

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

# Table des matières



<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>I - Traitement esthétique</b>	<b>4</b>
<b>II - Réparation non structurale</b>	<b>5</b>
1. Les aciers .....	5
2. Le béton .....	5
3. Fissures .....	6
<b>III - Renforcement ou réparation structurale</b>	<b>8</b>
1. Armatures passives additionnelles .....	8
2. Béton projeté .....	9
2.1. La voie sèche : .....	9
2.2. La voie mouillée : .....	10
3. Précontrainte additionnelle .....	11
4. Tôles collées .....	11
5. Renforcement par composites collés à la surface .....	11
5.1. Plats pultrudés .....	11
5.2. Tissus imprégnés .....	12
6. Renforcement des composites collés dans des engravures .....	12
<b>IV - Conclusion</b>	<b>13</b>

# 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 comme le montre la figure 4.1.

- 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'accroissent, 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.



# Traitement esthétique



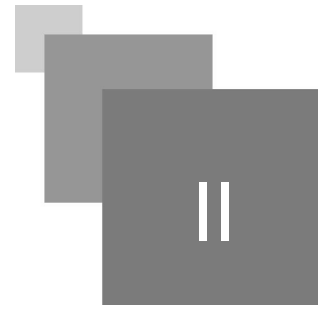
Il s'agit plus de défauts d'esthétique que de dégâts profonds (fissures fines, efflorescences, trace de rouille). Il faut simplement reconstituer une protection sur la maçonnerie. Cette protection peut être fine ou mince. Elle doit :

- 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 :

- Les revêtements pelliculaires
- Les revêtements minces

# 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.

## 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. 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)

Deux solutions s'offrent alors :

- Mortiers de ciments additionnés de résine en émulsion

- Mortiers à base de liants époxydique

## *Fondamental*

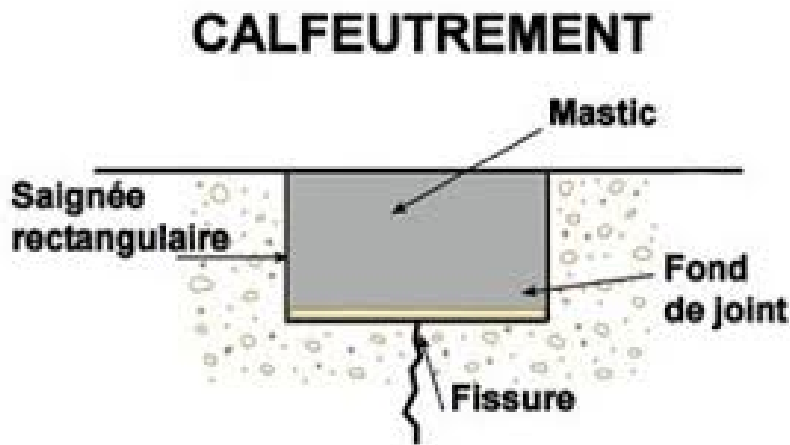
Ces réparations étant faites, il faut prévoir une protection complémentaires.

### 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 organique 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.



### Complément

---

Le choix des produits à utiliser est fonction de :

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

# 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.

## 1. Armatures passives additionnelles

Les techniques de réparation et de renforcement de structures par des armatures passives additionnelles concernent la mise en œuvre :

- d'armatures de béton armé (treillis ou cages d'armatures en acier au carbone ou en inox) ou en matériaux composites au sein de l'ouvrage après enlèvement local du béton par réalisation d'une saignée qui est ensuite rebouchée;
- d'armatures de béton armé en métal ou en matériaux composites en surface du béton autour de la partie d'ouvrage existante et liées à celle-ci puis enrobées par un ajout de béton coulé, projeté ou contre collé; de plaques (bandes, lamelles) ou de tissus en matériaux composites collés à la surface du béton; de tôles et plats collés de faibles épaisseurs (3 à 5mm) découpées en bande de faible largeur (300 à 500mm) et collées sur le béton par une résine époxydique (technique quasiment plus utilisée).

La réparation d'armatures passives intérieures au béton 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 broyage 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.

