

## Chapitre 1 : Principales pathologies des constructions

### Introduction

Dans cette partie, nous nous intéresserons aux pathologies apparaissant dans le béton armé durci. Ces pathologies ont des causes et conséquences variables. Elles sont décrites dans ce qui suit.

### 1. Pathologies des constructions en béton armé

#### 1.1. Dégradations liées à la corrosion des armatures

##### 1.1.1. Carbonatation

La carbonatation est le résultat de la réaction chimique entre le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) présent dans l'air et les constituants de la pâte de ciment hydratée susceptibles de réagir telle que : la portlandite  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  et les silicates de calcium hydratés (CSH).

Cette réaction réduit donc le pH du béton de 13 à 9 et neutralise progressivement l'alcalinité du béton.

Lorsque le front de carbonatation parvient aux armatures, elles se corrodent et perdent beaucoup en résistance. Des défauts esthétiques se présentent au début (tache de rouille) qui peut conduire à de gros désordres structurels tel que la ruine de l'ouvrage quand le phénomène se généralise.

Les causes principales de carbonatation :

- Ambiance humide riche en  $\text{CO}_2$ ,
- Rapport E/C très élevé implique une porosité excessive du matériau en zone superficielle (Béton poreux),
- Cure négligée,
- Enrobage insuffisant,
- Ouverture des fissures : elles accélèrent également le transport des  $\text{CO}_2$ .

##### 1.1.2. Attaques par les chlorures

Les ions chlorures peuvent attaquer le béton de l'intérieur, pendant le processus de gâchage, ou de l'extérieur en pénétrant par les fissures ou le réseau poreux du béton pour aller corroder les aciers.

Les ions chlorures de sources internes existent en raison de l'utilisation des éléments suivants dans le béton:

- L'eau de mer ;
- Certains granulats qui contiennent des chlorures ;
- Les additions qui ont une teneur en chlorure plus élevée que celle définie dans la spécification normative ;
- L'eau de gâchage à une teneur en chlorure plus élevée que celle autorisée par les normes.

Les ions chlorures de sources externes peuvent se propager à l'intérieur de béton dans les cas suivants :

- Béton exposées à des embruns de l'eau de mer ou une exposition continue à l'eau salée ;
- Utilisation du sel de déverglace.
- Présence des chlorures dans certains sols.

La dégradation se manifeste par l'apparition de rouille à la surface du béton sous forme de taches non esthétiques, réduction de la section des aciers résistants ainsi que la fissuration ou l'éclatement local du béton.

## **1.2. Dégradation du béton**

### **1.2.1. Actions mécaniques**

Les dégradations peuvent être d'ordre mécanique, à la suite de chocs, de vibration, de tassement géotechniques ... Ces désordres se traduisent souvent par l'apparition de fissures ou d'éclats éventuellement aggravées par une déformation inacceptable de la structure.

Lorsque des contraintes brusques, comme un impact ou une explosion, provoquent une dislocation plus ou moins importante du béton, le lien entre les dégâts et leur cause est généralement évident.

Les agressions de type mécaniques peuvent survenir à la suite de :

#### **➤ Chocs**

Les désordres induits par l'exploitation d'un ouvrage constituent une cause non négligeable de dégradation du béton. Il s'agit le plus souvent d'action accidentelle de

type mécanique qui se concrétise par des chocs. Les chocs les plus fréquents sont ceux du poids lourds hors gabarit contre l'intrados des ponts, les chocs des bateaux ou d'objets flottants contre les piles en rivière, ainsi que les chocs de véhicules contre les barrières de retenue. Ces chocs peuvent créer des épaufrures, des éclats importants de béton, voir même des ruptures d'acier.

### ➤ **Fatigue**

La fatigue d'un élément signifie son endommagement sous l'effet d'efforts répétés ou cycliques. Alors qu'il est conçu pour résister à des efforts donnés, l'application répétée d'efforts plus faibles peut provoquer sa rupture.

Les endommagements par fatigue se traduisent par une dégradation de l'adhérence entre le béton et les armatures entraînant l'apparition d'une fissuration pouvant affecter la durée de vie de l'ouvrage, voire des déformations irréversibles sous l'effet des charges de service. Ils peuvent entraîner éventuellement la rupture quand l'assemblage atteint sa limite d'endurance.

Le degré d'endommagement dépend de nombreux facteurs comme : l'amplitude de la sollicitation (le nombre et l'intensité des cycles de chargement ou déformation imposée);

- la variabilité des charges appliquées ;
- le degré de fissuration entraînant une modification des propriétés du béton.

On rencontre deux types principaux de fissurations d'origine mécanique :

Les fissures verticales sont liées à un ferrailage insuffisant dans les zones les plus sollicitées :

- En partie inférieure à mi- portée,
- En partie supérieure aux appuis.

Les fissures à 45° (fissures d'effort tranchant) sont causées par un nombre insuffisant de cadres aux extrémités.

L'origine de ces désordres peut être liée à une erreur de dimensionnement, à un défaut d'exécution (erreur dans le ferrailage, décoffrage prématuré) ou à une utilisation anormale (surcharge d'exploitation).

Ces fissurations ont pour conséquences l'altération de la rigidité de la structure porteuse et la formation d'articulations non désirées ce qui provoque un changement de flux de forces et du système statique.

Elles favorisent également la pénétration des facteurs de corrosion (humidité, CO<sub>2</sub>, chlorures...).

Ces fissures dues à des dégradations mécaniques sont à distinguer des autres fissurations ayant pour origine des pathologies.

### **1.2.2. Actions physiques**

#### **➤ Cycles de gel-dégel**

Le risque de détérioration par le gel d'un béton est particulièrement plus élevé lorsque que son degré de saturation en eau est important. C'est notamment le cas des parties d'ouvrages non protégées des intempéries et en contact direct avec des eaux salées. Ces dégradations peuvent être amplifiées si le béton est mal conçu et elles se manifestent sous deux formes :

- Détérioration par fissuration interne
- Détérioration par l'écaillage des surfaces en présence de sels fondants.

Ces deux formes de dégradation peuvent se produire simultanément ou de manière indépendante et elles peuvent affecter la durabilité de la structure.

#### **• Détérioration par fissuration interne**

La fissuration interne peut se propager dans toute la masse de béton, mal conçu et soumise à de nombreux cycles de gel dégel. L'intensité de cette fissuration dépend de nombre et de la sévérité des cycles, la température Max et Min, le taux de gel et le degré de saturation.

Cette dégradation se manifeste par l'apparition d'une intense microfissuration du béton non seulement en surface mais aussi à l'intérieur de la masse de béton soumise au gel.

La fissuration interne diminue la performance du béton en réduisant considérablement ses caractéristiques mécaniques (résistances à la compression et à la traction, module élastique) et son imperméabilité. Par exemple, un béton fortement attaqué par le gel interne peut affaiblir énormément sa cohésion.

- **Détérioration par l'écaillage**

L'écaillage de surface est un mode de dégradation qui n'affecte que les surfaces de béton fortement exposées aux cycles de gel-dégel et des sels fondants. Il se manifeste par le décollement progressif de petites particules de pâte qui ont souvent la forme de petites écailles. En plus d'une dégradation esthétique de l'ouvrage, ce phénomène augmente sensiblement la perméabilité de surface et réduit l'épaisseur de recouvrement des aciers. Il favorise ainsi l'intrusion de substance délétère au sein du matériau et augmente le risque de corrosion des armatures [Mohamed M.A.S., 2011]. L'écaillage de surface est pratiquement inexistant lorsque l'exposition au gel-dégel se fait en absence des sels fondants.

- **Retrait**

Le retrait est un phénomène physico-chimique qui existe de façon systématique au sein du béton et qui se développe sous diverses formes depuis la prise du béton jusqu'à son vieillissement. Il correspond à l'action du départ de l'eau excédentaire du béton vers l'extérieur de l'élément de structure. Le symptôme caractéristique de l'action du retrait sur un ouvrage est la fissuration qui peut être soit orientée, soit multidirectionnelle.

Les différents types de fissures de retrait peuvent être classés, suivant leur ordre chronologique d'apparition, en trois types :

Fissures apparaissant une ou deux heures après le bétonnage: ces fissures sont provoquées par le tassement du béton frais. Elles sont relativement profondes et ouvertes et affectent les surfaces horizontales provoquant un gradient vertical de l'ensemble des caractéristiques physiques et mécaniques.

Fissures apparaissant juste après le décoffrage : ces fissures affectent aussi bien les surfaces horizontales que les parements verticaux. Ces fissures sont généralement fines et peu profondes, mais elles peuvent être plus ouvertes lorsque le retrait thermique en est la cause.

Fissures apparaissant plusieurs jours ou plusieurs mois après le décoffrage : ces fissures sont créées par le retrait à long terme. Ce retrait résulte du départ de l'eau en raison de la mise en équilibre hygrométrique de la structure en béton avec son milieu extérieur.

### **1.2.3. Actions chimiques**

#### **➤ Réactions Alcalis-Granulats (RAG)**

La réaction alcalis-granulats, est une réaction endogène, se produit entre les alcalis de la matrice cimentaire (provenant du ciment, des additions, des adjuvants, ...) et des granulats siliceux potentiellement réactifs (c'est-à-dire sensibles aux alcalis). C'est la raison pour laquelle on parle également de réaction alcalis-silice.

Pour que la réaction alcalis-granulats se manifeste, les trois éléments suivants doivent être réunis :

- La présence de granulats potentiellement réactifs en quantité suffisante (contenant de la silice amorphe ou incomplètement cristallisés, comme l'opale),
- Une teneur en alcalins solubles (sodium ou potassium) élevée dans la solution interstitielle,
- Une humidité relative ambiante élevée (supérieur à 80-85%).

Les principales conséquences de cette réaction consistent en la formation d'un gel expansif à base de silicate de calcium qui gonfle le béton. Il en résulte des contraintes de traction internes au sein du béton qui conduisent à la fissuration (réseaux de faïençage) de ce dernier. Outre le gonflement et la fissuration, l'alcali-réaction a pour conséquence de baisser les performances mécaniques du béton et diminuer la durabilité.

En l'absence d'examen complémentaire, le risque est grand d'attribuer la dégradation, à tort, à un phénomène de corrosion. Dans certains cas, le béton prend une teinte ocre et l'on constate la disparition de lichens et de mousses présents au préalable le long des fissures.

Des recommandations pour la prévention des risques liés à l'alcali-réaction ont été établies et sont désormais intégrées à la norme NF EN 206-1.

#### **➤ Attaques Sulfatiques**

Les réactions sulfatiques sont provoquées par l'action des sulfates provenant de l'environnement (milieu aqueux, remblais contenant des sulfates), avec la chaux et les aluminates du ciment pour former de l'ettringite. Cette cristallisation

s'accompagne d'une expansion très importante qui altère les caractéristiques mécaniques du béton.

### ➤ **Attaques Acides**

Le béton présente un caractère basique élevé induit par les composés hydratés de la pâte de ciment (la phase interstitielle contenue dans le béton a un pH très élevé).

Il peut donc présenter une certaine réactivité vis-à-vis des solutions acides telles que les pluies acides, les eaux naturelles chargées en dioxyde de carbone, les eaux résiduaires, les eaux des industries agroalimentaires ou industrielles contenant des acides organiques, les eaux chargées en acides minéraux, mais aussi les eaux pures [Al-Ostaz A, 2004].

L'action des acides (comme la substance agressive) sur le béton durci (Comme la substance réactive) traduit par la transmutation des composés de calcium (Hydroxyde de calcium hydraté de calcium, le silicate et d'aluminate de calcium hydraté) aux sels de calcium. En raison de ces réactions, la structure du ciment durci est détruite. Le taux de réaction des différents acides avec du béton n'est pas déterminée par l'agressivité de l'acide, mais par la solubilité du sel de calcium qui en résulte.

## **2. LES DEGRADATIONS**

### **2.1. Fissuration**

En général, une fissure est considérée comme une discontinuité dans le champ de déplacement à travers laquelle les contraintes de traction sont nulles ou diminuent en fonction de l'ouverture de cette même fissure (hypothèse de Griffith 1920). La fissuration peut se produire par compression, traction, cisaillement, aussi bien sous chargement statique qu'en fatigue, sous l'effet des charges permanente ou des surcharges ou lors du déplacement des charges

#### *2.1.1. Les caractéristiques des fissures*

Les caractéristiques des fissures se résument en

- **L'âge et l'évolution:** il nous permette de connaître la cause de génération mais d'une façon approximative ; La figure suivante montre l'âge de l'apparition des fissures.
- **La morphologie des fissures :**

### **Le tracé**

Le tracé d'une fissure se définit par son orientation et sa longueur mesurable sur l'ouvrage. L'orientation est souvent révélatrice de son origine, lorsque la fissure est continue sur l'axe de l'orientation, elle est dite fissure franche, lorsque l'axe d'orientation est défini par plusieurs fissures successives, elle est dite discontinue.

