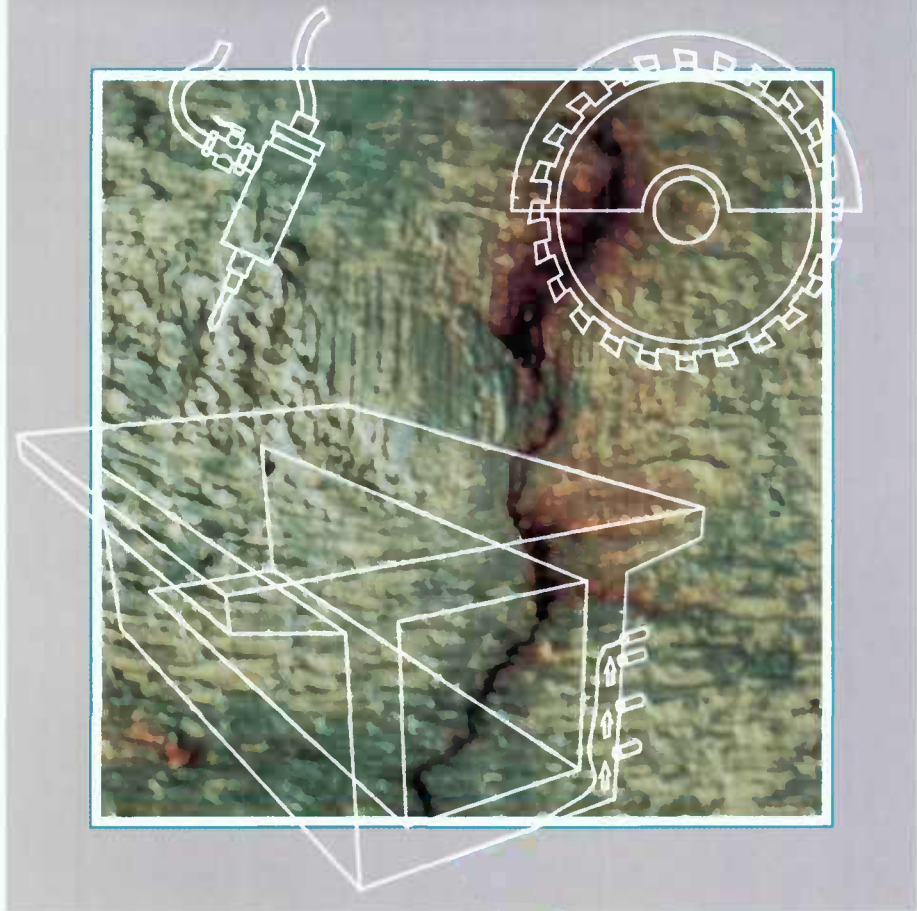




Ministère
de l'Équipement,
du Logement,
des Transports
et du Tourisme

Guide technique

ISSN 1151-1516



CHOIX ET APPLICATION DES PRODUITS DE RÉPARATION ET DE PROTECTION DES OUVRAGES EN BÉTON

Page laissée blanche intentionnellement

CHOIX ET APPLICATION DES PRODUITS DE RÉPARATION ET DE PROTECTION DES OUVRAGES EN BÉTON

Guide technique

Août 1996

Document édité par :



Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
58, boulevard Lefebvre - F-75732 PARIS CEDEX 15
Téléphone : 33 (1) 40 43 50 00 - Télécopie : 33 (1) 40 43 54 98



Le Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes
Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art
46, avenue Aristide Briand - BP 100 - F-92223 BAGNEUX CEDEX
Téléphone : 33 (1) 46 11 31 31 - Télécopie : 33 (1) 46 11 31 69

Le guide « Choix et application des produits de réparation des ouvrages en béton » publié en 1977, dont la préparation avait été animée par Mme A.-M. PAILLÈRE, a connu un tel succès qu'une première réimpression a dû être effectuée en 1985.

En 1993, alors que 8 000 exemplaires au total avaient été diffusés, la question d'une seconde réimpression s'est posée.

Il est alors apparu nécessaire de procéder à une révision du document initial, pour tenir compte à la fois de l'expérience acquise en matière d'utilisation des produits, de leur évolution technologique et du développement de la normalisation, et, en particulier, des travaux de normalisation européenne, tout en essayant de conserver l'esprit qui avait guidé ses fondateurs et en expliquait partiellement le succès.

Cette tâche a été confiée à un groupe de rédacteurs animés par Y. MOUTON (LCPC) et comprenant J. CHÂTELAIN (LCPC) et B. FARGEOT (CIPEC) pour le chapitre 1, B. GODART (LCPC) et E. NOVAK (SIKA, SNMI) pour le chapitre 2, M. DARCEL (LROP) pour le chapitre 3, Y. MOUTON et J.-M. SIBOIS (SRS, SNFORES) pour le chapitre 4, H. T. HUYNH (LCPC) et Y. MOUTON pour le chapitre 5 et les annexes.

Ces rédacteurs ont été grandement secondés par le travail de commissions réunies entre janvier 1994 et février 1995, comportant les personnalités suivantes :

MM. ABDUNUR (LCPC), ACKER (LCPC), BASTET (LR D'AIX-EN-PROVENCE), BENNETON (LR DE LYON), BLACHE (CSTB), BOIS (CGPC), BRÉMENT (BETOREC), CHAUSSIN (LCPC), DEAU (LAFARGE NM), Mme DUBOIS (CERIB), MM. EHLINGER (CECA), FLAMANT (THORO), GUINEZ (LR DE BLOIS), GURTNER (EDF), HOYEZ (LR DE SAINT-QUENTIN), KRIMM (SOCOTEC), LAFUENTE (LR DE BORDEAUX), LAURENT (MBT FRANCE), LEMESTRE (LR DE TOULOUSE), MAIRE (LR DE BLOIS), MATHIEU (CEMAGREF), MEUNIER (SNCF), MIGLIORI (LR D'AIX-EN-PROVENCE), MILLOTTE (ADP), MINARD (CEBTP), MONACHON (CAMPENON BERNARD), OLIVIER (EDF), Mme PAILLÈRE (LCPC), MM. PERREY (LCPC), POINEAU (SETRA), PROST (LR DE LYON), RAHARINAIVO (LCPC), SUQUET (ADP), TACHÉ (CEBTP), TOURNEUR (FREYSSINET INTERNATIONAL), TOUZÉ (LCPC), WITIER (LCPC).

Ce document est propriété de l'Administration et ne peut être reproduit, même partiellement, sans l'autorisation du LCPC ou du SETRA.

© 1996 - LCPC

Prix : 200 FF

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
---------------------	----------

PROBLÉMATIQUE

LE CHOIX DES PRODUITS DANS UN PROJET DE RÉPARATION	7
---	----------

CHOIX DES PRODUITS

NOMENCLATURE DES DÉFAUTS DES OUVRAGES EN BÉTON ET SOLUTIONS PROPOSÉES	15
--	-----------

APPLICATION ET MISE EN OEUVRE DES PRODUITS	29
---	-----------

FAMILLES DE PRODUITS UTILISÉS	45
--------------------------------------	-----------

GLOSSAIRE - SIGLES - NORMES - DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	55
---	-----------

Page laissée blanche intentionnellement



INTRODUCTION

La politique de gestion du patrimoine est devenue une priorité qui a entraîné une forte demande d'outils techniques et administratifs, pour permettre aux maîtres d'ouvrage de répondre à cet objectif avec toute l'efficacité désirée.

