour la ré-alcalinisation ou eau de chaux pour la déchloruration),
- mise en place du treillis anodique métallique (acier ou titane) sur des baguettes isolantes, fixées au parement,
- connexion des fils d'anode sur le treillis,
- projection d'une deuxième couche de pâte,
- raccordements électriques au générateur de courant continu ayant une tension réglable de 10 à 48 volts,
- humidification périodique de la pâte par l'électrolyte, ou par de l'eau,
- suivi des tensions et courants, prélèvement d'échantillons de béton en cours de traitement pour analyses (alcalinité, taux de chlorures),
- dépose de l'ensemble de l'installation,
- rinçage à l'eau basse pression.

### **Système à courant galvanique :**

- projection ou extrusion d'une couche de pâte saturée d'électrolyte et déposée sur le béton,
- mise en place de l'anode (grille) métallique qui est, d'une part, fixée sur une baguette qui l'isole du parement béton et, d'autre part, au contact de la pâte,
- connexion de l'anode au circuit électrique, à partir de ce moment le traitement est actif,
- humidification périodique de la pâte avec de l'eau,
- suivi des tensions et courants, prélèvement d'échantillons de béton en cours de traitement pour analyses (alcalinité, taux de chlorures),
- dépose de l'ensemble de l'installation,
- rinçage à l'eau basse pression.



Application de la pâte sur le treillis

SAHLA MAHLA  
المصدر الأول للطلاب الجزائريين



Traitement en cours





## 2. Traitement de protection cathodique

La protection cathodique des armatures métalliques dans un béton est un traitement appliqué de façon permanente qui permet de ralentir, voire d'arrêter leur corrosion. Elle consiste à abaisser le potentiel électrochimique de l'armature jusqu'à une valeur seuil appelée potentiel de protection qui est telle que la vitesse de corrosion de l'acier devient négligeable.

Le principe de la protection cathodique consiste à polariser l'armature dans le béton, à l'aide d'une anode placée de façon permanente sur le parement ou parfois dans l'enrobage. Le courant de polarisation, qui circule de l'anode vers l'armature, se situe entre 2 et 50 mA par mètre-carré de surface d'armature.

Il existe deux techniques de protection cathodique :

- par courant imposé : un générateur électrique est placé entre l'anode et l'armature,
- par anode sacrificielle (courant galvanique) : l'anode, en alliage correctement sélectionné, est directement reliée à l'armature.



Mise en place du treillis anodique



Armoire de connexions

## Références

- ✓ AFGC, "Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion" , Documents scientifiques et techniques, 2003