### **L'ouverture**

On définit l'ouverture d'une fissure par l'ouverture maximale relevée sur le tracé.

### **La profondeur**

On distingue :

- Une fissure traversant : lorsqu'elle est visible sur deux faces de la structure.
- Une fissure aveugle : si elle est supposée traversant mais bouchée sur la face non accessible de la structure (exemple fissure d'un mur de soutènement) elle est souvent d'ouverture importante.
- Une fissure dite de surface : si l'ouverture est maximale en surface et s'annule au sein du matériau.

### **L'activité**

L'activité caractérise la variation dimensionnelle de l'ouverture de la fissure dans le temps.

- Une fissure est dite morte : si l'ouverture reste constante quelles que soient les variations de températures ou de charges.
- Une fissure active : si l'ouverture varie en fonction de facteurs extérieurs tels que température, charges, vibrations, hygrométrie ...etc.
- L'ouverture moyenne d'une fissure active est la demi-somme de l'ouverture min et max.

#### *2.1.2. Classification des fissures selon leur morphologie*

Il est possible de classer les fissures selon leur morphologie, ce type de classement fait appel uniquement aux apparences et pour qu'il soit efficace, les observations doivent être faites de la manière la plus objective et la plus neutre possible



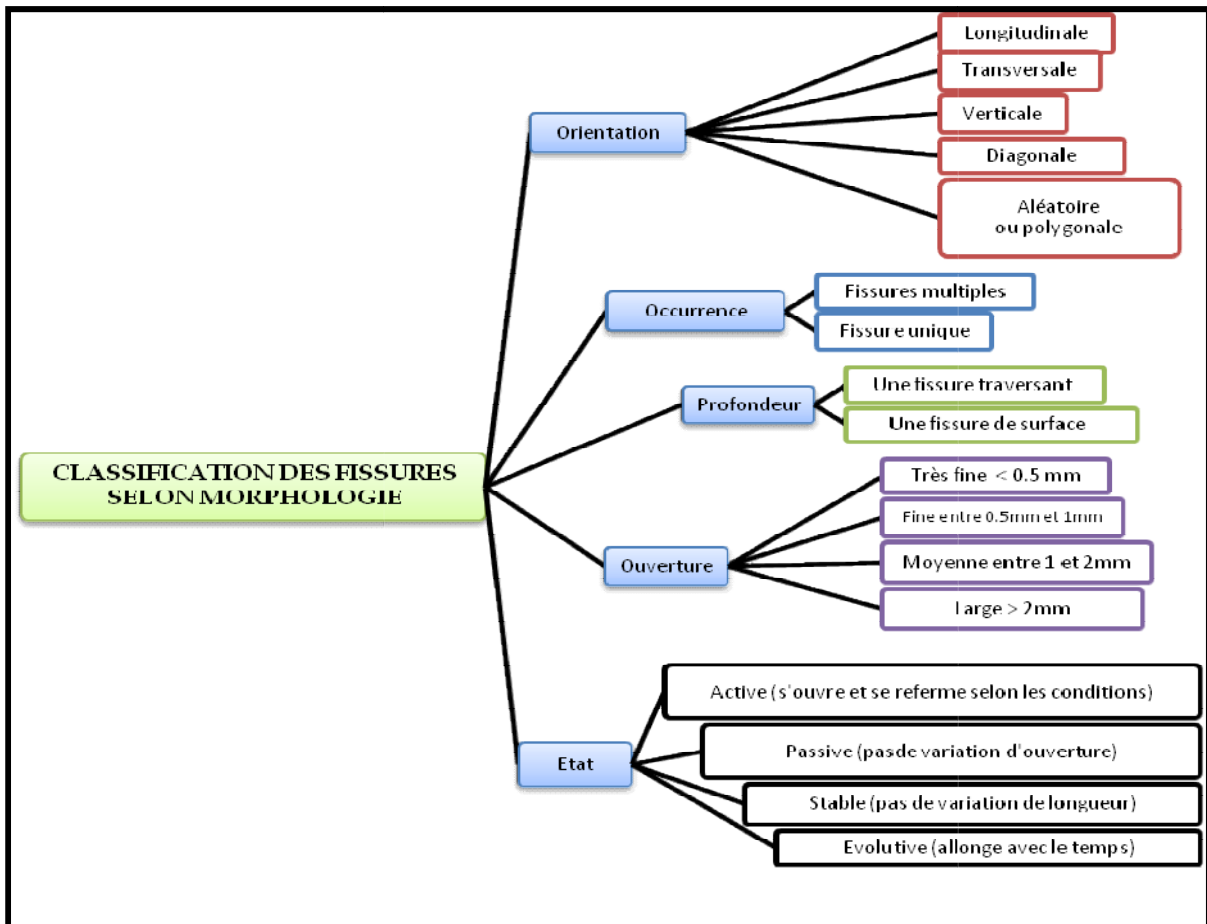


Figure 1: Classification des fissures selon leur Morphologie

## 2.2. Efflorescence

L'efflorescence est le résultat de l'hydrolyse des composants de la pâte de ciment dans le béton. L'efflorescence est indiquée par l'apparition d'une couche blanche déposée sur la surface d'un béton, le plus souvent sur les dalles en béton ou la face interne des murs de fondation et indique que l'eau utilisée dans le processus de mélange de béton a été contaminée.



Figure 2: Efflorescence.

### 2.3. Les épaufrures

Elles correspondent à un éclatement du béton avec chute de fragments, laissant souvent les armatures apparentes. Les épaufrures sont généralement la suite logique d'un écaillage ou elles ont provoqué par des ondes de choc.



Figure 3: Les épaufrures causées par le choc.

### 2.4. Stalactites

Une concrétion minérale qui se forme sous des plafonds ou dalles de béton de mauvaise qualité.



Figure 4: Les stalactites

### 2.5. L'écaillage

L'écaillage est un phénomène de désagrégation des surfaces de béton provoqué par leur exposition au gel/dégel en présence d'humidité ou de sels déglaçant. Généralement, son apparition commence par de petites zones localisées, qui par la suite peuvent se rejoindre, s'étendre et affecter de grandes surfaces. Lors d'un écaillage léger, les gros granulats restent enrobés dans la pâte.

Pour l'écaillage modéré, la perte d'épaisseur du mortier de surface peut aller de 10 à 15 mm et engendrer la dénudation des granulats. Dans le cas d'un écaillage

important, la surface est détruite sur une grande épaisseur et elle est caractérisée par une dénudation et occasionnellement par un arrachement des granulats.

## 2.6. Délamination

L'action conjuguée des sollicitations climatique, des sels anti-verglas et du trafic circulant directement sur le béton constitutif des hourdi de pont à provoquer des « Délamination » du béton sur un nombre considérable d'ouvrages d'art. Dans les cas les plus graves, cette pathologie aboutit à la chute de plaques de béton et à la création de trous dans les tabliers de pont. Le délaminage est la séparation des couches de béton ou à proximité de la couche extérieure de l'acier d'armature. Le délaminage est causé par l'expansion de la corrosion d'armature en acier et peut conduire à la fissuration sévère. La rouille peut occuper jusqu'à dix fois le volume de l'acier corrodé qu'il remplace.

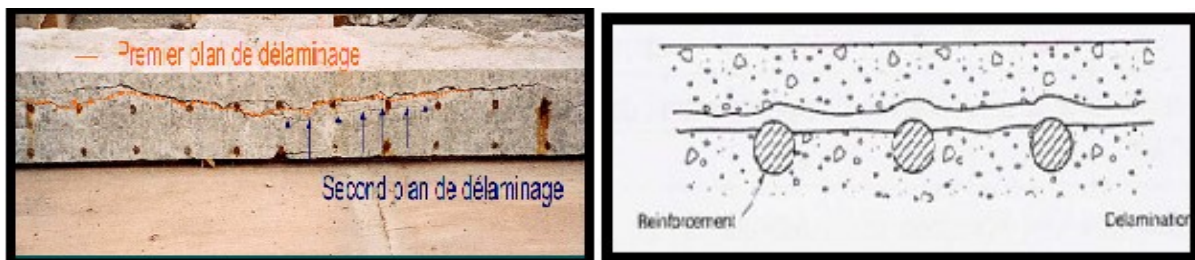


Figure 4: Délamination.

## 2.7. Défauts de construction

Cela inclut les questions de consolidation tels que *les poches de roche*, *les vides en nid d'abeille*, *des trous de bugs*, et *des stries de sable* qui peuvent résulter de vibrations incorrecte, mélange sec, sans super Plastifiant, mélanger trop mouillées, l'espacement des barres d'armature incorrecte ou mauvaise sélection des agrégats.

## 2.8. Eclatement localise

Sont le résultat de réactions alcali-silice se déroule dans le béton comme des fragments conique apparaissant à la surface du béton en laissant de petits trous, des pertes des particules seront généralement trouvés au fond du trou.



**Figure 5:** Eclatement localisé

## 2.9. La désintégration

Désorganisation de la peau du béton pouvant se poursuivre par une destruction avancée du béton d'un élément de l'ouvrage, et parfois assimilable à un pourrissement du matériau.

En fin le tableau suivant montre les principaux symptômes de la dégradation du béton :

**Tableau 1 :** Les principaux symptômes de la dégradation du béton

	Fissures	Épaufrures	Écaillage	Désagrégation	En activité ou en évolution
Carbonatation					
Corrosion des armatures	X	X			OUI
Dégradation interne (alcali-réaction,...)	X				OUI
Attaque bactériologique	X			X	OUI
Attaque sulfatique (externe)	X		X	X	OUI
Retrait, tassement	X				NON
Gel-dégel	X		X	X	OUI
Chocs	X	X			NON
Abrasion, érosion				X	OUI
Défauts d'exécution	X	X			NON
Incendie	X		X	X	NON

## **Conclusion**

On a vu dans ce Chapitre que tous les mécanismes de dégradation des matériaux et perte de performance ou de comportement sont dues par plusieurs facteurs qu'on ne peut pas les maîtriser tous, donc la notion de la structure parfaitement durable c'est une notion irréalisable, cette vulnérabilité des structures nous exige à faire recourir à des réparations ou des renforcements à travers le cycle de la vie de l'ouvrage.

A cet effet il nous faut plus de la compréhension des mécanismes dégradant, la maîtrise des méthodes des détections des causes et pathologie ainsi que celles des séparations entre ces pathologies pour l'élaboration d'un diagnostic le plus juste possible.

## Chapitre 2 : Évaluation et diagnostic des structures en béton

### Introduction

Les ouvrages dans leur ensemble peuvent présenter des défauts. Certains de ces défauts peuvent être d'origine, d'autres peuvent apparaître au cours de la vie de l'ouvrage. Ils évoluent dans tous les cas défavorablement.

D'une façon générale, on appelle "désordre" toute anomalie susceptible de compromettre, à plus ou moins long terme, la sécurité d'utilisation d'un ouvrage, sa pérennité ou sa stabilité.

Il est important de souligner qu'un critère important d'appréciation de la gravité d'un désordre est son évolution, constatée ou non. C'est en effet cette évolution, plus ou moins rapide et mise en évidence par la surveillance, qui risque de rendre l'ouvrage dangereux ou inutilisable.

Il existe plusieurs critères de classification des désordres : à partir du type d'ouvrage et des parties d'ouvrage, à partir des causes, ou encore à partir des manifestations, celles-ci étant les signes apparents à partir desquels on peut constater leur existence.

Il faut noter qu'il n'y a pas forcément correspondance entre les diverses causes et leurs effets. Suivant le type de structure, suivant les propriétés des matériaux, ainsi qu'en fonction de l'existence d'autres désordres, un même ensemble de défauts apparents peut résulter de causes différentes, et un même ensemble de causes peut avoir des conséquences différentes.

C'est la raison pour laquelle le diagnostic doit prendre en compte toutes les particularités de l'ouvrage concerné.

### 1. Les étapes d'un diagnostic

Le diagnostic est le raisonnement menant à l'identification de la cause (l'origine) d'une défaillance, d'un problème ou d'une maladie.

Le diagnostic d'une structure se compose de différentes étapes clés décrites ci-dessous.

## 1.1. Pré-diagnostic

### 1.1.1. Une visite préliminaire de l'ouvrage

Afin de mieux comprendre l'état et le fonctionnement de la structure, de préciser les conditions environnementales, les désordres visibles et l'accessibilité des parties dégradées. Elles fournissent des informations de base suffisantes pour qu'un avis préliminaire soit présenté vis-à-vis les conditions de l'élément dégradé.