Dans cette perspective, le Laboratoire central des Ponts et Chaussées (LCPC) et le Service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA) proposent la nouvelle version d'un Guide qui a montré son utilité pendant une quinzaine d'années et continue à faire l'objet de demandes, mais avec le souci de rester en cohérence avec l'évolution technique et réglementaire, notamment au niveau européen.

Le premier objectif, qui suffit à lui seul à justifier l'existence du guide, est d'aider les maîtres d'œuvre à choisir les produits en connaissance de cause, à savoir les appliquer et à parfaire la réparation par une protection le cas échéant. En ce sens, ce document devrait être un auxiliaire précieux pour le rédacteur du cahier des charges.

Le second objectif visé par ce guide est de stimuler les différents acteurs, - producteurs, formulateurs, applicateurs, architectes, donneurs d'ordre en général - pour les inciter à œuvrer dans le sens du progrès et de l'innovation, sur la base d'une meilleure connaissance de la technologie afférente à l'action de réparer.

Enfin, si ce document vise essentiellement les ouvrages d'art et le génie civil, il ne saurait se limiter strictement à ce domaine : certains produits, qui ne sont pas parfaitement adaptés à l'heure actuelle aux travaux de génie civil, mais conviennent dans le domaine du bâtiment, seront néanmoins cités dans la mesure où l'on peut penser qu'ils apportent une solution à certains problèmes rencontrés dans le domaine du génie civil.

Dans cet esprit, la rédaction du guide a été articulée autour de trois chapitres, précédés d'un rappel du contexte et suivis de données générales complémentaires.

Ainsi nous nous sommes proposé :

- de replacer le produit dans le contexte général de la réparation (on n'achète pas un produit de réparation comme un simple accessoire) ; il faut d'abord procéder à une démarche approfondie qui est rappelée dans le **chapitre 1 : Problématique - Le choix des produits dans un projet de réparation** ;
- à partir de cette démarche, de faire un premier choix parmi les solutions proposées, c'est-à-dire sélectionner les types de produits qui semblent le mieux convenir au cas particulier que l'on doit traiter ; c'est l'objet du **chapitre 2 : Choix des produits - Nomenclature des défauts des ouvrages en béton et solutions proposées** ;

Cette opération fait intervenir les formulateurs de produits. Il faudra tenir compte attentivement du contenu des fiches techniques qu'ils éditent.

Par voie de conséquence, il est recommandé de ne considérer que les produits dont les fiches techniques sont correctement renseignées ...

- de connaître les contraintes inhérentes à l'application de chaque type de matériau : pour être efficace, le produit choisi doit être mis en œuvre correctement ; on veillera particulièrement à ce que l'applicateur ait les compétences et les moyens nécessaires pour remplir sa mission suivant les recommandations du **chapitre 3 : Application et mise en œuvre des produits** ;
- de comprendre un peu mieux comment les matériaux se mettent en place et réagissent, à titre d'information mais aussi à titre de prévention en cas de difficulté : on a choisi un produit ou un système de produits qui semble adapté au problème posé ; on s'est assuré que ses conditions optimales d'application pourraient être obtenues ; on peut alors s'interroger sur la nature des matériaux correspondants, leurs caractéristiques principales et leur durabilité. C'est l'objet du **chapitre 4 : Familles de produits utilisés**.

Il est clair que ces chapitres 2, 3 et 4 sont interdépendants et s'épaulent mutuellement dans la démarche du choix et de la préparation du cahier des charges pour l'application. Ils peuvent être abordés, selon les besoins de l'utilisateur, dans n'importe quel ordre et c'est la raison pour laquelle ils sont repérés par des couleurs spécifiques.

Pour compléter ces informations, il est apparu rapidement nécessaire d'établir dans le **chapitre 5** :

- **un glossaire** des termes techniques spécialisés et des **sigles** employés dans le guide ;
- **des normes et des documents de référence**, directement appliqués ou en relation avec le domaine visé, que ce soit pour le choix ou pour l'application des produits considérés.

CHAPITRE

1

PROBLÉMATIQUE

LE CHOIX DES PRODUITS DANS UN PROJET DE RÉPARATION

8

1.1 - ÉTAPE 1 : LA DÉTECTION DE LA DÉGRADATION

8

1.2 - ÉTAPE 2 : L'AUSCULTATION - LE DIAGNOSTIC

8

1.3 - ÉTAPE 3 : L'ÉTABLISSEMENT DU PROJET DE RÉPARATION

8

1.3.1 - Les objectifs à atteindre

9

1.3.1.1 - Les matériaux en place

9

1.3.1.2 - Les défauts de fonctionnement

11

1.3.2 - Comment atteindre les objectifs

12

1.4 - ÉTAPE 4 : LA MISE EN ŒUVRE DES PRODUITS

12

1.5 - ÉTAPE 5 : LES CONTRÔLES ET VÉRIFICATIONS DES RÉSULTATS

13

1.6 - ÉTAPE 6 : LA SURVEILLANCE

13

1.7 - CONCLUSION

13

1

PROBLÉMATIQUE**LE CHOIX DES PRODUITS
DANS UN PROJET DE RÉPARATION**

Le choix du bon produit est un acte essentiel dans l'étude d'un projet de réparation mais il n'est pas indépendant des autres phases de ce projet.

Il convient donc de rappeler la problématique dans laquelle se trouve le maître d'œuvre et où se place le choix du produit dans l'ensemble de sa démarche.

Pour un ouvrage donné, le processus qui conduit à une action de réparation passe par les étapes suivantes :

Étape 1 : la détection de la dégradation ;

Étape 2 : l'auscultation - le diagnostic ;

Étape 3 : l'établissement du projet de réparation ;

Étape 4 : la mise en œuvre des produits ;

Étape 5 : les contrôles et vérifications des résultats ;

Étape 6 : la surveillance.

C'est à l'étape 3 qu'intervient le choix des produits.

1.1 - Étape 1 : la détection de la dégradation

La détection d'anomalies ou de défauts de la structure est en principe le résultat d'une politique de surveillance appliquée à un parc d'ouvrages (cf. l'Instruction technique sur la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art). Elle peut aussi faire suite à un accident ou à des conditions d'exploitation exceptionnelles.

1.2 - Étape 2 : l'auscultation - le diagnostic

Il s'agit d'une étape fondamentale qui doit permettre :

- d'identifier la maladie ;
- d'en estimer l'étendue ;
- d'en identifier les causes.

De la qualité du diagnostic dépend, pour une grande part, la réussite ou l'échec de la réparation (et, en particulier, sa bonne tenue dans le temps).

1.3 - Étape 3 : l'établissement du projet de réparation

Toute réparation doit être précédée d'une étude dont le but est double :

- définir les objectifs à atteindre ;
- préciser comment y parvenir.

1.3.1 - Les objectifs à atteindre

Sur un ouvrage qui présente des anomalies, une fois le diagnostic terminé, il devient nécessaire de définir les objectifs à atteindre pour permettre à l'ouvrage de remplir sa fonction dans des conditions de sécurité et de durabilité souhaitées.

Exemples :

1. *Un tablier en béton armé présente des dégradations du béton en surface et en profondeur dans l'épaisseur d'enrobage, des armatures sont partiellement corrodées sans que leur section soit sensiblement diminuée : on se fixe alors comme objectif de stopper les phénomènes de corrosion et de redonner aux aciers une protection suffisante pour prolonger la vie de l'ouvrage pour une durée de quinze à vingt ans.*
2. *Un caisson en béton précontraint est affecté de fissures de flexion mettant en danger les aciers traversant ces fissures vis-à-vis de phénomènes de fatigue sous l'effet du trafic : l'objectif est alors de diminuer les surtensions dans les aciers au droit des fissures pour écarter toute possibilité de rupture par fatigue.*

Pour bien définir les objectifs, il est souvent commode de distinguer deux types de pathologie suivant qu'il s'agit d'un problème de matériau ou d'un problème de fonctionnement.