## 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.

### 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).

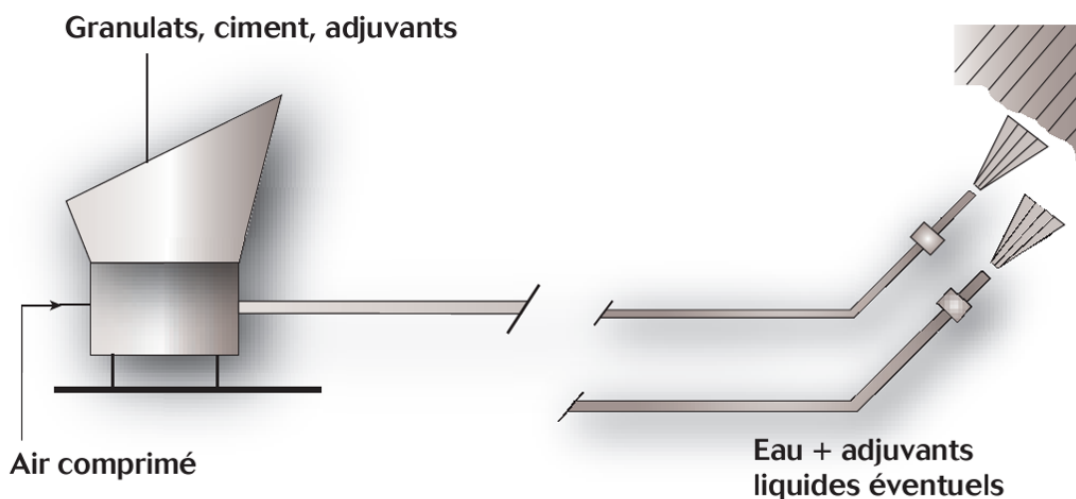


Figure 2 : Projection par voie sèche

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.

## 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).

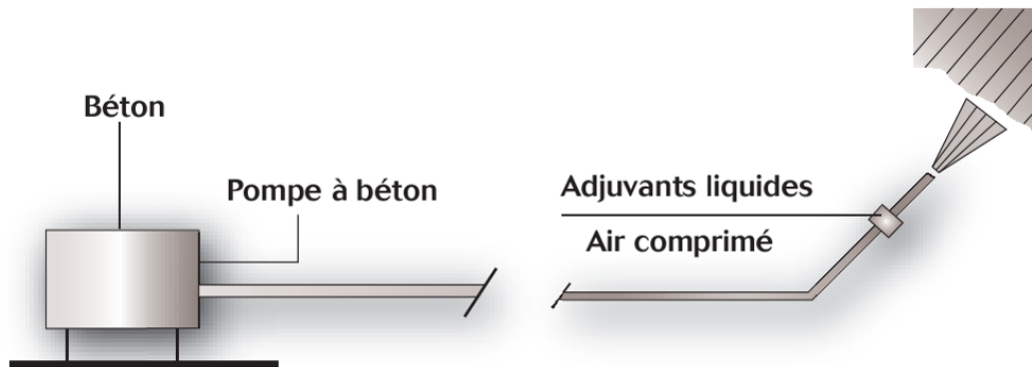


Figure 3 : Projection par voie mouillée

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.

### Complément

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. 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) [El Houssain R, 2004].

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 [Calgaro J. et al., 97].

### 4. Tôles collées

Le renforcement de structure par plats métalliques consiste à coller des plats en acier sur les faces tendues de structures en béton armé. La colle est une résine époxyde appliquée avec une épaisseur de 0,5 à 1 mm et les tôles d'acier, de qualité courante, ont une épaisseur normalement limitée à 3 mm. La préparation des surfaces, la mise en œuvre des colles, la réalisation du placage, etc., doivent impérativement être confiées à des entreprises spécialisées ou à des laboratoires [El Houssain R, 2004].

Ce procédé consiste en un apport d'armatures extérieures soit pour consolider un élément dont les dégradations mettent en péril la résistance, soit pour remplacer des aciers oubliés, ou mal positionnés.

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

Les techniques de renforcement par des matériaux composites se fait soit par des plats pultrudés soit des tissus imprégnés.

#### 5.1. 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.

## 5.2. 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.

## 6. Renforcement des 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 [Merdas A et al, 2015].

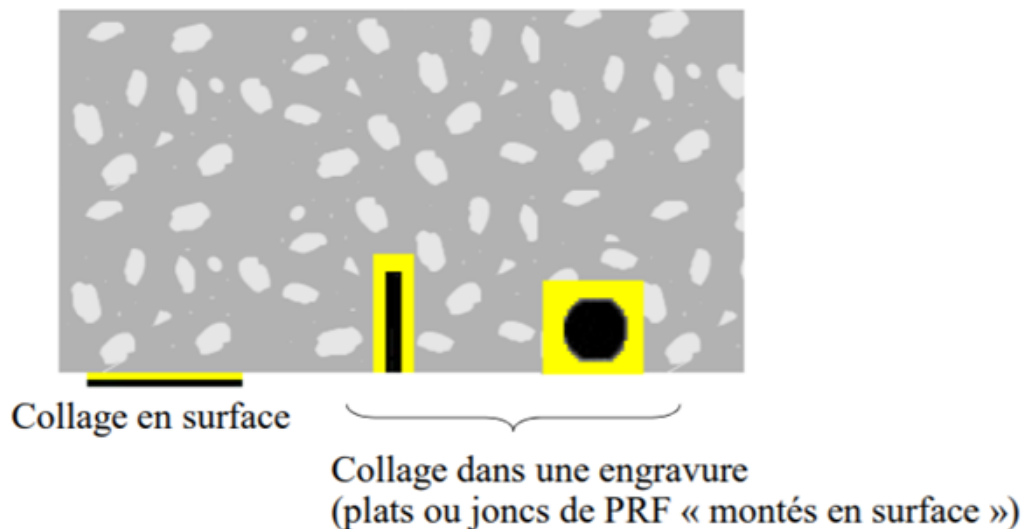


Figure 1 : Positionnement des renforts externes

# 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.