Une méthode de classification simplifiée basées sur les caractéristiques de ces désordres est proposée par l'ACI [ACI 364, 1999]. C'est une méthode de classification visuelle des dégradations à partir d'une codification attribuée sur l'identification et la description du désordre. Elle fournit aussi les causes probables et suggère les détails qui doivent être collectés pendant l'inspection. Le Tableau 1 représente un extrait de la méthode de classification proposée.

<b>Codification</b>	<b>Identification du dommage</b>	<b>Description</b>	<b>Causes</b>	<b>Données collectées</b>
<b>A1</b>	Fissures	Fissuration superficielle ou profonde du béton	Surcharges ou corrosion	Direction de la fissure, longueur, profondeur
<b>B2</b>	Efflorescence	Couche blanche déposée sur la surface	Lixiviation des hydroxydes avec ou sans formation de carbonates	Définition de la surface affectée et de la quantité de produit (stalactites)
<b>B3</b>	Taches d'oxydes	Taches de couleur marron	Corrosion de l'armature	Localisation, intensité, dommages
<b>B4</b>	Taches d'humidité	Zones superficielles du béton avec des indices d'humidité	Traces d'écoulement et de condensation	Surface affectée
<b>C3</b>	Détachement du béton de l'enrobage	Morceaux de béton détachés	Pression interne provoquée par les produits de la rouille ou par les chocs	Surface affectée et profondeur
<b>C4</b>	Intempérie	Lixiviation de la surface du béton	Action de l'environnement	Surface affectée et profondeur

Tableau 1 : Classification visuelle simplifiée de dommages selon ACI.

### **1.1.2. La collecte des documents**

Une analyse approfondie des archives afin de récolter le maximum d'informations concernant la structure, à savoir :

- La date de construction pour connaître le code selon lequel la structure a été calculée et les dispositions constructives de l'époque.
- L'historique de la structure
- Les plans de coffrage et de ferrailage
- Les rapports de surveillance.

### **1.1.3. La préparation de l'intervention**

Suite à la visite sur site et l'étude des documents collectés, l'ingénieur chargé d'affaire peut se faire une idée de l'origine des dégradations observées et peut ainsi proposer un programme d'investigations à réaliser, son coût ainsi que sa durée.

## **1.2. Diagnostic détaillé**

C'est une évaluation approfondie de la structure qui comporte :

Une inspection visuelle détaillée de la totalité de la structure est mise en œuvre afin de détecter tous les signes de détérioration et d'identifier toutes les sources potentielles de désordres tels que :

- la présence d'anciens revêtements ou de produits d'imprégnation ;
- l'apparence de la surface du béton, présence de stalactites, d'efflorescences, de traces de rouille ;
- la présence de (avec leurs ouvertures et leurs orientations, réseau), fissures ;
- les détériorations de la peau du béton ( , feuilletage, éclatements...), épaufrures ;
- la détection des zones sonnant le creux,
- les zones où le béton et les armatures ont été désorganisés (cas d'un incendie...),
- la présence d'armatures (passives ou actives) apparentes, corrodées ou non,
- le relevé des déformations de la structure,
- la détection des traces d'humidité,



Généralement il faut aussi relever la géométrie de la structure, espacement des éléments porteur, épaisseur de dalle, géométrie d'un plancher hourdis par exemple. Dans de nombreux cas les structures diagnostiquées sont anciennes, de ce fait on ne dispose plus des plans.

Suite à l'inspection visuelle on choisit des zones représentatives des désordres observés sur lesquelles on va effectuer des mesures. Celles-ci peuvent être de type non destructif par exemple la détection de l'enrobage des armatures par un procédé électromagnétique. Elles peuvent également consister en des prélèvements de carottes et d'échantillons en vue d'analyses en laboratoire.

Les investigations destructives seront limitées au maximum pour ne pas endommager la structure.

L'ensemble des résultats d'analyse et des relevés des défauts sont récapitulés dans des tableaux ou sur des plans dans le rapport de diagnostic. Si l'inspection de la structure était complète, il faudrait pour chaque type de désordres effectuer un linéaire en vue d'une éventuelle réparation.

### **1.3. Diagnostic-Pronostic**

C'est la où l'ingénieur chargé d'affaires donne ses commentaires et son avis sur le type d'intervention. Il doit indiquer dans son rapport :

- L'origine probable des désordres, leur étendue, et leur probable évolution
- Si la structure garantit toujours la sécurité des personnes et des biens qu'elle abrite (bâtiments) ou qu'elle ne menace pas de s'écrouler.
- Les zones à traiter en priorité.
- Des conseils sur l'exploitation de l'ouvrage, maintien, renforcement ou suivi, conseil sur des éventuels compléments d'étude.
- Des recommandations relatives aux éventuelles méthodes de réparation les mieux adaptées

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.

## **2. La classification des ouvrages**

La classification des ouvrages est destinée à fournir un indicateur de l'état moyen d'un ensemble d'ouvrages à partir d'une évaluation de chaque ouvrage. Plusieurs

méthodes de classification sont disponibles tel que la méthode IQOA qui a été mis à jours en 1996. La méthodologie IQOA "Image de la Qualité des Ouvrages d'Art" présente des catalogues de désordres destinés à faciliter la cotation des ouvrages notamment les ponts. Cette cotation résulte d'une analyse de l'état d'un ouvrage faite à l'issue d'un diagnostic détaillé.

L'état des ponts est caractérisé par le choix d'une classe d'état parmi cinq (Voir tableau 2), complétée éventuellement d'une mention "S" au titre de la sécurité des usagers.

Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ouvrage en bon état apparent relevant de l'entretien courant au sens de l'Instruction Technique sur la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art.</li> </ul>
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ouvrage dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts,</li> <li>• Ouvrage ou dont la structure présente des défauts mineurs, et qui nécessite un entretien spécialisé sans caractère d'urgence.</li> </ul>
Classe 2E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ouvrage dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts,</li> <li>• Ouvrage ou dont la structure présente des défauts mineurs, et qui nécessite un entretien spécialisé URGENT, pour prévenir le développement rapide de désordres dans la structure et son classement ultérieur en 3.</li> </ul>
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ouvrage dont la structure est altérée et qui nécessite des travaux de réparation mais sans caractère d'urgence.</li> </ul>
Classe 3U	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation URGENTS liés à l'insuffisance de capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.</li> </ul>

Tableau 2 : Classification de l'état des ponts selon la méthodologie IQOA

## Conclusion

L'évaluation de l'état des ouvrages aux points de vue matériaux, état structurelles et fonctionnalité ainsi que la détermination précise des causes engendrant les

désordres dans les ouvrages d'art sont des opérations très compliquées puisque les désordres sont dans la plupart des cas difficiles à analyser et à évaluer car leurs origines peuvent être diverses et nous conduisent parfois à remonter jusqu'à la conception de l'ouvrage, mais ont une très grande importance, constitue la base nécessaire pour le choix d'une procédure de remédier « stratégie de réparation adéquate ». Les diverses pathologies des constructions font l'objet du prochain chapitre.

## Chapitre 3 : Méthodes d'auscultation des constructions

### Introduction

L'identification précise des désordres, l'appréciation de leur étendue, la recherche des causes, et des mécanismes qui ont permis aux désordres de se développer... autant de points qu'il est nécessaire d'aborder avant d'entreprendre toute action de réparation.

C'est l'ensemble de ces investigations nécessaires que l'on appelle auscultation. Il n'existe pas de procédure type d'auscultation applicable à tous les ouvrages d'art, ni même à une famille donnée d'entre eux. Les explications recherchées, donc les méthodes d'auscultation à utiliser, différent suivant la nature des désordres constatés. Les auscultations peuvent être de deux natures :

- auscultation du matériau et l'appréciation de son état ou ses propriétés ;
- auscultation de la structure et l'analyse de son mode de fonctionnement réel à vide et/ou sous chargement.

Assez souvent, ces deux types d'analyse existent dans une même campagne d'investigations. Il peut en effet arriver qu'une défectuosité du matériau ait une incidence directe sur le fonctionnement de la structure.

Inversement, le mauvais fonctionnement d'un ouvrage pour des raisons structurelles se manifeste par une détérioration, au moins partielle, de certains des matériaux constitutifs (ITSEOA - Fascicule 03).

Ce chapitre s'intéresse aux méthodes d'investigation permettant d'apprécier l'état des matériaux. Elles peuvent être classées en en deux catégories soit :

- Investigations in-situ sur le matériau en place ;
- Investigations sur prélèvement.

Ces investigations font appel à divers moyens d'auscultation qui seront décrites dans la suite.

## **1. Investigations in-situ**

### **1.1. Relevé visuel**

L'inspection visuelle est le premier moyen de contrôle non destructif à la reconnaissance et au diagnostic d'ouvrages. Elle consiste à aller sur site et analyser chaque élément de la structure en détail.

Cela permet de fournir des données utiles et globales sur l'ouvrage (caractéristiques géométriques, les matériaux constitutifs, les éléments porteurs, l'acheminement des charges...) et le degré de détérioration visible, comme l'apparition de la fissuration et des défauts, la corrosion des armatures, etc. Il est nécessaire de répertorier tous ces données sur les plans et de créer un dossier photographique des principaux désordres afin de pouvoir les visualiser au mieux.

Les dégradations sont repérées et localisés, moyennant des outils de mesure telle que :

- Le distancemètre sert à mesurer de distances.
- Le fissuromètre, il permet le suivi et mesures de l'évolution de la fissuration.
- La topographie est aussi un moyen d'inspection, qui permet de suivre les déplacements ou les déformations d'un ouvrage.

Cette première étape permet de prévoir quels sont les autres moyens de diagnostic les plus adaptés à mettre en œuvre afin de répondre pleinement à la problématique. Ces investigations complémentaires ont pour but de préciser les désordres observés lors du relevé visuel, mais aussi de recueillir des informations complémentaires concernant leur constitution ainsi que leur état.

### **1.2. Auscultation des bétons**

Les techniques les plus utilisées sont les méthodes d'évaluation non destructives par propagation d'ondes acoustiques. Ce sont des méthodes fondées sur l'analyse du signal issu d'une onde mécanique qui se propage à travers ou en surface d'un matériau.

L'auscultation acoustique permet de contrôler le béton du point de vue maturité (jeune âge, prise), homogénéité (ségrégation, nature, zone), détection de défauts (fissures, amas, porosité, fuites, vides), suivi des défauts dans le temps (présence ou

évolution), endommagement et caractérisation mécanique (microfissuration, vides, atteintes chimiques).

Tout un ensemble de possibilités d'auscultation ayant des objectifs distincts :

- Ultrasons dit auscultation sonique
- Impact écho
- Émission acoustique
- Tomographie sismique

### 1.2.1. L'auscultation sonique

La technique d'auscultation sonique a pour objectif de mesurer le temps de propagation des ondes ultrasonores entre deux points dans le béton. Elle consiste à générer à l'aide d'un émetteur une impulsion électrique qui est convertie, grâce aux propriétés piézoélectriques de l'élément en béton à ausculter, en des ondes mécaniques ultrasonores. Ces ondes traversent le couplant et se propagent dans tout l'élément. Puis, elles sont reçues par le récepteur et sont converties en une impulsion électrique qui revient au générateur (Figure 1).

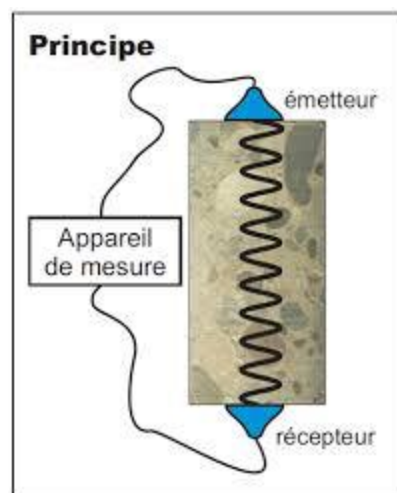


Figure 1: Mesure de la qualité du béton à ultrason

Le couplant utilisé est la pâte de contact blanche composée à 95% de vaseline. Il est appliqué à chaque nouvelle mesure afin d'avoir un bon contact entre les deux transducteurs et le béton.

L'essai peut être réalisé selon l'une des trois méthodes de configuration décrites dans la norme NF EN 12504-4 voir figure 2 : méthode directe dite « par transparence

», méthode indirecte dite « de surface », ou méthode semi-directe dite « en semi-transparence ». Donc, Il n'est pas nécessaire d'avoir accès à deux faces et le matériau peut être ausculté en surface et à cœur, dépendant de la méthode de configuration.