Une fissure sur une âme de poutre a une signification complètement différente suivant qu'elle est identifiée comme fissure de retrait (matériau) ou comme fissure de flexion (fonctionnement).

Dans la réalité, il y a le plus souvent concomitance des deux : une perte de section importante d'acier par corrosion (matériau) devient un problème de fonctionnement. Une fissuration excessive par insuffisance mécanique (fonctionnement) peut permettre à la corrosion de s'installer (matériau).

1.3.1.1 - Les matériaux en place

Le matériau béton, en tant que tel, ne se comporte pas du tout de la même façon dans tous les cas.

Il faut distinguer, en réalité :

- le béton non armé (ou très faiblement armé) ;
- le béton armé ;
- le béton précontraint.

On rencontre souvent le premier sur des ouvrages en remplacement de parties en maçonnerie pour ce qui concerne les ponts ; dans les barrages, il est souvent l'élément constitutif.

La façon de prendre en considération une même maladie, l'alcali-réaction par exemple, suivant qu'il s'agit d'un ouvrage massif non armé ou d'une poutre mince en béton armé, n'est évidemment pas la même.

La distinction entre béton armé et béton précontraint est essentielle. Rappelons que, lorsqu'il l'inventa, E. Freyssinet considérait le béton précontraint comme un matériau nouveau.

La fissuration, normale et nécessaire au fonctionnement du béton armé, doit être considérée comme suspecte lorsqu'elle affecte une pièce en béton précontraint à précontrainte totale. Même très fine, elle peut être révélatrice d'une anomalie grave.

Les phénomènes différés (le fluage du béton notamment) peuvent provoquer des déformations inconfortables de structures en béton armé sans toutefois mettre en jeu leur solidité. Par contre, ils sont à l'origine de désordres systématiques inadmissibles dans certaines constructions en béton précontraint lorsqu'ils ont été sous-estimés.

La corrosion des armatures actives du béton précontraint (avec quelquefois des phénomènes de corrosion sous-tension) s'est parfois révélée sans remède parce que détectée trop tardivement. La corrosion des armatures du béton armé se manifeste plus progressivement et le gestionnaire a le plus souvent le temps de réagir ... s'il le souhaite.

Ainsi peut-on faire ressortir un certain nombre d'objectifs courants :

- Le matériau béton en général peut présenter des défauts dont l'origine peut être attribuée :

- à des défauts de surface (parements) ;
- au bétonnage (nids de cailloux, vides) ;
- à un manque de compacité.

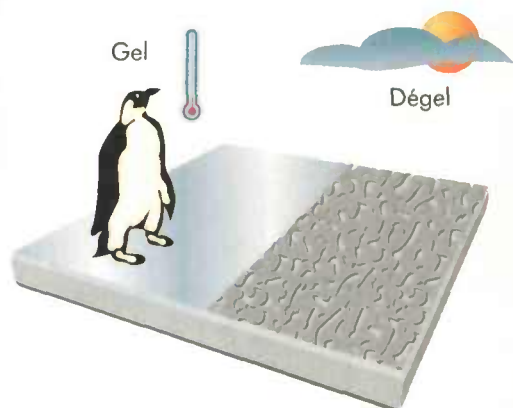
L'objectif de la réparation consiste alors, le plus souvent, à essayer de donner au matériau les caractéristiques qu'il aurait dû avoir à l'origine.

- Le matériau «béton» se dégrade par :

- un phénomène physico-mécanique (gel-dégel, ...) ;
- un phénomène physico-chimique (action des sulfates - sels de déverglaçage, eau de mer - alcali-réaction).

Pour traiter le béton dégradé, on cherche alors :

- soit à endiguer la maladie en faisant barrage aux agents responsables du mécanisme de dégradation (l'eau par exemple) ;



- soit à consolider le béton par traitement interne ;

- soit à éliminer le béton dégradé (purge) pour le remplacer par un matériau adéquat, auquel on demande un rôle de protection et de reconstitution de l'esthétique, ou celui de reconstitution d'une structure monolithique

avec des caractéristiques mécaniques minimales requises.

- Le matériau «béton armé» se dégrade généralement de la façon suivante :

Les agents agressifs (notamment les chlorures) traversent la couche de béton protectrice (l'enrobage), elle-même plus ou moins dégradée, pour atteindre les aciers qui se corrodent, gonflent et provoquent l'éclatement du béton protecteur...

Il ne faut pas oublier, non plus, les effets de la carbonatation superficielle du béton qui, en progressant vers l'intérieur, détruit partiellement l'effet passivant du ciment vis-à-vis des armatures.

La réparation vise alors à ralentir ou à stopper la corrosion et à redonner une protection aux aciers (si nécessaire, des aciers de renfort peuvent être intégrés quand des diminutions de section d'acier affectent la résistance mécanique de la structure).

- Pour le matériau «béton précontraint», la situation est différente.

Ce matériau exige la conservation d'efforts internes permanents apportés le plus souvent par des armatures actives situées à l'intérieur et ou à l'extérieur du béton. La perte d'une partie de ces efforts par corrosion des armatures constitue la pathologie la plus redoutée du béton précontraint, d'autant que cette corrosion peut se développer de façon insidieuse et se révéler tardivement. Le plus souvent, la cause principale vient de défauts d'injection des coulis dans les conduits, de venues d'eau par les cachetages, de chapes d'étanchéité défectueuses, voire inexistantes.

Les objectifs de la réparation sont alors de deux ordres :

- *stopper la corrosion en cours en faisant barrage à l'eau (réinjections, réfection de l'étanchéité ...)* ;
- *redonner à la structure la précontrainte nécessaire par ajout de câbles extérieurs au béton.*

1.3.1.2 - Les défauts de fonctionnement

Les manifestations d'un défaut de fonctionnement d'une structure apparaissent, le plus souvent, d'abord au niveau du béton : un excès de compression (cas heureusement assez rare) ou plutôt une fissuration due à une contrainte principale de traction excessive.

Comme il a déjà été dit, le béton armé fonctionne normalement en régime fissuré sans qu'il soit nécessaire de traiter ces fissures. Des fissures pathologiques de type «fonctionnement» sont celles qui naissent là où on ne les attend pas ou qui ont une ouverture trop importante (on a l'habitude de considérer que des fissures dépassant 0,3 mm d'ouverture peuvent révéler un comportement anormal de la structure). En béton précontraint une fissure, même fine, est à identifier.

Lorsqu'on a reconnu des fissures anormales dues à un défaut de fonctionnement, les objectifs de la réparation sont :

- *de stabiliser ou annuler le phénomène générateur (stabiliser un tassement d'appui, dégager un appui bloqué, constater qu'un phénomène différé est dans sa phase de faible évolution (phase asymptotique)) ;*
- *de redonner à la structure sa capacité mécanique d'origine.*

Dans ce dernier cas, la simple injection de fissures ne peut pas être, à elle seule (sauf exception), une solution suffisante. Le plus souvent, il est nécessaire d'apporter un ajout de matière ou d'effort : ainsi peut-on citer l'ajout de béton projeté, de béton armé, de béton projeté armé, de tôles collées, de précontraintes additionnelles... L'injection des fissures est un des éléments d'un processus général de réparation, et les caractéristiques des produits à utiliser doivent alors être définies en fonction de ce que l'on souhaite obtenir mécaniquement.

Dans cette catégorie de pathologie (défaut de fonctionnement) le choix du produit n'est pas le plus souvent déterminant pour le choix des solutions à adopter, il intervient au second plan.

Exemple :

Une insuffisance de fonctionnement en flexion d'une structure amène à choisir d'ajouter des aciers passifs par la technique des tôles collées : la colle à utiliser fait alors partie du procédé et l'on ne se pose pas la question du meilleur produit à prendre, on suppose que l'on sait parfaitement maîtriser la technique (ce qui n'exclut pas de s'intéresser au contrôle de la mise en œuvre...).

1.3.2 - Comment atteindre les objectifs

Une fois les objectifs définis et bien cernés, un ou plusieurs systèmes de réparation peuvent être envisagés et il est alors possible de caractériser les matériaux à mettre en œuvre, du moins par rapport aux fonctions principales qu'ils sont censés remplir.

Il est nécessaire de préciser certaines valeurs (ou fourchettes de valeurs) souhaitées : résistance à la compression ou à la traction, souplesse (module), stabilité dimensionnelle dans le temps (fluage), coefficient de dilatation, adhérence, résistance vis-à-vis de certaines attaques chimiques, physico-chimiques ...

Les fabricants doivent offrir :

- des produits aux caractéristiques garanties s'ils sont connus, ou faire la preuve par des tests appropriés que des produits innovants peuvent convenir ; les conditions de mise en œuvre doivent être toujours clairement définies ;
- des systèmes ou association de produits connus, mis en place suivant un processus précis (application par couches par exemple), le plus souvent avec un matériel propre au système, nécessitant un personnel spécialisé et d'expérience.

1.4 - Étape 4 : la mise en œuvre des produits

La mise en place des produits est une phase essentielle du processus de la réparation.

Il ne saurait y avoir de bons produits sans une bonne mise en œuvre.

Le choix du produit doit prendre en compte non seulement tous les points qui ont été développés précédemment, mais aussi les conditions propres au chantier.

Pour résoudre un problème de réparation, un produit ne peut être considéré comme bon que, d'abord, si ses caractéristiques intrinsèques répondent bien au problème posé et ensuite, si les conditions propres au chantier concerné sont compatibles avec une mise en œuvre correcte du produit retenu.

La réussite d'une application de produit suppose donc que :

- les conditions propres au chantier soient bien définies ;
- les spécifications de mise en œuvre soient claires et complètes.

Les conditions propres au chantier se définissent par un certain nombre de points qui doivent être parfaitement analysés et pris en compte :

- les conditions d'accès ;
- la compatibilité avec la place réellement disponible sur le site, l'encombrement du matériel nécessaire, son volume, son poids ;
- le volume de produit à appliquer ;

- l'énergie disponible ;
- les spécificités de l'environnement et en particulier :
 - le trafic ;
 - les exigences éventuelles du maintien en exploitation ;
 - les conditions climatiques (ensoleillement, gel, vent, humidité ...) ;
 - l'environnement (marin, industriel ...).

Les spécifications de mise en œuvre comportent deux volets :

- des documents précis rédigés par le formulateur du produit, qui doivent définir les différentes phases à respecter, pour préparer et appliquer le produit, ainsi que les différentes contre-indications d'emploi de ce produit ;
- des documents écrits par l'entrepreneur qui détaillent le matériel à utiliser, ainsi que les opérations à réaliser sur le chantier lors de l'application. Ces documents doivent se référer aux documents du formulateur.

Le respect de ces différentes consignes devrait éviter tout conflit ultérieur entre formulateur et entrepreneur, les responsabilités de chacun étant ainsi définies.

1.5 - Étape 5 : les contrôles et vérifications des résultats

Les contrôles doivent intervenir à tous les niveaux :

- les contrôles de fabrication des produits ;
- les essais de convenance qui doivent être réalisés avant le début de l'opération de réparation et constituent alors une garantie de succès : il s'agit de s'assurer, en vraie grandeur, dans les conditions réelles du chantier, que ce que l'on a prévu dans l'étude est réalisable avec les matériels et le savoir-faire de l'entreprise. Ce peut être l'occasion de mises au point pratiques ;
- les contrôles de réception des produits sur chantier ;
- les essais a posteriori qui permettent de vérifier que la réparation répond aux objectifs fixés.

1.6 - Étape 6 : la surveillance

Enfin, un ouvrage réparé doit être suivi et surveillé de façon accrue les premières années après sa réparation.

1.7 - Conclusion

Pour conclure, il faut rappeler que :

- le choix d'une technique et d'un produit de réparation ne peut intervenir qu'après un diagnostic de la maladie affectant l'ouvrage et, si possible, après une détermination précise des causes des désordres ;
- le choix du procédé (et donc des produits) doit répondre à des objectifs définis à l'avance ;
- tous les objectifs ne peuvent pas toujours être atteints en même temps parce que des contraintes extérieures viennent compliquer le jeu : contraintes d'exploitation, économiques, d'environnement ... Il s'agit de les hiérarchiser, la solution adoptée est alors un compromis ne pouvant satisfaire à toutes les exigences ;

Exemple :

On peut être amené à choisir un produit à polymérisation rapide, mais moins durable qu'un produit classique, pour que la durée de perturbation de l'exploitation soit aussi brève que possible ; il s'agit d'un choix délibéré qui nécessitera une nouvelle intervention à moyen terme.

- une étude de réparation doit être concrétisée par des pièces écrites où l'on a défini les solutions de réparation adoptées et les spécifications des produits à utiliser *;
- il y a lieu de prévoir au niveau de l'étude certaines souplesses pour tenir compte des aléas inévitables liés à un chantier de réparation (ce qui distingue d'ailleurs ce travail d'étude de celui d'un ouvrage neuf) ;
- un ouvrage réparé mérite une surveillance particulière parce qu'il n'est jamais l'équivalent d'un ouvrage neuf.

* cf. *Recommandations pour la préparation et la rédaction des marchés pour la réparation et la modification d'ouvrages d'art* (SETRA, févr.1993, réf. 93-08).

CHAPITRE

2

CHOIX DES PRODUITS

**NOMENCLATURE DES DÉFAUTS DES OUVRAGES EN BÉTON
ET SOLUTIONS PROPOSÉES**

16

2.1 - RÉPARATION ET RENFORCEMENT

16

2.1.1 - Réparation de surfaces et reconstitution partielle d'éléments de structures	17
2.1.1.1 - <i>Faïençage et fissuration superficielle</i>	18
2.1.1.2 - <i>Ouvrages sans armatures apparentes</i>	18
2.1.1.3 - <i>Ouvrages avec armatures apparentes</i>	21
2.1.1.4 - <i>Remplacement d'armature et reconstitution partielle d'éléments de structures</i>	22
2.1.2 - Collage et renforcement des structures	22
2.1.2.1 - <i>Collage du béton (reprise de bétonnage)</i>	22
2.1.2.2 - <i>Renforcement par collage de tôles métalliques</i>	23
2.1.2.3 - <i>Renforcement par adjonction d'élément métallique</i>	23
2.1.3 - Traitement des fissures	24
2.1.3.1 - <i>Fissures passives</i>	24
2.1.3.2 - <i>Fissures actives</i>	25
2.1.4 - Scellement et calage	25
2.1.4.1 - <i>Scellement</i>	25
2.1.4.2 - <i>Calage</i>	26

2.2 - PROTECTION DES BÉTONS

26

2.2.1 - Imperméabilisation et traitement esthétique	27
2.2.2 - Etanchéité des surfaces	27
2.2.3 - Protection renforcée en cas d'agressivité particulière du milieu environnant	28

2

CHOIX DES PRODUITS

NOMENCLATURE DES DÉFAUTS DES OUVRAGES
EN BÉTON ET SOLUTIONS PROPOSÉES

Le choix des produits doit tenir compte à la fois des caractéristiques des matériaux en présence et des sollicitations auxquelles est soumise la zone d'ouvrage à réparer. Il est alors intéressant de faire le recensement des défauts qui ont pu être rencontrés sur les ouvrages en béton et des solutions qui ont été proposées pour leur réparation.