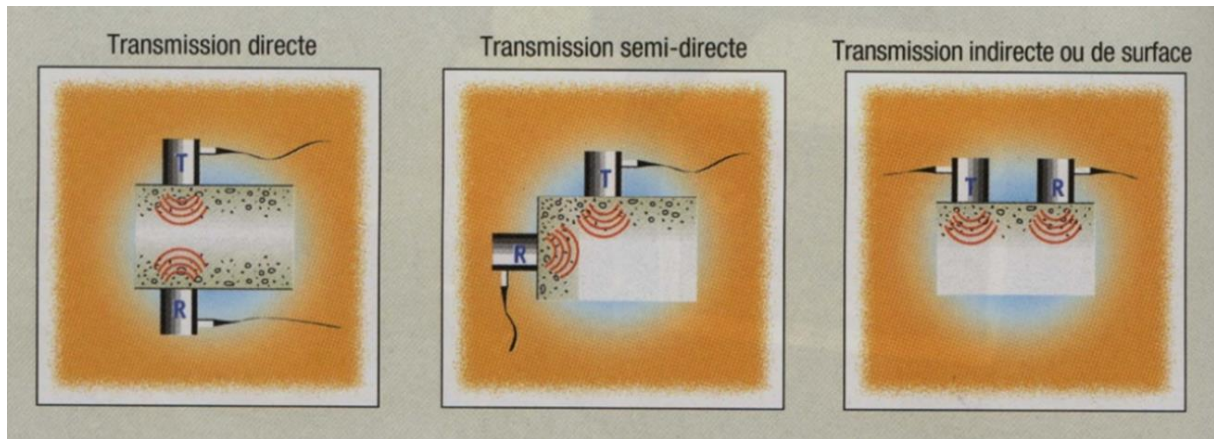


Figure 2: Type de propagations d'ondes

L'appareil mesure le temps nécessaire à l'onde pour atteindre le récepteur. Connaissant la distance de l'émetteur au récepteur, notée  $L$  et le temps de propagation des ondes ultrasonores dans le béton, noté  $T$  en  $\mu s$ , il est possible de calculer la vitesse ultrasonore, notée  $V$  en  $m/s$ , par la relation suivante :  $V = L / T$

Cette méthode permet de déterminer la qualité physique du béton et son hétérogénéité telle que la présence et étendue des défauts, des vides ou des microfissurations. Mais, il est impossible d'ausculter sur un site très perturbé ou présentant un état de surface fortement altéré.

### 1.2.2. Scléromètre

C'est une technique simple, très économique pour le contrôle du béton. Son principe repose sur la corrélation entre la dureté du béton et sa résistance à la compression.

Pour déterminer la dureté du béton, la tige métallique du scléromètre est perpendiculairement appuyée sur le point de mesure, en comprimant un ressort. Lors de son rebond, le ressort entraîne un index coulissant sur une échelle graduée permettant de déterminer la valeur de rebond appelé indice sclérométrique «  $I_s$  » [Nguyen NT, 2014]. Plus le rebond sera important, plus le matériau sera dur.

Les mesures de rebond sont très locales. Il est nécessaire de réaliser plusieurs mesures afin d'obtenir un résultat cohérent. L'indice sclérométrique obtenu, qui est la

moyenne des mesures effectuées sur la zone d'ouvrage testé, permet par des courbes graphiques spécifiques de relever la résistance présumée du béton.

**Remarque : La mesure est normalisée par les normes et ASTM C805. NF EN 12504-2**

La valeur mesurée peut être affectée par différents paramètres tels que l'inclinaison du scléromètre, l'état de la surface à auscultée (rugueuse, délaminages, fissures ouvertes, traces d'eau, etc.), la répétition de mesure sur un ancien point ou encore la présence d'armatures affleurées au-dessous des points de mesure. Il peut être intéressant de coupler cette technique avec d'autres techniques non destructives (ex. ultrason) pour des analyses fiables.

### 1.2.3. Impact-écho

La technique d'impact-écho a été développée à la fin des années 1980 [Nguyen NT, 2014]. Elle a pour objectif d'évaluer l'épaisseur d'éléments de structure en béton (poutres, plaques, etc.), détecter les vides, les fissures quasi-parallèles au parement, les délaminages ainsi que l'évaluation du module de Young dynamique béton et le repérage de gaines de précontrainte.

Le principe de cette technique repose sur l'interprétation dans le domaine fréquentiel de la réponse d'une structure soumise à un choc mécanique. Le choc et le capteur à pointe mesurant des déplacements de la surface auscultée sont situés à faible distance l'un de l'autre.

**Remarque : L'analyse n'est valable que si le point d'impact est très proche du point de réception**

La fréquence de résonance observable sur le spectre correspond au premier mode symétrique stationnaire d'une onde de Lamb [Gibson et al, 2005]. Elle permet de calculer le module élastique dynamique et le coefficient de Poisson. A partir de ces deux propriétés, il est possible de déduire la vitesse des ondes de compression. La présence de vides ou de délaminages dans le béton est repérée par des perturbations de la fréquence de résonance liées aux discontinuités mécaniques à cœur de l'élément.





Figure 4: Impact echo

### 1.3. Auscultation du béton armé

Diagnostic de l'état du béton armé avec des méthodes d'évaluation non destructives.

#### 1.3.1. Localisation des armatures par des méthodes électromagnétiques

La localisation des armatures et l'estimation de leur diamètre et de leur profondeur d'enrobage se fait par des méthodes électromagnétiques qui sont des techniques sensibles à la présence d'armatures dans le béton.

- *Technique basse fréquence*

Le relevé du ferrailage peut se faire à l'aide d'un pachomètre. C'est un appareil d'auscultation non destructif sert à localiser les armatures d'un ouvrage en béton armé, avec une précision de l'ordre de  $\pm 5\text{mm}$ , en mesurant la perturbation d'un champ magnétique généré en surface du béton. Il permet aussi de mesurer l'enrobage et de donner une indication du diamètre de l'armature.

Le principe de fonctionnement repose sur l'émission d'un flux magnétique par l'appareil. Le pachomètre détecte la diffusion de ce champ magnétique ainsi que les modifications de la résonance magnétique induite par la présence d'aciers. Ainsi, l'appareil mesure la variation électromagnétique due à la présence d'éléments ferromagnétiques, les armatures [Moalic LA, 2011]. L'amplitude du signal mesuré dépend de diamètre des armatures et de l'enrobage des aciers par le béton. Plus le diamètre ou la densité d'armatures est important, plus le signal reçu par l'appareil sera important (Voir la figure 5). Au contraire, plus l'épaisseur d'enrobage sera importante, plus le signal sera faible. Ainsi, la profondeur d'auscultation avec cet appareil est limitée couramment de l'ordre de 70 à 80 mm selon le type de bétons et le type d'armatures.

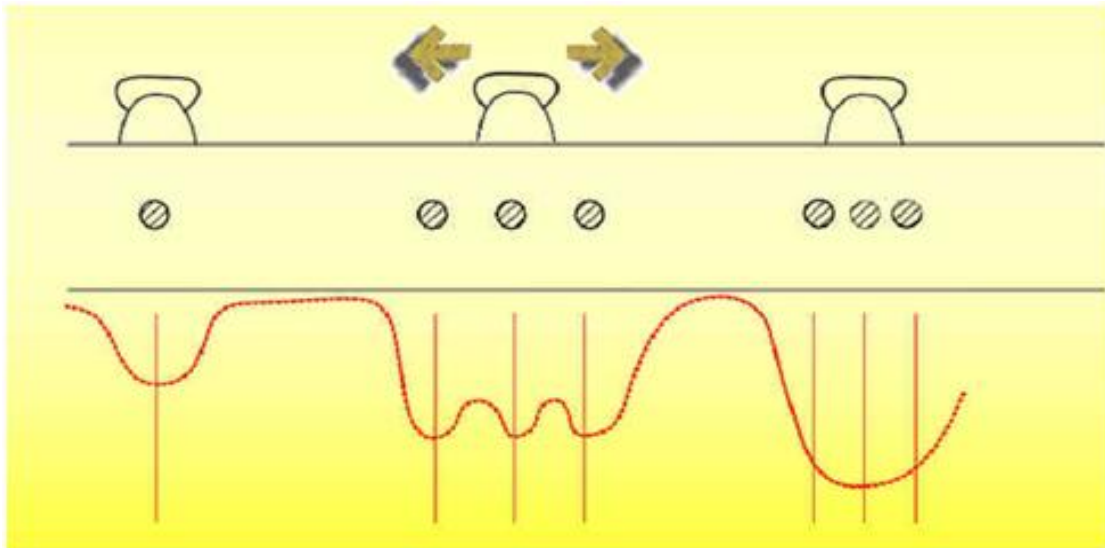


Figure 5: Réponse en fonction de la densité d'armatures [Moalic LA, 2011]

- *Technique radar*

Le principe de cette technique consiste à enregistrer les signaux temporels des ondes électromagnétiques qui se propagent et se reflètent partiellement à chaque interface de deux matériaux électro-magnétiquement différents. La juxtaposition des signaux enregistrés lors du déplacement de l'antenne radar le long d'un profil permet d'obtenir une image radar correspondant à une coupe temps en profondeur de l'élément ausculté.

Par ailleurs, il est nécessaire de connaître la vitesse ou l'amplitude des ondes électromagnétiques dans le béton pour transformer une coupe-temps en section. Car la vitesse et l'amplitude de l'écho radar dépendent de la constante diélectrique du matériau qui est dépendant des teneurs en eau et en chlorures des bétons.

Un avantage principal de cette technique est l'auscultation totalement non destructive et rapide à grande échelle et en profondeur (dépendant de la permittivité du milieu). Il est possible d'observer des signaux radars directement sur l'écran du système d'acquisition. Cette technique est souvent réalisée en premier car les mailles d'armature sont repérées à l'avance. Les positions des axes des armatures sont par la suite tracées sur la surface auscultée. Le radar permet aussi [Nguyen NT, 2014] la localisation rapide des cavités et des défauts (vides, fissures, délaminages) ainsi que l'évaluation des épaisseurs des différents matériaux (sol en place, remblais, éléments de structure...).

Cette technique peut être également utilisée comme une technique complémentaire en combinaison avec d'autres essais non destructifs plus locaux (résistivité électrique, ultrason) pour améliorer l'évaluation des propriétés des bétons (ex. saturation, porosité, résistance mécanique).

Les applications du technique radar sont présentées dans les normes ASTM D4748, ASTM D6087, ASTM D6429-99, ASTM D6432-99.

### 1.3.2. Caractérisation de l'état de corrosion des armatures par des méthodes électriques

Les méthodes électriques sont souvent utilisées pour caractériser l'état de corrosion des armatures dans le béton. Les techniques disponibles sont listées comme suivantes: le potentiel de corrosion, la résistance de polarisation (vitesse de corrosion) et la résistivité électrique.

- *Potentiel de corrosion*

L'essai de potentiel de corrosion est l'essai le plus fréquemment utilisé pour détecter les zones de corrosion actives des éléments en béton armé.

Il s'agit de mesurer, à l'aide d'un voltmètre à haute impédance, la différence de potentiel entre l'armature du béton mise à nu (la connexion nécessite un forage) et une électrode de référence placée sur le parement de béton auscultée (Figure 6). Il est important d'assurer la conductivité électrique par un mouillage de la surface du parement. Une fois les branchements faits, il faut réaliser les mesures des potentiels des zones auscultées en déplaçant l'électrode de référence.

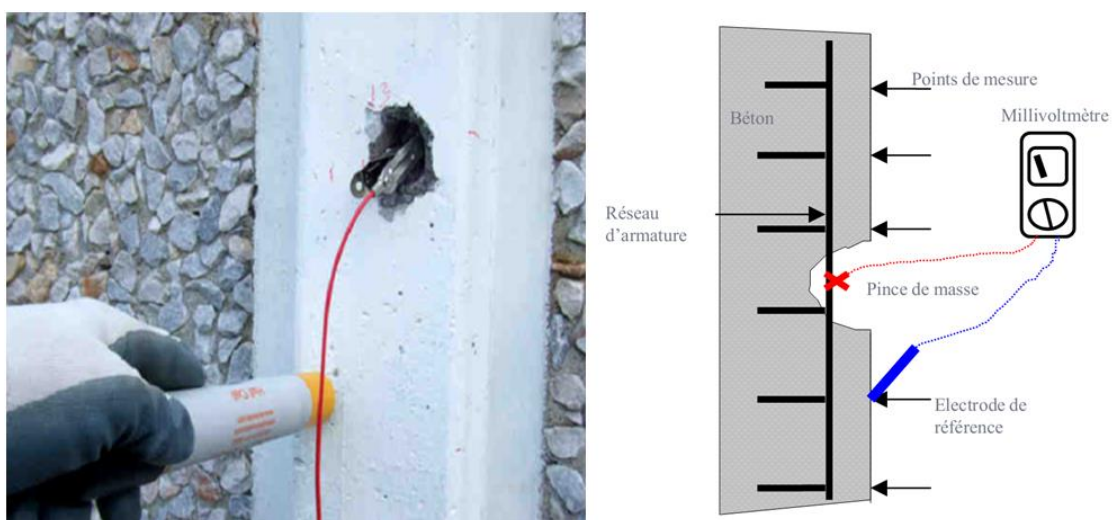


Figure 6: Mesure du potentiel de corrosion [Moalic LA, 2011].