La même démarche est amorcée pour les produits de protection.

2.1 - Réparation et renforcement

Le choix des produits utilisables pour réparer les différents défauts constatés dépend essentiellement :

- Des caractéristiques mécaniques et physico-chimiques propres au produit, indiquées dans le tableau I (adhérence, effet passivant, résistance à la fissuration ...).

Remarques :

(1) Dans le domaine des ouvrages d'art, la plupart des produits à base de liants hydrauliques effectivement utilisés sont des LHM. Les LHA sont, par contre, très largement employés dans le bâtiment (cf. chapitre 4).

(2) Dans le cas où le support est très alcalin, il peut être nécessaire d'utiliser un primaire approprié et il convient de le vérifier auprès du fabricant du produit.

(3) Les polyuréthanes peuvent être utilisés sur support humide avec un primaire approprié.

(4) Pour obtenir l'effet passivant, il faut utiliser un primaire (passivant).

(5) La compatibilité thermique est envisagée dans le cas présent pour les mortiers en épaisseur > 2 cm. C'est la capacité à suivre les déformations thermiques du béton.

(6) La comparaison de la résistance à l'abrasion est donnée en supposant que les granulats sont identiques pour toutes les familles de produits.

(7) Le pourcentage en poids de résine sera au moins égal à 20 %.

TABLEAU I : Caractéristiques mécaniques et physico-chimiques des produits les plus utilisés

CARACTÉRISTIQUES	LHM (1)	EP	PUR	EP-C
Adhérence sur support sec	+	+++	++ (2)	++
Adhérence sur support humide	++	+	- (3)	++
Adaptation à la fissuration du support	+	+	++ ou +++	+
Effet passivant	+++	0 (4)	0 (4)	++ ou +++
Module d'élasticité	élevé	moyen	faible	moyen
Compatibilité thermique	+++ (5)	+	+	++ (5)
Résistance à l'abrasion	++ (6)	+++ (6)	++ (6)	++ (6)
Résistance à la pénétration des liquides sous pression	++	+++ (7)	+++ (7)	++
Fluage à 20°C à 50°C	faible faible	moyen élevé	élevé élevé	moyen moyen
Retrait	moyen	faible	faible	moyen

LHM : produit à base de liants hydrauliques modifié par ajout de polymère organique.

EP : produit à base de résine époxyde.

PUR : produit à base de polyuréthane.

EP-C : produit mixte à base de résine époxyde et de ciment ;

+++ : plus le nombre de + est élevé, mieux le produit est adapté à la caractéristique recherchée ;

- : non recommandé ;

0 : le produit ne répond pas à la question posée.

Il convient de noter que ces caractéristiques sont données à titre indicatif pour la majorité des produits appartenant à la famille considérée. Toutefois, la diversité des caractéristiques offertes par des formulations spéciales n'est pas prise en compte dans ce tableau. Le chapitre 4 développe succinctement les propriétés générales attendues pour chaque famille.

- Des aptitudes et conditions de mise en œuvre et d'utilisation indiquées dans le tableau II (application verticale ou horizontale, âge du support, résistance aux agressions chimiques ou à celles de l'environnement ...). Les produits de réparation et de renforcement retenus doivent bénéficier du droit d'usage de la marque NF-Produits Spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique ou d'une marque équivalente, dans la mesure où le champ d'application de celles-ci couvre les besoins du chantier.

TABLEAU II : Aptitudes et conditions de mise en œuvre des produits les plus utilisés

CRITÈRES	LHM	EP	PUR	EP-C
DPU (Durée Pratique d'Utilisation)	À vérifier auprès des fournisseurs et s'assurer de sa compatibilité avec les exigences des chantiers			
Température du support (° C) (1)	5 - 35	8 - 35	5 - 35	5 - 50
Température ambiante (° C) (1)	5 - 50	8 - 50	5 - 50	5 - 50
HR ambiante (%) (humidité relative)	jusqu'à 100 (2)	jusqu'à 85	jusqu'à 75	jusqu'à 100
Préparation du support	Indispensable en fonction du produit et des conditions de chantier précisées en 3.1.1 et 3.1.2			
Âge du support	indifférent	> 28 j.	> 28 j.	indifférent
Aptitude à l'application horizontale verticale	sans problème - de préférence produit autolissant pour chaque famille utiliser des produits thixotropes			
Aptitude au nettoyage (entretien)	+	+++	+++	++
Compatibilité avec le produit déjà en place	Le problème doit être étudié au cas par cas			
Résistance aux agressions chimiques	+	+++	++	++
Résistance aux UV	+++	+	++/+++	++
Résistance aux cycles gel-dégel	++	+++	+++	++
Rapidité de mise en service	++	+++	++	++
Faiblesse du coût (3)	+++	+	+	++

Remarques :


- (1) Il faut être vigilant près des températures extrêmes indiquées ;
- (2) En ambiance sèche utiliser un produit de cure ;
- (3) En se plaçant dans l'hypothèse d'un ragréage, avec des quantités de produits identiques et une épaisseur à respecter, les produits peuvent être classés du moins cher vers le plus cher : le produit le moins cher est le LHM, puis le EP-C et enfin l'EP et le PUR.

2.1.1 - Réparation de surfaces et reconstitution partielle d'éléments de structure

Les désordres affectant la masse de l'ouvrage tels que ceux provoqués par l'alcali-réaction relèvent d'une démarche de réparation autre que celle décrite dans ce document.


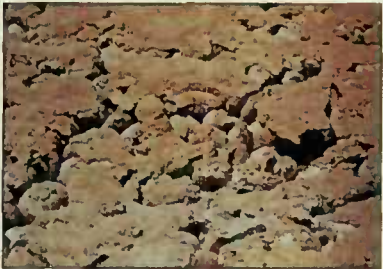
L'application d'un produit de réparation de surface peut nécessiter l'utilisation préalable d'une couche primaire d'accrochage (cf. § 3.5.1). C'est le parti qui a été pris dans les tableaux qui suivent. Cependant, l'état du support ou les caractéristiques propres du produit peuvent permettre de supprimer le primaire.

2.1.1.1 - Faïençage et fissuration superficielle


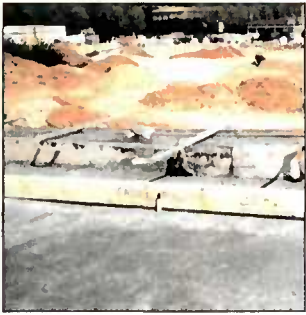

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
Faïençage et fissures superficielles. 	Colmatage des fissures et / ou mise en place d'un revêtement mince.	<ul style="list-style-type: none"> ● Mortier LHM mono ou bicomposant de préférence sur couche d'accrochage en barbotine ou EP ou sur gobetis avec armature textile ou non, ou fibres. ● Revêtement pelliculaire EP ou PUR sur couche d'accrochage en liant EP ou PUR (milieu sec) avec armature textile ou non, ou encore RPE. ● Mortier EP ou PUR sur couche d'accrochage en liant EP ou PUR (milieu sec). ● Mortier de EP-C sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis avec armature textile ou non.

Nota : Les revêtements ou primaires EP ou PUR ne doivent être utilisés que sur support sec.



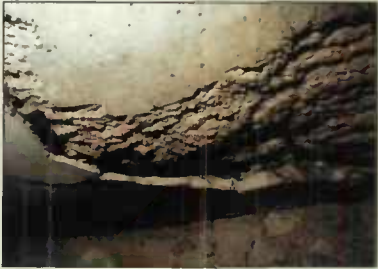
2.1.1.2 - Ouvrages sans armatures apparentes

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
Bullage. 	Ragréage.	<ul style="list-style-type: none"> ● Enduit LHM. ● Enduit EP.
Nids de cailloux, trous et cavités. 	Ragréage et/ou rebouchage.	<ul style="list-style-type: none"> ● Mortier LHM mono ou bicomposant de préférence sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis ou barbotine. ● Mortier EP ou PUR sur couche d'accrochage en liant EP ou PUR (milieu sec).

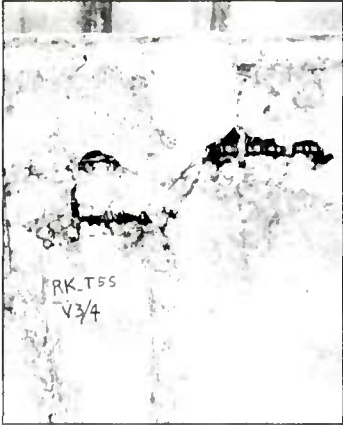


- suite
2.1.1.2
Ouvrages
sans
armatures

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
<p>Défaut d'alignement des coffrages.</p> 	<p>Reprofilage.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Mortier LHM mono ou bicomposant de préférence sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis ou barbotine. ● Mortier EP ou PUR sur couche d'accrochage EP ou PUR (milieu sec). ● Mortier de EP-C sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis .
<p>Défaut important de planéité.</p> 	<p>Reprofilage.</p>	
<p>Porosité excessive (carbonatation).</p> 	<p>Traitement de surface.</p>	<p>Revêtement pelliculaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> ● LHM ou LR. ● Peinture acrylique, caoutchouc chloré ou EP-PUR. ● Imprégnation à base d'un hydrofuge de surface (silicone, ...).

► suite
2.1.1.2
Ouvrages
sans
armatures

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
<p>Usure superficielle du béton (abrasion, érosion).</p> 	<p>Reprofilage.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Mortier LHM mono ou bicomposant avec granulats spéciaux résistant à l'usure sur couche d'accrochage EP ou barbotine. ● Mortier EP avec granulats spéciaux résistant à l'usure sur couche d'accrochage EP.
<p>Épaufrures sans armatures apparentes.</p> 	<p>Reconstitution de la surface du béton et des arêtes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Mortier LHM mono ou bicomposant de préférence sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis ou barbotine. ● Mortier EP ou PUR sur couche d'accrochage EP ou PUR (milieu sec).
<p>Dégradation superficielle du béton due à l'environnement.</p> 	<p>Élimination du béton dégradé et reconstitution de la surface du béton.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Mortier LHM mono ou bicomposant de préférence sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis ou sur barbotine. ● Mortier EP ou PUR sur couche d'accrochage EP ou PUR (milieu sec). ● Mortier de EP-C sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis.

2.1.1.3 - Ouvrages avec armatures apparentes



DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
<p>Trous dans le béton avec armature apparente (défaut de bétonnage).</p> 	<p>Traitement de l'armature et bouchage des trous.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Mortier LHM mono ou bicomposant de préférence sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis ou barbotine. ● Mortier EP ou PUR sur couche d'accrochage EP ou PUR (milieu sec).
<p>Éclatement du béton avec armature apparente non corrodée.</p> 	<p>Reconstitution du béton avec son épaisseur minimale d'enrobage.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Mortier LHM mono ou bicomposant, de préférence sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis ou barbotine. ● Mortier EP, ou PUR sur couche d'accrochage EP, ou PUR sur produit passivant (milieu sec)*.
<p>Armature faiblement corrodée, accompagnée ou non de traces de rouille sur le béton.</p> 	<p>Dégagement et nettoyage des armatures rouillées (brossage, grenailage, etc.) et reconstitution du béton avec son épaisseur minimale d'enrobage par produits projetés ou non.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Mortier LHM mono ou bicomposant, de préférence sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis ou barbotine. ● Mortier EP ou PUR sur couche d'accrochage EP, ou PUR sur produit passivant (milieu sec)*. <p>* L'utilisation d'un produit passivant est :</p> <ul style="list-style-type: none"> - conseillé lorsque le gobetis ou la barbotine ne contient pas d'agent passivant ; - nécessaire dans le cas où la couche d'accrochage est constituée par un liant époxyde ou polyuréthane ; cependant cette précaution peut s'avérer inutile si l'épaisseur de résine est suffisante.

2.1.1.4 - Remplacement d'armature et reconstitution partielle d'éléments de structure


DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
<p>Armature rompue.</p> 	<p>Remplacement d'armature et reconstitution du béton.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Mortier LHM mono ou bicomposant de préférence sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis ou barbotine. ● Mortier EP ou PUR sur couche d'accrochage EP ou PUR sur produit passivant (milieu sec).* <p>* Voir remarque tableau 2.1.1.3.</p>

2.1.2 - Collage et renforcement des structures

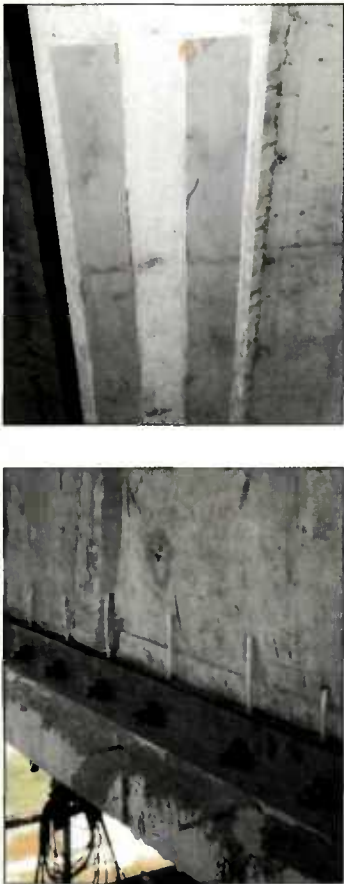
2.1.2.1 - Collage du béton (reprise de bétonnage)

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
<p>Fonctionnement défectueux faisant appel à l'adjonction d'un élément en béton frais.</p> 	<p>Collage d'un élément de béton frais sur béton durci.</p>	<p>Colle EP ou mortier LHM.</p>
<p>Fonctionnement défectueux faisant appel à l'adjonction d'un élément en béton durci.</p> 	<p>Collage d'un élément de béton durci sur béton durci.</p>	<p>Colle EP ou mortier LHM.</p>

2.1.2.2 - Renforcement par collage de tôles métalliques

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
<p>Insuffisance d'armatures passives.</p> 	<p>Collage de tôles métalliques nécessitant une étude particulière.</p>	<p>Colle EP.</p>

2.1.2.3 - Renforcement par adjonction d'élément métallique

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
<p>Insuffisance de résistance d'une partie de l'ouvrage.</p> 	<p>Collage d'élément métallique (généralement accompagné d'un clouage).</p>	<p>Colle EP ou mortier LHM.</p>



2.1.3 - Traitement des fissures

La norme NF P 95-103 définit ainsi les fissures actives et passives :


- Fissure « passive » ou « morte » : fissure dont l'ouverture ne varie plus de façon sensible dans le temps, quelles que soient les conditions de température ou de sollicitation de l'ouvrage.
- Fissure « active » : fissure dont l'ouverture varie dans le temps en fonction des gradients thermiques ou hygrométriques, ou des sollicitations de l'ouvrage (absence de joints, tassements d'appuis, conséquences de défauts de conception ou d'exécution,...).