En effectuant ainsi des mesures en de nombreux points d'un élément, il est possible de présenter les résultats sur une cartographie complète de potentiel électrique (figure 7) et les interprétés par des seuils représentatifs d'une probabilité de corrosion. Ces seuils sont recommandés dans la norme ASTM C876-91 et la RILEM TC 154-EMC (2003).

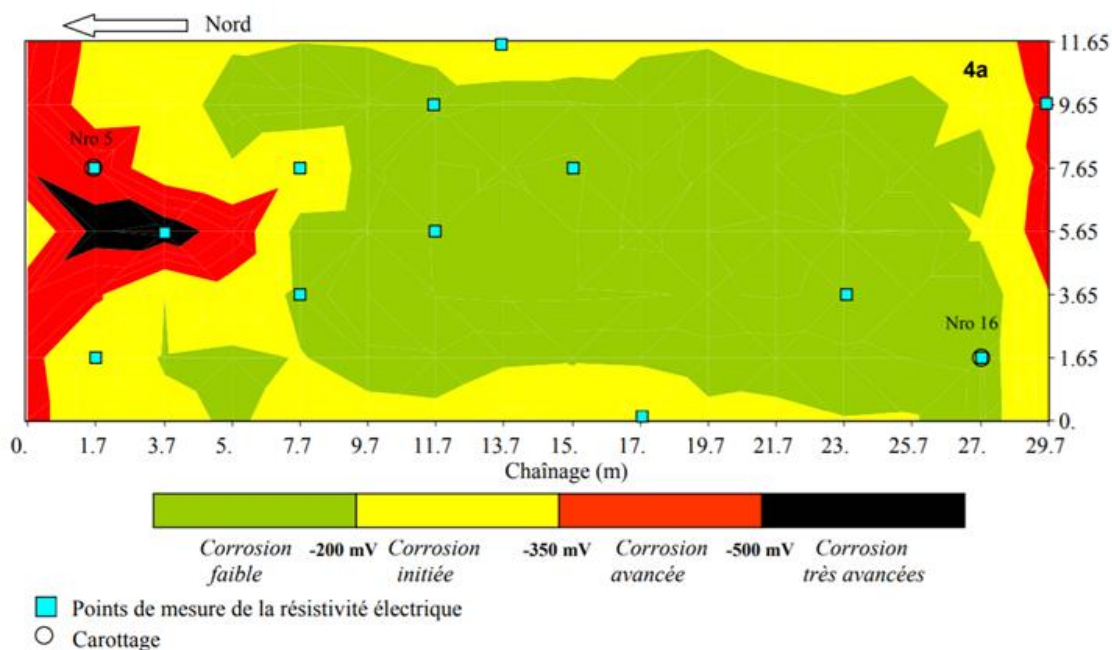


Figure 7: la cartographie de potentiel de corrosion [SIAD A, 2018].

- La résistivité électrique

L'objectif de cette technique non-destructive est de mesurer la résistivité apparente des bétons de surface à l'aide d'une sonde Wenner à 4 électrodes alignées et équidistantes (Voir figure 8).

Elle est basée sur la diffusion d'un champ électrique dans un volume de béton situé sous la surface d'auscultation. Un courant électrique continu « I » est injecté dans le béton à l'aide de deux électrodes et une différence de potentiel résultant de ce champ électrique « V » (réponse du milieu) est mesurée entre deux autres électrodes. La résistivité « ρ » calculée dépend de l'espacement des électrodes « a ».

$$\rho = 2 \pi a V / I \text{ [k}\Omega\text{cm]}$$

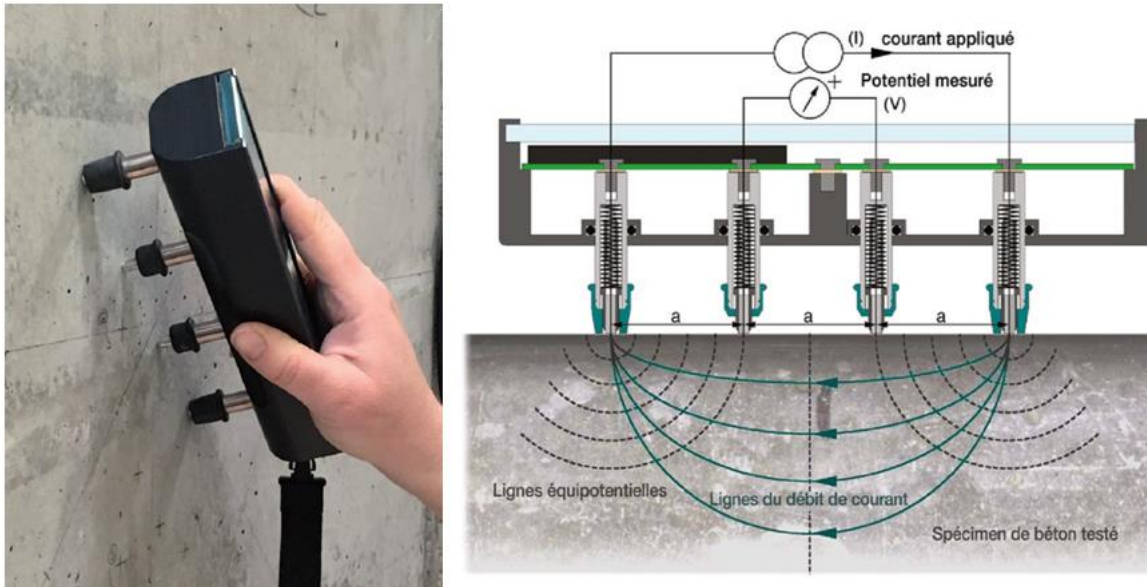


Figure 8: Résistivimètre de type Wenner

Les résultats des mesures de la résistivité électrique se présentent souvent sous forme de carte des iso-valeurs qui permet de quantifier la variabilité des bétons, localiser les zones de corrosion d'armature, Cartographier les gradients d'humidité ou de pollution ionique.

La recommandation RILEM TC 154-EMC (2001) présente une description générale de méthodes pour la mesure sur site de la résistivité du béton.

La mesure de la résistivité électrique sert d'abord comme une technique complémentaire aux mesures de potentiel de corrosion et la résistance de polarisation pour une meilleure évaluation de l'état de corrosion des armatures.

- La résistance de polarisation

La mesure de résistance de polarisation repose sur la réponse du système acier-béton soumis à une faible perturbation électrique.

Elle dépend de l'épaisseur et de la résistivité électrique du béton d'enrobage. Les résultats s'expriment en termes de vitesse de corrosion, en millimètre d'acier perdu par an (mm/an). Les niveaux de corrosion sont classés dans la recommandation RILEM TC 154-EMC (2004).

Mesure de la vitesse de corrosion caractérise l'activité de corrosion, fournit une grandeur caractéristique quantitative de l'état instantané de corrosion, sous forme d'une cinétique de perte de métal.

#### **1.4. Méthodes radiographiques**

La radiographie est basée sur l'atténuation du rayonnement X ou  $\gamma$  (gammagraphie) émis par une source artificielle, en fonction de la nature, de la densité et de l'épaisseur du matériau traversé. Le résultat obtenu se présente sous forme d'une image en niveaux de gris. En cas de présence de défaut, ceci engendrera généralement des teintes plus sombres (présence d'air ou de gaz par exemple) ou parfois plus claires (présence d'inclusions solides particulières).

L'application de ces techniques concerne tous les types de structure, et les différents matériaux de construction (le béton, le béton armé, le béton précontraint, la pierre, les métaux, etc). Elle est une technique très fiable qui permet de :

- Observer les cavités présentes dans le matériau et les coulis d'injection dans les conduites de précontrainte ;
- Repérer les conduites, les câbles précontraints et les armatures ainsi que leurs diamètres ;
- Identifier les fils ou torons détendus ou rompus, les reprises de bétonnage, hétérogénéité, discontinuités de matière au droit des joints de construction, etc.

Cette technique nécessite un accès aux deux faces de la structure à étudier et elle est souvent utilisée à l'aide de films positionnés à la face opposée de la surface auscultée. Il s'agit d'une technique coûteuse, complexe, et d'exigences en matière de formation et de réglementation. Elle est courante jusqu'à une épaisseur de 60 cm, mais l'utilisation des rayons X à haute énergie produits par les accélérateurs permet d'atteindre 120 cm.

La mesure de radiographie est normalisée conformément aux normes françaises NF A 09-202 apparue en 1999, NF EN 25580, NF EN 1330-3, NF EN 584-1, NF EN 584-2.

#### **1.5. Méthodes thermiques**

Les méthodes thermiques sont connues dans le domaine d'auscultation non destructive sous forme de techniques de thermographie infrarouge.

Les techniques de thermographie infrarouge sont classées par la nature de source thermique en deux groupes principaux : la thermographie infrarouge passive et la

thermographie infrarouge active. La technique la plus souvent utilisée pour l'auscultation d'ouvrages de construction et la mise en évidence d'anomalies c'est la thermographie infrarouge passive.

Le principe est basé sur le gradient de températures sous-jacentes naturelles ou artificielles du matériau hétérogène présentant une anomalie (discontinuité) ou un défaut (cavité, délaminage, décollement, fissure), un tracé d'humidité, un foyer d'incendie, etc.

C'est une technique non destructive à grand rendement. Les mesures peuvent être effectuées rapidement sans contact sur grande surface. Elle permet d'établir une carte de température de la surface auscultée à l'aide d'une caméra infrarouge mesurant des rayonnements thermiques. La carte de température s'affiche sous forme de thermo-grammes (une image bidimensionnelle de variations de température sous-jacente, qui permet une analyse qualitative des anomalies présentes à la surface auscultée). Les données enregistrées peuvent être étudiées à partir d'un ordinateur, équipé d'un logiciel de traitement d'image spécifique.

La thermographie infrarouge passive permet de localiser une anomalie, de distinguer certains types d'anomalies et de déterminer la dimension horizontale de ces anomalies. Mais avec une limitation au niveau de la détermination de la profondeur de défauts.

## **2. Investigations sur prélèvements**

### **2.1. Les sondages carottés**

Les sondages carottés peuvent avoir plusieurs objectifs. Elles peuvent être effectuées dans un dallage afin de permettre la réalisation d'essais géotechniques sur le sol en place, sous une structure, pour le caractériser. Elles permettent d'examiner visuellement des échantillons de matériaux constitutifs des ouvrages, ainsi que l'utilisation de ces échantillons en vue d'essais au laboratoire telles que les déterminations chimiques ou minéralogiques, essais mécaniques...

Cette méthode nécessite le recours à une carotteuse et il peut être nécessaire de repérer préalablement le ferrailage de l'élément afin d'éviter les armatures. Après le carottage il faut reboucher le trou à l'aide d'un produit adapté (béton ou mortier sans retrait).

## 2.2. Prélèvements d'aciers

Le prélèvement d'acier peut s'avérer utile notamment lorsqu'un recalcul d'une structure est demandé.

Dans ce cas, il est important de connaître les aciers présents dans un ouvrage. Ainsi, en prélevant des aciers, cela permet de déterminer leur type. mais aussi leurs caractéristiques mécaniques telle que la limite d'élasticité de l'armature. Tous ces éléments sont nécessaires afin de pouvoir déterminer quelles sont les charges pouvant s'appliquer sur l'élément et s'il est nécessaire de prévoir de renforcer la structure soit avec des tissus de fibre de carbone ou par ajout d'armatures.

Le prélèvement d'aciers peut se faire par tronçonnage de l'armature, après l'avoir préalablement dégagé du béton adjacent. Il est préférable de le faire dans des zones saines pour ne pas risquer de fragiliser encore plus la structure à cet endroit.

## 2.3. Test à la carbonatation

La technique adoptée pour mesurer la profondeur de carbonatation des bétons correspond au test à la phénolphthaléine réalisé sur des coupes fraîches de béton.

La phénolphthaléine est un indicateur de pH coloré dont le virage se situe aux alentours de 9. Il change de couleur selon le pH de l'élément avec lequel il entre en contact. Cela permet de différencier la zone carbonatée ( $\text{pH} < 9$ ) qui reste incolore, de la zone non carbonatée ( $\text{pH} > 9$  et allant jusqu'à 13) colorée en violet. La profondeur de carbonatation du béton à mesurée est l'épaisseur entre le parement extérieur et la zone à laquelle commence la coloration du béton.