L'amplitude de cette variation s'appelle le « souffle ».

2.1.3.1 - Fissures passives

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
Fissure sans arrivée d'eau. 	Colmatage par injection ou calfeutrement.	<ul style="list-style-type: none"> ● Liant EP ou PUR ou coulis de ciment ultra-fin (injection). ● Mastic EP ou mortier LHM (calfeutrement).
Fissure avec arrivée d'eau. 	Arrêt par injection.	● Liant PAAm.
	Pontage par application de bande collée avec drainage préalable.	● Colle EP + bande élastomère.

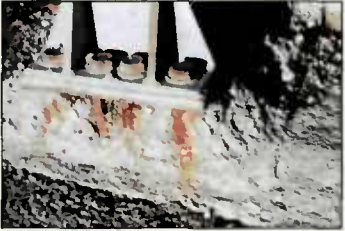

2.1.3.2 - Fissures actives

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
Fissure active. 	Injection <input type="radio"/> sans blocage mécanique : produits souples. <input type="radio"/> avec blocage mécanique : produits rigides.	<ul style="list-style-type: none"> ● Liant PUR ou PAAm (milieux humides en permanence, fissures avec arrivée d'eau). ● Liant EP ou coulis de ciment ultra-fin.
	Calfeutrement avec des produits souples après ouverture des fissures.	<ul style="list-style-type: none"> ● Mastic élastomère de 1^{re} catégorie (label SNJF), essentiellement PUR et silicones.
	Pontage par application de bande collée.	<ul style="list-style-type: none"> ● Colle EP + bande élastomère
	Pontage par revêtement souple armé.	<ul style="list-style-type: none"> ● Liant EP-PUR ou PUR et armatures textiles.

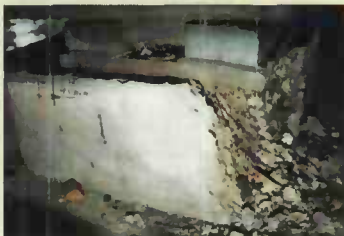
2.1.4 - Scellement et calage

Les produits de scellement et de calage ont des caractéristiques spécifiques. Il est donc utile de se reporter aux normes correspondantes : P 18-821 et P 18-822 pour effectuer un choix judicieux.

2.1.4.1 - Scellement

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
Scellement défectueux ou à remplacer. 	Scellement d'équipements.	<ul style="list-style-type: none"> ● Mortier ou coulis EP. ● Mortier ou coulis LHM.
Insuffisance de résistance de la structure. 	Reconstitution de béton armé : scellement d'armatures.	

2.1.4.2 - Calage

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
Calage défectueux ou à remplacer. 	Réfection du calage.	<ul style="list-style-type: none"> ● Mortier ou coulis EP. ● Mortier ou coulis PMMA. ● Mortier ou coulis LHM.

2.2 - Protection des bétons

Les caractéristiques générales des produits de protection sont résumées dans le tableau III (cf. chapitre 4.4 pour avoir plus de renseignements sur les familles de produits).

TABLEAU III : Produits de protection

Remarques :

(1) Particulièrement variable selon les systèmes.

(2) Sensible aux salissures du fait de sa macrorugosité de surface.

(3) Peut être amélioré par l'interposition d'une armature textile.

(4) Pour les traitements esthétiques, on peut aussi utiliser des LHA.

(5) Dans ce contexte, étanchéité signifie que la fonction imperméabilisation (mentionnée à la ligne précédente) est maintenue, même en présence de fissuration existante ou à venir (ouverture limitée à 1 mm).

		HYDROFUGE DE SURFACE	MINÉRALISATEUR	PEINTURE	RPE	REVÊTEMENTS MINCES	
						LHM	LR
Traitement esthétique	Régularité de teinte	0	0	+++	+++ (2)	+++ (4)	+++
	Aptitude à couvrir les irrégularités de parements	0	0	+ (1)	+++	+++ (4)	++
	Aptitude à couvrir le faïencage	0	0	+ (1)	+++	+++ (4)	+++
Protection	Imperméabilisation	++	++	++	++	+++	+++
	Étanchéité (compatible avec la fissuration à venir) (5)	0	0	0 / + (1)	0 / + (1)	+ (3)	++ (3)
	Durabilité	+	+	++	++	++	++

+++ : très satisfaisant ;

++ : satisfaisant ;

+ : passable ;

0 : non concerné ou sans effet notable.

2.2.1 - Imperméabilisation et traitement esthétique

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
Porosité générale du support. 	Revêtement d'imperméabilisation.	<ul style="list-style-type: none"> ● Hydrofuge de surface. ● Peinture. ● Minéralisateur. ● Revêtement plastique épais (RPE). ● Revêtement mince (LHM ou LR).
Défaut d'aspect. 	Revêtement d'aspect.	<ul style="list-style-type: none"> ● Peinture ou lasure. ● Revêtement plastique épais (RPE). ● Revêtement mince (LHM ou LR).



En ralentissant la carbonatation et le passage d'air et d'humidité, certains de ces revêtements contribuent à la protection de l'ouvrage.

2.2.2 - Étanchéité des surfaces

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
Forte porosité. 	Revêtement d'étanchéité.	Revêtement mince (LHM ou LR) avec ou sans incorporation d'une armature textile.

Ces revêtements d'étanchéité peuvent aussi participer aux fonctions esthétiques mentionnées au paragraphe 2.2.1.

2.2.3 - Protection renforcée en cas d'agressivité particulière du milieu environnant

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES
<p>Risques de dégradation par :</p> <p>a) sels de déverglaçage et gel ;</p>  <p>b) eau de mer et/ou sulfates.</p> 	<p>Revêtement général de protection.</p>	<ul style="list-style-type: none">● Revêtement mince (LHM ou LR) adapté en épaisseur, nombre de couches, armatures, nature du polymère.● Mortier ou microbéton à formulation étudiée.