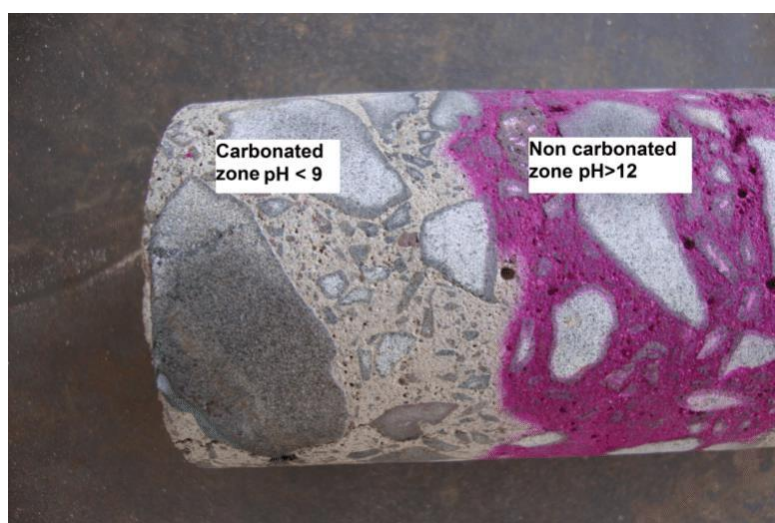


Figure 9: La profondeur de carbonatation sur carotte [E Possan et al, 2017].



## **2.4. Analyse minéralogique complète du béton**

L'objectif est d'expertiser à l'aide d'analyses physico-chimiques un échantillon de béton suspecté de présenter une pathologie ou dont la composition est à évaluer.

L'analyse minéralogique détaillée permet de caractériser la compacité du béton, d'identifier la nature du liant et des granulats et de déterminer la formule simplifiée du béton (dosage en ciment, eau et granulats). Elle permet aussi de détecter la présence éventuelle de substances délétères à l'origine des désordres observés sur structure (gels d'alcali-réaction, ettringite différée, thaumasite, etc.) et de diagnostiquer des bétons incendiés.

Cette analyse peut éventuellement être complétée par des essais ou des mesures spécifiques, en fonction de la pathologie précise que l'on cherche à expertiser.

## **3. Choix des méthodes d'auscultation**

La sélection des méthodes d'auscultation dans un diagnostic d'ouvrage dépend de plusieurs paramètres:

- Du type de mission à réaliser ;
- De la nature des matériaux ;
- Du type de structure ;
- De l'environnement de l'ouvrage ;
- De l'état de l'ouvrage ;

Donc, il est primordial d'évaluer ces paramètres afin de mettre en œuvre les moyens adaptés pour répondre pleinement à la mission. D'autres considérations doivent être prises en compte lors du choix de méthodes telles que : la disponibilité et la fiabilité des étalonnages, la précision des résultats, l'aspect économique...

## **4. Complémentarité des essais**

Toutes les méthodes d'essai qui sont disponibles pour l'évaluation de béton souffrent de limitations, et la fiabilité est souvent remise en question, donc l'utilisation successive, combinée ou simultanée de deux ou plusieurs méthodes peut aider à surmonter certaines de ces difficultés, ainsi que l'information fournie par le couplage sera alors plus riche que la simple somme des informations fournies par chaque méthode.

## **Conclusion**

Ce chapitre s'articule sur l'auscultation des ouvrages et les différentes techniques disponibles et utilisées pour déterminer les types de pathologies qui affectent l'ouvrage ainsi que leur ampleur. Cela permet de faire des prévisions quant à l'évolution de ces endommagements et de mettre en œuvre la méthode de réparation la plus adaptée. Il faut s'assurer aussi que les techniques de réparation adoptées sont durables en travaillant sur l'origine du problème afin d'éviter l'apparition rapide de nouvelles pathologies similaires.

Les différents matériaux et méthodes de réparation des ouvrages endommagés sont le sujet du chapitre suivant.

## Chapitre 4 : Les principales techniques de réparation et de renforcement

### Introduction

Selon son état de dégradation, le traitement qu'il faut administrer au béton est différent. Il peut s'agir dans une première phase, de corriger des défauts d'esthétique tout en donnant au matériau sa protection naturelle. A un autre stade de la dégradation, il s'agira de reconstituer le matériau lui-même tout en évitant que le mal ne se reproduise. Et, si rien n'a été fait, alors qu'il en était encore temps, il deviendra indispensable de renforcer ou de renouveler la structure.

Le béton est un matériau poreux, sensible aux agressions du milieu extérieur. Lorsqu'il est attaqué, il ne peut plus jouer son rôle de protection naturelle vis-à-vis des aciers qui corrodent à leur tour. On distingue plusieurs stades de gravité dans l'évolution des dégradations :

- Au premier stade de dégradation, la stabilité de l'ouvrage n'est pas en cause, et son entretien ne sera pas très coûteux.
- Au deuxième stade de dégradation, les corrosions s'accélèrent, des réparations deviennent urgentes, mais encore simples à réaliser, certains risques apparaissent.
- Au troisième stade de dégradation, il y a danger pour la vie de l'ouvrage, les réparations et les renforcements représentent un investissement sérieux.

### 1. Traitement esthétique

Il s'agit plus de défauts d'esthétique que de dégâts profonds (fissures fines, efflorescences, trace de rouille). Il faut simplement reconstituer une protection sur la maçonnerie. Cette protection peut être fine ou mince. Elle doit :

- Être imperméable à l'eau, mais perméable à la vapeur d'eau pour que le mur puisse respirer ;
- Empêcher le passage du gaz carbonique, responsable de la carbonatation. Comme les molécules de CO<sub>2</sub> sont plus grosses que les molécules de vapeur d'eau, cette exigence peut être remplie par des revêtements adaptés qui se comportent comme des filtres.

Les protections existantes sont de deux types :

### **1.1. Les revêtements pelliculaires**

Ils peuvent être assimilés à des peintures ayant surtout un rôle d'imperméabilisation.

Une gamme très variée existe sur le marché :

- Les peintures acryliques
- Les peintures siliconées
- Les enduits plastiques épais : il existe des procédés qui, en couvrant la maçonnerie d'une protection de ce type, assurent une étanchéité par leur souplesse, ces enduits sont capable de ponter les fissures susceptibles d'apparaître lors du vieillissement de l'ouvrage.

Le mode d'emploi de toutes ces peintures est simple, mais leur efficacité dépend de la situation de l'ouvrage et du type d'agressions auquel il est soumis.

### **1.2. Les revêtements minces**

Ce sont essentiellement des enduits qui constituent une protection plus épaisse que les peintures. En plus des qualités déjà citées, il est essentiel que ces revêtements possèdent une bonne adhérence sur le support. On utilise généralement des mortiers :

- **Mortiers de ciment hydraulique amélioré avec une résine en émulsion**

La résine, en enrobant les grains de ciment, permet d'obtenir un mortier fermé, donc plus imperméable, d'un mortier de ciment traditionnel. La qualité principale de ces revêtements est de reconstituer sur le support une nouvelle protection à pH élevé qui stoppe le processus de carbonatation des bétons et les protégés.

- **Mortiers à base de liant époxydique**

Le liant n'est dans ce cas constitué que d'une résine époxydique. Donc il faut faire attention au pourcentage de charges contenues dans la résine, car s'il est trop faible, la porosité du mortier ainsi réalisé ne sera pas suffisante pour assurer le passage de la vapeur d'eau. D'autre part, un tel mortier possède un coefficient de dilatation thermique important. Il ne peut donc pas être employé en ré-surfacement de façade exposée à de trop grandes variations thermiques, car il se décollerait rapidement.

## **2. Réparation non structurale**

Les signes visibles sont des fissures plus ou moins grandes, des épaufrures, de fortes traces de rouille. Les dégâts sont déjà importants et il est nécessaire de reconstituer les sections atteintes.

### **2.1. Les aciers**

Une fois nettoyés, les aciers doivent être à nouveau protégés. Plusieurs solutions peuvent être proposées :

- Une protection imperméable : on utilise généralement un film époxydique badigeonné ou pulvérisé directement sur les armatures. Le film permet, s'il reste poisseux, un bon accrochage du mortier de réparation ;
- Un primaire : qui joue le rôle d'inhibiteur de corrosion, mais dans certains cas, ce film peut occasionner un mauvais accrochage du mortier ;
- Enfin, le mortier anticorrosion, on peut reconstituer un milieu passivant autour des armatures en badigeonnant sur les aciers une barbotine de ciment additionnée de résines miscibles favorisant l'adhérence sur acier.

### **2.2. Le béton**

Pour que la réparation soit durable, il faut qu'elle possède :

- Une adhérence parfaite au support : ce qui nécessite un bon nettoyage de la zone à réparer et exige un excellent pouvoir d'accrochage du mortier de réparation ;
- Des résistances mécaniques au moins comparables à celles du support ;
- Une bonne imperméabilité à l'eau afin d'éviter les effets destructeurs du gel et de la pénétration d'agents agressifs ;
- Un module d'élasticité légèrement inférieur à celui de la pièce à réparer pour éviter « l'effet de coin » sous les contraintes appliquées ;
- Un coefficient de dilatation proche ou égal à celui de support (en cas de chocs thermiques ou d'écart importants de température)

Trois solutions s'offrent alors :

- Mortiers de ciments additionnés de résine en émulsion
- Mortiers à base de liants époxydique
- Bétons conventionnels

Fondamental : Ces réparations étant faites, il faut prévoir une protection complémentaires.

#### *Fondamental*

---

Ces réparations étant faites, il faut prévoir une protection complémentaires.

##### *2.2.1. Mortiers de ciments additionnés de résine en émulsion*

Ils remplissent parfaitement les exigences citées et conviennent dans la plupart des cas. Les résines miscibles mélangées à l'eau de gâchage des mortiers les rendent plus plastiques et maniables, augmentent les résistances à la traction et l'allongement avant rupture, favorisent l'adhérence. Les mortiers à base de ciment ont aussi l'avantage de recréer une protection alcaline des aciers et d'en assurer la passivation. Les meilleurs produits de réparation sont les « mortiers prêts à l'emploi » en deux composants : l'un étant la résine en émulsion, l'autre le ciment et la charge spéciale. Ces mortiers sont parfaitement dosés, calibrés, sont donc étanches à l'eau mais imperméables à la vapeur. Leurs caractéristiques physiques et mécaniques sont garanties. Ils peuvent contenir des fibres synthétiques courtes, les rendant thixotropes, ce qui, dans beaucoup d'utilisations supprime les coffrages.

##### *2.2.2. Mortiers à base de liants époxydique*

Ils sont utilisés lorsque la réparation exige des résistances mécaniques élevées, une bonne résistance chimique ou une remise en service rapide (Un tel mortier atteint 90% de ses résistances mécaniques finales en 24 heures à 20°C) et dotés d'excellentes propriétés d'adhérence. On peut les utiliser pour faire adhérer du béton à des surfaces, ou pour ressouder des portions d'une section de béton en service fissurées ou détachées. Une fois durci, le composé ne se ramollit pas, ne coule pas et ne suint pas – du moins dans les conditions d'emploi ordinaires.

##### *2.2.3. Bétons conventionnels*

Les réparations profondes en béton conventionnel sont généralement utilisées lorsque la surface à réparer est plus grande que 1000 cm<sup>2</sup> et la profondeur dépasse 150 mm ou lorsque la profondeur de la réparation dépasse de 25 mm le niveau inférieur des aciers d'armature.

### **2.3. Fissures**

Il faut distinguer essentiellement les fissures actives ou vivantes et les fissures stabilisées ou mortes.

Les fissures actives doivent être traitées comme un joint de dilatation :

- Créer une en gravure en V ou en U le long de la fissure, de préférence à la scie à béton ;
- Insérer un fond de joint (polyéthylène par exemple) ;
- Appliquer un mastic élastomère qui, grâce à son bas module d'élasticité, accompagnera les variations dimensionnelles de la fissure.

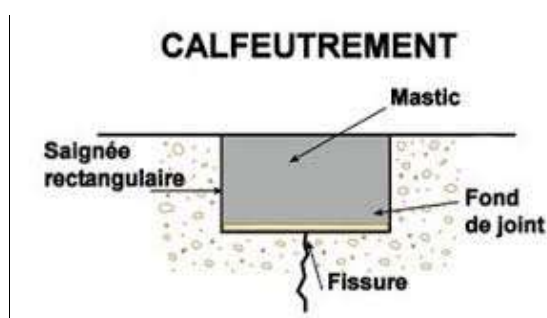


Figure 1 : Calfeutrement

De cette façon, la fissure est colmatée définitivement et en profondeur afin de la protéger contre toute pénétration d'humidité et d'air, mais sans bloquer les mouvements de la fissure. En plus, ça ne permettra plus l'évolution de la corrosion. Cette technique s'appelle **LE CALFEUTREMENT**.

Si la fissure active concerne une paroi soumise à une pression d'eau, on peut l'injecter en profondeur avec une résine qui formera un gel élastique.

Les fissures stabilisées sont traitées par **INJECTION PROFONDE** avec des résines organiques qui va rétablir le monolithisme du béton en permettant la transmission des contraintes mécaniques. Il s'agit d'un recollement des éléments du béton. Les résines époxydes fluides sont les plus utilisées car elles pénètrent même dans des fissures de quelques dixièmes de millimètres.

Lorsque les fissures sont plus larges, les coulis de ciment, fluidifiés ou mélangés à des résines, peuvent être injectés car ils ont l'avantage de redonner une protection passivante aux aciers qui traversent la fissure.

Il existe d'autres techniques de traitement des fissures. A savoir :

**LE CACHETAGE** : il a pour but d'obturer provisoirement une fissure pendant l'injection afin de contenir le liquide injecté dans la fissure jusqu'à sa prise.

**LE PONTAGE** : il est destiné à recouvrir une fissure au moyen d'un produit souple adhérent à la surface du support (revêtement, feuille préfabriquée...). Afin de rétablir une étanchéité à l'air ou à l'eau ou empêcher la pénétration de matières solides en laissant libres les mouvements de la fissure.

**LA PROTECTION GÉNÉRALISÉE** : Ce traitement consiste à mettre en œuvre sur la surface de la structure fissurée un revêtement qui ferme les fissures. Il est applicable lorsque la fissuration est anarchique et concerne l'ensemble du support.

Le choix des produits à utiliser est fonction de :

- L'ouverture des fissures
- L'activité des fissures.
- La présence éventuelle d'eau

### **3. Renforcement ou réparation structurale**

A ce stade, il y a lieu de vérifier que la structure peut encore remplir son rôle. Si tel n'est pas le cas, il faut la remplacer ou la renforcer. Les renforcements feront appel à toute une technologie particulière.

La solution retenue pour renforcer un élément doit satisfaire aux impératifs suivants :

- le monolithisme de l'élément doit être réalisé, afin de permettre un fonctionnement mécanique satisfaisant ;
- les qualités des matériaux d'adjonction doivent être au moins égales à celles des matériaux constitutifs de l'ouvrage à renforcer ou à réparer.

Les procédés varient suivant la nature des éléments d'ossatures qu'ils concernent et suivant la nature des désordres ou des insuffisances. Les plus courants, éventuellement utilisés en combinaison, sont décrits dans les paragraphes suivants.

#### **3.1. Armatures passives additionnelles**

La technique de réparation et de renforcement de structures par des armatures passives additionnelles consiste à enlever le béton endommagé ou pollué et à dégager les armatures longitudinales ou transversales corrodées. Après préparation du support (nettoyage, aspiration soufflage, repiquage du béton, élimination des



poussières et morceaux de béton et ragréage éventuel) et des armatures (décapage complet des armatures corrodées, par brossage métallique, repiquage, sablage, grenailage ou à l'eau sous pression, le dégagement des armatures doit se faire sur une longueur suffisante pour assurer le recouvrement des barres), les nouvelles armatures sont mises en place en respectant les dispositions constructives habituelles. Le raccordement des armatures est assuré par recouvrement, par soudure ou raboutage.

Les caractéristiques du mortier ou du béton de ré-enrobage des armatures remplacées doivent être compatibles avec celles du béton existant et l'agressivité de l'environnement de l'ouvrage. Le mortier ou le béton mis en place permet de reconstituer la géométrie initiale de la partie d'ouvrage concernée et enrober les nouvelles armatures. Il est mis en œuvre manuellement ou mécaniquement dans des coffrages ou projetés, selon le volume et la géométrie de la cavité à combler. Après durcissement du mortier ou du béton, la mise en place d'un produit ou d'un système de protection est souvent nécessaire pour améliorer la durabilité de la réparation.

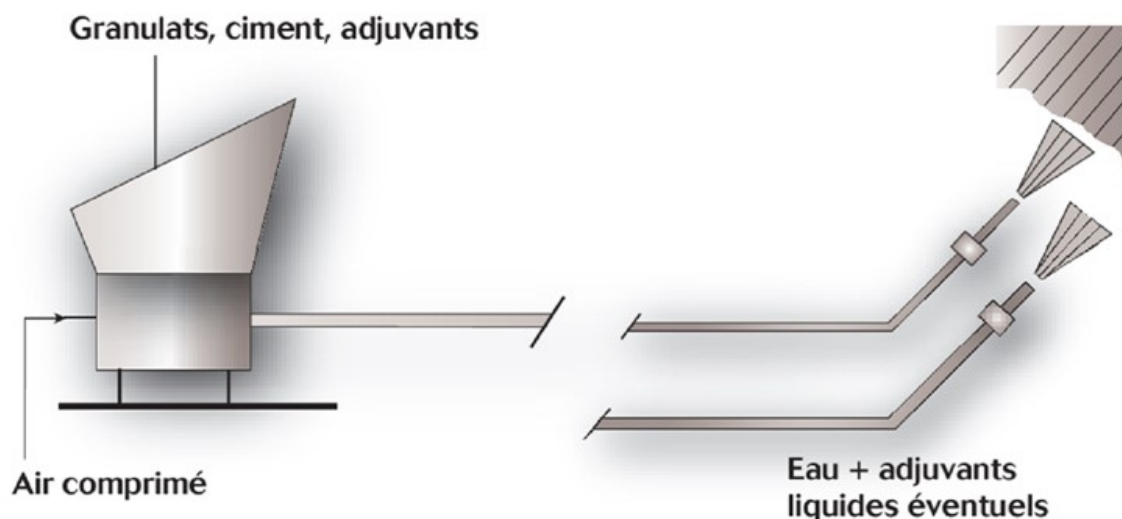
### **3.2. Béton projeté**

Cette technique, très au point et très utilisée tant pour le renforcement de structures insuffisantes ou défailtantes que pour la réparation d'ouvrages endommagés, exige pour sa mise en œuvre un personnel spécialisé. Le béton projeté peut être, ou non, combiné avec l'adjonction d'armatures complémentaires.

Il existe deux méthodes d'exécution, la projection est réalisée soit par voie sèche, soit par voie mouillée.

#### *3.2.1. La voie sèche*

Les constituants du matériau sont mélangés et malaxés à l'état sec, puis transportés dans un tuyau par pression d'air comprimé jusqu'à une lance de projection, et juste avant l'éjection du matériau on introduit l'eau, puis le mélange est projeté sur la paroi de l'ouvrage (Voir figure 2).



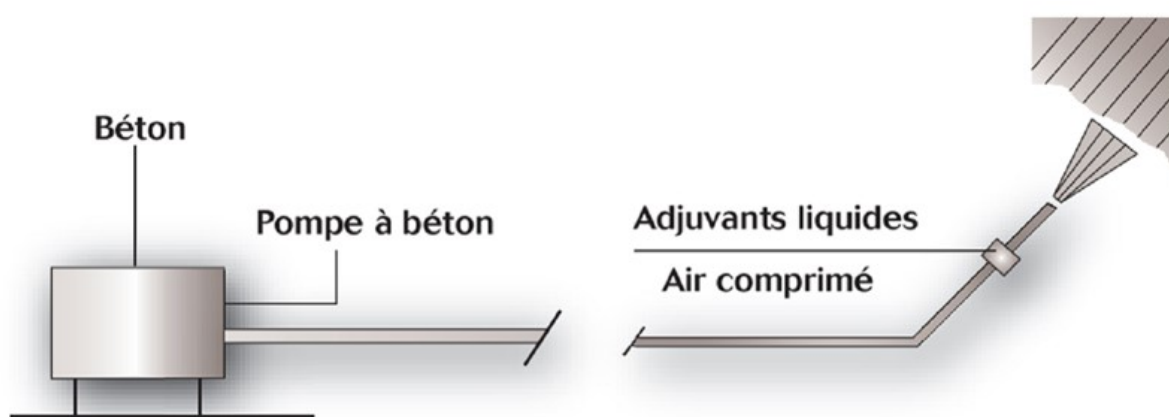
**Figure 2 : Projection par voie sèche**

Cette méthode assure une résistance élevée et une bonne adhérence au support. La grande vitesse de projection (de l'ordre de 100m/s) permet la pénétration à l'intérieur des fissures, joints ou cavités à grande profondeur.

Parmi les inconvénients de la voie sèche, les pertes importantes par rebondissement et la production de poussières rendant les conditions de travail plus difficiles.

### 3.2.2. La voie mouillée

Les constituants du matériau sont malaxés avec de l'eau et propulsés vers la lance où un jet d'air comprimé est introduit, le matériau est ensuite projeté (Voir Figure 3).



**Figure 3 : Projection par voie mouillée**

Cette méthode assure une composition uniforme de la couche projetée, avec des pertes limitées par la faible vitesse du jet (entre 10 et 40 m/s). La voie mouillée permet une amélioration des conditions de travail (pas de production de poussières), et des rendements importants avec des performances (résistance, retrait, adhérence) généralement suffisantes, grâce à l'emploi des adjuvants.

Parmi les inconvénients que peut présenter cette méthode, les distances de transport moins importantes, la difficulté à maintenir la maniabilité dans le temps et la nécessité du nettoyage des conduites suite aux interruptions de projection.

Le choix de la technique de projection est fonction:

- de l'importance du chantier. La technique par voie sèche qui offre une grande souplesse d'utilisation est privilégiée pour des chantiers de faible importance ou nécessitant des arrêts fréquents;
- de la nature des travaux à effectuer;
- des cadences de réalisation souhaitées: la technique par voie humide permet des capacités de production élevées;
- des performances mécaniques à obtenir: la technique par voie sèche permet d'obtenir des résistances élevées.

L'adjonction de fibres (dosage 35 à 50 kg/m<sup>3</sup>) offre au béton projeté des propriétés complémentaires, fonction du type de fibres: limitation des effets du retrait, amélioration des résistances mécaniques, meilleure cohésion du béton à l'état frais.

### **3.3. Précontrainte additionnelle**

Contrairement aux techniques présentées ci-dessus et qui consiste en l'ajout de matière (béton ou acier), la précontrainte additionnelle consiste en un ajout de force dans des ouvrages existants en vue soit de leur redonner leur état de service initial, soit de leur donner un nouvel état de service. Elle permet, en effet, d'appliquer des efforts d'une intensité connue, en des points et suivant des directions bien définies, capables de s'opposer aux efforts générateurs des désordres. Elle est réalisée le plus souvent par la mise en œuvre d'armatures de précontrainte (câble ou barres).

La précontrainte additionnelle peut être employée pour traiter une grande variété d'ouvrage (ponts, barrages, réservoirs, bâtiment). Cette méthode est particulièrement adaptée au renforcement en flexion et vis-à-vis de l'effort tranchant par l'emploi

d'étriers actifs. En revanche, la mise en œuvre de tout ce qui concerne la protection définitive des armatures nécessite un niveau particulier de qualité.

De plus, le recours à des unités de plus en plus puissantes pour en limiter le nombre implique une étude particulièrement soignée des zones d'ancrage, très fortement sollicitées.

### 3.4. Renforcement par composites collés à la surface

Le développement dans le domaine des produits organiques de synthèse permet aux matériaux composites de devenir l'alternative des tôles métalliques collées dans le domaine de renforcement des constructions. Ils sont utilisés pour le renforcement d'éléments structuraux en béton armé, tels que les poutres, les dalles, les colonnes et les murs.

La plupart des renforts composites utilisés dans le génie civil sont les lamelles de carbone (pultrudés) ou des tissus secs. Les avantages de l'utilisation de ces renforts sont nombreux. Parmi ces avantages la forte rigidité longitudinale, l'insensibilité à la corrosion et la souplesse des tissus et plats pultrudés permettant une grande rapidité et facilité de mise en œuvre.



**Figure 4 : Renforcement par des matériaux composites**

#### 3.4.1. Plats pultrudés

Cette méthode consiste à coller directement une ou des plats composites à l'aide d'une colle époxyde thermodurcissable sur la surface du béton. Systèmes légers de manutention simple nécessitant peu de moyen de mise en œuvre. Il s'adapte aux formes du support et a une accessibilité réduite.

### 3.4.2. Tissus imprégnés

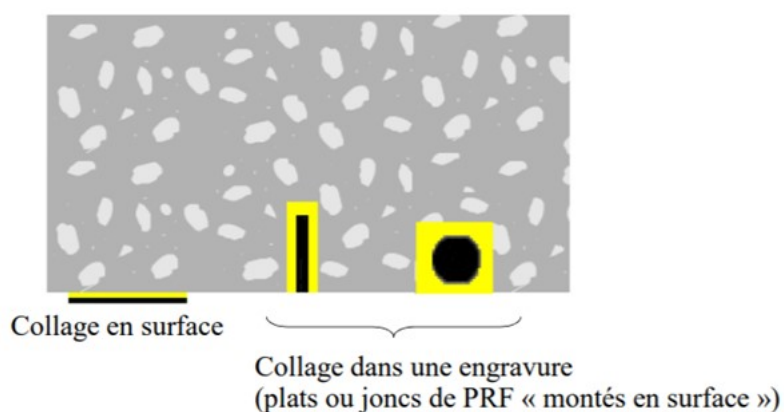
Le procédé tissu imprégné permet de renforcer structurellement des ouvrages de génie civil ou des bâtiments en béton armé. Très souple d'utilisation, il constitue une alternative avantageuse à la technique classique des tôles métalliques collées. La mise en œuvre s'effectue par marouflage d'une bande souple imprégnée de résine sur le support à renforcer.

En effet, ce procédé modifie les caractéristiques mécaniques de la structure. Il doit faire l'objet des mêmes précautions qu'un renforcement classique.

Les principales applications de ce mode de renforcement portent sur le renforcement des poutres en béton vis-à-vis de la flexion et de l'effort tranchant et sur le renforcement ou le confinement de poteaux en béton armé.

### 3.5. Renforcement par composites collés dans des engravures

La méthode consiste à sceller des joncs ou des plats de polymères renforcés de fibres de carbone ou de verre dans des engravures déjà préparées sur la surface de poutre à renforcer. Par opposition à la technique de renforcement externe. L'usage de cette méthode protège mieux le renforcement des sollicitations externes tout en assurant un bon encrage des renforcements. Cependant cette technique ne peut être utilisée que sur les structures avec un béton d'enrobage suffisant.



**Figure 5 : Positionnement des renforts externes**

### Conclusion

Les phénomènes de dégradation du béton sont complexes et variés. Il est nécessaire de les connaître afin de pouvoir les détecter facilement. Un bon

diagnostic est indispensable pour déterminer le choix de travaux à entreprendre et les produits à utiliser.

Rappelons qu'il est toujours plus économique de protéger un ouvrage, de lui assurer un entretien et un contrôle périodique que d'attendre une dégradation avancée pour intervenir car cette intervention tardive sera forcément coûteuse.

## **Chapitre 5 : Surveillance et entretien des constructions**

### **Introduction**

Les ouvrages d'art constituent un patrimoine important des infrastructures. Ils doivent être surveillés tout au long de leur durée d'utilisation, diagnostiqués, et faire l'objet d'un entretien régulier.

### **1. Gestion des ouvrages d'art**

#### **1.1. Le recensement des ouvrages**

Pour le maître d'ouvrage, il est capital de connaître les ouvrages d'art qui relèvent de sa compétence.

C'est pourquoi, toutes les opérations liées à la gestion des ouvrages doivent être précédées par une phase de reconnaissance et de recensement.

Les données issues du recensement comprennent au minimum le type d'ouvrage, sa localisation et ses caractéristiques géométriques. La date ou la période de construction constituent également des données importantes car elles renseignent sur les typologies de conception, de dimensionnement et d'exécution et donc sur les particularités de la gestion à prendre en compte.

Toutes les informations collationnées doivent être vérifiées sur le terrain pour tenir compte d'éventuelles transformations ou informations non disponibles dans les dossiers.

Diverses méthodes existent pour faciliter et synthétiser les données issues du recensement sous forme de fiches d'identification, de bases de données, etc.

#### **1.2. Le dossier d'ouvrage**

Il est capital de disposer d'un dossier qui rassemble toutes les caractéristiques des ouvrages et l'historique de l'ensemble des actions effectuées. Néanmoins, il est fréquent que des documents aussi importants que les plans d'exécution et les notes

de calculs des ouvrages soient perdus. Cela n'empêche pas de constituer un dossier avec les renseignements disponibles et les actions effectuées.

### **1.3. La surveillance de l'état des ouvrages**

La surveillance de l'état des ouvrages est déterminante pour leur entretien et la sécurité des usagers.

La surveillance a un caractère systématique, périodique et exhaustif. Sa consistance varie suivant la nature et l'importance des ouvrages et les moyens du gestionnaire. Elle consiste à suivre l'évolution des ouvrages à partir d'un état de référence. Cet état est défini à l'issue de sa construction et actualisé tout au long de la vie de l'ouvrage car il sert de base de comparaison pour évaluer périodiquement l'évolution de son état. Ainsi des travaux majeurs (remise en état, transformation telle qu'un élargissement ou une extension) qui ont modifié l'ouvrage peuvent aussi en modifier l'état de référence. La périodicité de la surveillance est bien évidemment en fonction de la nature et de l'état de l'ouvrage.

## **2. Les actions de surveillance**

La surveillance comprend plusieurs niveaux de contrôles : selon la conception et l'état structurel des ouvrages et leur complexité technique. Elle fait l'objet d'une programmation suivant une périodicité définie par le maître d'ouvrage.

### **2.1. Les actions systématiques de surveillance**

#### **2.1.1. Contrôle ou surveillance périodique**

Un contrôle ou surveillance périodique concrétisé par un procès verbal ou un rapport synthétique qui mentionne : l'identification de l'ouvrage, la date de la visite, les anomalies constatées ainsi que les signes d'évolution manifeste, les parties de l'ouvrage qui n'ont pu être évaluées et pour quelles raisons (inaccessibilité, fondations immergées, présence de végétation, etc.). Ce contrôle est fait, sans moyen d'accès spécifique, par les agents désignés par le gestionnaire et ayant reçu une formation. La périodicité est généralement courte ; un an à trois ans maximum.

L'objectif est de relever la nature des travaux d'entretien courant et des petits travaux d'entretien spécialisé à réaliser. Il est recommandé que les renseignements recueillis en matière de désordres fassent l'objet de relevés, de photos, de croquis permettant



une appréciation desdits désordres. Ce constat est archivé dans le dossier d'ouvrage.

### **2.1.2. Visites ou des inspections détaillées périodiques**

L'objectif est d'établir un bilan de l'état de l'ouvrage inspecté et de vérifier qu'il n'y a pas de désordre apparent menaçant la sécurité des usagers. Cette action de surveillance, qui se veut exhaustive, nécessite l'intervention de personnel spécialisé retenus en fonction de la typologie des ouvrages. Sa réalisation des inspections détaillées nécessite de mobiliser des moyens d'accès (moyens nautiques, passerelles ou nacelles de visite...) et d'adapter les conditions d'exploitation de l'ouvrage pendant la visite.

La périodicité est fonction du type d'ouvrage, de sa sensibilité à son environnement et aussi de son état relevé au décours des contrôles périodiques. La périodicité peut être de trois ans, six ans ou neuf ans pour les ouvrages les plus robustes.

Ce contrôle peut utilement être groupé avec l'exécution de travaux d'entretien courant de l'ouvrage. A partir de la surveillance qu'il aura mise en place, le maître d'ouvrage pourra alors définir sa stratégie d'entretien et de réparation.

## **2.2. Les actions particulières de surveillance**

### **2.2.1. Inspection détaillée initiale**

L'inspection détaillée initiale définit l'état de référence d'un ouvrage neuf ou l'état de référence d'un ouvrage après de grosses réparations. Pour un ouvrage neuf cette visite doit avoir lieu avant la mise en service.

### **2.2.2. Inspection détaillée de fin de garantie**

L'inspection détaillée de fin de garantie permet la vérification de l'état d'un ouvrage ou de parties d'ouvrage sous garantie contractuelle ou sous responsabilité décennale. La visite ou l'inspection détaillée nécessaire à cette vérification doit intervenir suffisamment tôt avant l'expiration des délais de garantie ou de responsabilité.

### **2.3. Les actions conditionnelles de surveillance**

L'objectif est de compléter les actions classiques de surveillance organisée ou de fournir des résultats utiles à la réalisation d'un projet de réparation.

Les actions conditionnelles de surveillance comprennent :

- les visites ou inspections exceptionnelles doivent être réalisées, à l'initiative du gestionnaire, dans le cas d'un désordre avéré ou suite à un phénomène naturel ou un évènement exceptionnel.
- les actions de surveillance renforcée ou de haute surveillance qui concernent des ouvrages dans un état critique.

Le déclenchement d'une action de surveillance conditionnelle est décidé après examen d'un procès-verbal de contrôle périodique, d'une inspection détaillée, à la suite de phénomènes naturels susceptibles d'endommager un ouvrage ou à cause de circonstances particulières.

#### **2.3.1. Haute surveillance**

Lorsque des désordres constatés sur un ouvrage paraissent susceptibles de mettre en cause la sécurité ou la tenue de l'ouvrage. Elle est destinée à suivre l'évolution d'un état jugé dangereux afin qu'il puisse être pris en compte dans le projet de réparation et à permettre de prendre en temps utile toutes les dispositions nécessaires pour maintenir la sécurité.

#### **2.3.2. Surveillance renforcée**

La surveillance est renforcée lorsque l'ouvrage est dans un état défectueux ou en cas d'incertitude sur l'origine, la nature et la cause de désordres, ou lorsque l'ouvrage a un caractère innovant et exceptionnel (mais sans risque, a priori, vis à vis de la sécurité).

### **3. L'entretien des ouvrages**

Tous les ouvrages d'art doivent être entretenus et, si nécessaire, réparés: on distingue les actions préventifs « entretien » et les actions curatifs « les réparations ».

Les opérations d'entretien préventives consistent à intervenir, soit systématiquement, soit sur la base d'une dégradation prévisible ou amorcée, sur tout ou partie d'un

ouvrage avant que celui-ci ne soit altéré. Elles visent à prévenir une altération, pour des raisons tant économiques que de sécurité de fonctionnement. Parmi ces opérations, on distingue l'entretien courant qui a un caractère « systématique » et l'entretien spécialisé qui a un caractère « conditionnel ».

La réparation consiste à remettre partiellement ou totalement en état un ouvrage altéré ; c'est une action « curative », qui vise à ramener l'ouvrage à son niveau de service initial. Elle peut résulter d'un déficit d'entretien courant ou spécialisé mais aussi d'autres causes.

### **3.1. L'entretien courant**

L'entretien courant comprend des tâches régulières et des tâches conditionnées par l'environnement et l'usage des ouvrages mais ne comprend pas les interventions structurelles. Il demande peu de moyens et peu de technicité, doit être réalisé de façon régulière en étroite liaison avec la surveillance continue. Ces travaux consistent habituellement en des opérations de nettoyage, dévégétalisation, de protection, de maintien en état et de traitement de désordres superficiels d'origine non structurelle.

Pratiquement toutes les opérations d'entretien courant peuvent être programmées ; elles doivent donner lieu à un constat qui mentionne notamment : l'identification de l'ouvrage, la date de l'intervention, l'indication des opérations effectuées. Il peut également contenir des indications sur l'entretien spécialisé à effectuer.

### **3.2. L'entretien spécialisé**

Malgré un bon entretien courant, l'ouvrage subit, avec le temps, des dégradations sous l'action de son environnement et de son exploitation. Les travaux d'entretien spécialisé portent pour l'essentiel sur les équipements et les éléments de protection et également sur les défauts mineurs de la structure qui ne remettent pas en cause la capacité portante de l'ouvrage. Ces travaux sont toujours décidés et définis après réalisation de constats (contrôles périodiques, inspections détaillées).

Il diffère de l'entretien courant par les moyens particuliers qu'il nécessite et par les techniques spéciales qu'il met en œuvre. L'entretien spécialisé ne peut être réalisé que par des entreprises spécialisées choisies en fonction des problèmes à résoudre. C'est l'ensemble des opérations d'entretien nécessitant :

- des moyens d'accès particuliers : échafaudages, nacelles, ...
- des engins et moyens de levage : pelles, vérins hydrauliques, ...
- l'emploi d'une main d'œuvre spécialisée, des produits de réparation spécifiques et des moyens de mise en œuvre appropriés.

## **Conclusion**

En tout état de cause, avant toute intervention, il est capital de réaliser un diagnostic afin de statuer sur la cause des désordres. Un retard ou des lacunes dans la mise en œuvre de l'entretien préventif se traduira par la nécessité de mettre en œuvre des actions curatives plus coûteuses. C'est pourquoi, la stratégie du maître d'ouvrage prend ici tout son sens et se concentre surtout sur le niveau d'entretien préventif à mettre en œuvre.