CHAPITRE

3

APPLICATION ET MISE EN ŒUVRE DES PRODUITS **30**

3.1 - PRÉPARATION DES SUPPORTS	30
3.1.1 - Préparation des supports en béton	30
3.1.1.1 - <i>Réparation de surface et reconstitution partielle d'éléments en béton</i>	30
3.1.1.2 - <i>Collage et renforcement du béton durci</i>	33
3.1.1.3 - <i>Traitement des fissures et protection du béton</i>	33
3.1.1.4 - <i>Scellement et calage</i>	34
3.1.2 - Préparation des armatures de béton armé	35
3.1.3 - Préparation des tôles collées	35
3.2 - RÉCEPTION DES SUPPORTS	36
3.3 - RÉCEPTION ET STOCKAGE DES PRODUITS	37
3.4 - PRÉPARATION DES PRODUITS	37
3.4.1 - Produits à base de liants hydrauliques	37
3.4.2 - Produits à base de résines synthétiques	38
3.4.3 - Produits mixtes à base de ciment et de résine synthétique réactive	38
3.5 - APPLICATION DES PRODUITS ET MATÉRIEL DE MISE EN ŒUVRE	39
3.5.1 - Réparation et reconstitution partielle d'éléments de structure	39
3.5.1.1 - <i>Produits à base de liants hydrauliques</i>	39
3.5.1.2 - <i>Produits à base de résines synthétiques</i>	40
3.5.1.3 - <i>Produits mixtes à base de ciment et de résine synthétique réactive</i>	41
3.5.2 - Collage et renforcement des structures	41
3.5.3 - Traitement des fissures et protection du béton	42
3.5.4 - Scellement et calage	43
3.6 - HYGIÈNE ET SÉCURITÉ	44

3 APPLICATION ET MISE EN ŒUVRE DES PRODUITS

Le choix des produits ou des systèmes de produits étant effectué, la qualité finale et la durabilité des travaux de réparation sont conditionnées par le soin apporté à la préparation des supports, par le respect des conditions de préparation des produits et de leur mise en œuvre.

D'une manière générale Il est vivement conseillé de se reporter aux normes de spécifications relatives à la technique de réparation ou de renforcement retenue lorsque ces normes existent (série des normes NF P 95-100)

3.1 - Préparation des supports

Il est indispensable de respecter les modes de préparation recommandés par les fabricants dans leurs documents techniques (fiches techniques, conseils de mise en œuvre...) afin d'optimiser les conditions d'emploi des produits.

3.1.1 - Préparation des supports en béton

3.1.1.1 - Réparation de surface et reconstitution partielle d'éléments en béton

La préparation des supports en béton a pour objectif :

- soit un simple nettoyage de surface destiné à éliminer les souillures et dépôts superficiels de natures diverses, tels que :
 - poussières,
 - huiles et graisses,
 - produits de décoffrage (cire, paraffine),
 - produits de cure,
 - efflorescences de calcite ;
- soit l'élimination des parties de béton non adhérentes ou dégradées en profondeur pouvant éventuellement aller jusqu'à la mise à nu des armatures passives.

Le choix des moyens de préparation est fonction de l'épaisseur de revêtement à éliminer mais il doit aussi permettre de respecter les recommandations des documents techniques du fabricant quant à la nature et à l'état du support à obtenir pour le type de produit choisi.

Les principaux critères de choix liés aux produits de réparation ou de protection appliqués sont :

- le degré d'humidité - support sec ou support humide,
- le ruissellement ou la stagnation d'eau,
- l'aspect de surface - lisse ou rugueux,
- la texture - porosité, bullage,
- la capillarité ou la perméabilité du support,
- les irrégularités géométriques,

- l'alcalinité ou le degré de carbonatation du béton,
- la cohésion superficielle du support.

Sont également à prendre en considération les conditions d'environnement du chantier telles que :

- les possibilités d'accès et de mise en œuvre de matériel plus ou moins lourd,
- l'évacuation de l'eau et du sable,
- le bruit, la poussière, les fumées,
- la sécurité vis-à-vis de l'utilisation de la flamme,
- les contraintes particulières de température.

Les méthodes d'élimination du béton dégradé et de préparation de surface pouvant être utilisées sont essentiellement mécaniques. Certains procédés chimiques ou thermiques permettent de répondre à des besoins particuliers, mais doivent être employés avec prudence.

En travaux de génie civil, ces procédés sont fortement déconseillés, voire proscrits, notamment les décapages thermiques susceptibles de dégrader le béton en profondeur, de polluer les parties voisines ou de provoquer la corrosion des armatures.

Les principaux moyens sont rappelés ci-après.

● Le piquage.

Action ponctuelle d'un outil type pointerolle de marteau piqueur. Cette méthode permet d'enlever une forte épaisseur de support et de dégager des armatures corrodées, mais elle peut provoquer la microfissuration des granulats.

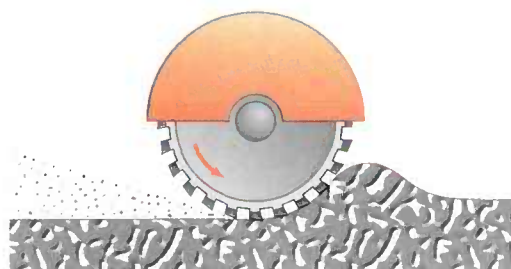


● Le bouchardage.

Frappe mécanique d'un outil pneumatique ou électrique comportant plusieurs dents ou pointes de diamant. Les attaques ponctuelles multiples réduisent la profondeur d'attaque et la régularisent. Elle peut varier de quelques millimètres à un ou deux centimètres. Des microfissurations peuvent en résulter. L'aspect est très rugueux et assez régulier. Toutefois ce procédé est interdit pour certains types d'ouvrages précontraints (cf. Fascicule 65 A, p. 46).

● Le rabotage mécanique.

Action d'un rabot (électrique) à molettes ou à outils multiples. Il permet l'enlèvement de quelques millimètres à quelques centimètres. Ce procédé sert surtout à préparer des surfaces planes horizontales non armées, fissurées et polluées. Il peut provoquer des amorces de fissuration. L'aspect est très rugueux et irrégulier. Ce procédé est très utile pour éliminer les aspérités.



● Le ponçage.

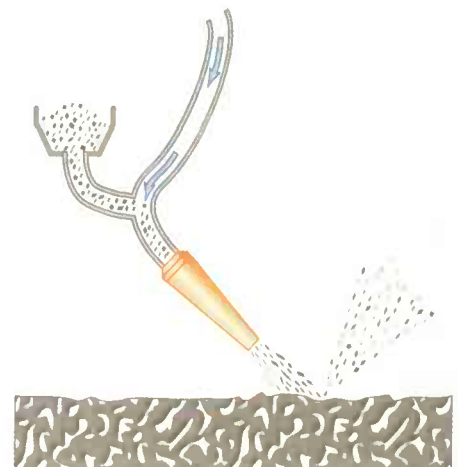
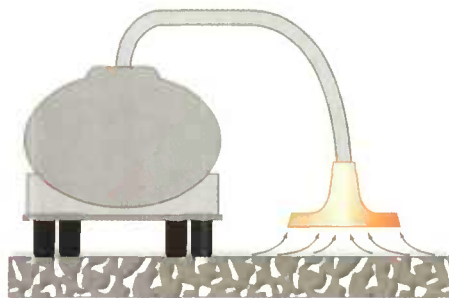
Obtenu par des machines rotatives munies de disques abrasifs. Elles peuvent travailler à l'eau avec éventuellement une aspiration ou à sec. La puissance de la machine et la qualité des abrasifs déterminent, comme pour le sablage, un travail superficiel ou un travail sur quelques millimètres.

Cette méthode sert à préparer des surfaces planes de faible superficie et sans fissure. L'état de surface est fin et régulier, mais il faut veiller ensuite à bien désincruster le support des poussières qui auraient pu le colmater, ce qui n'est pas toujours évident.

- **Le grenailage.**

Effectué par des machines projetant sur le support une grenaille recyclée en circuit fermé avec aspiration. L'aspect de surface peut varier d'une texture assez fine à grenue.

- **Le brossage.**



Le brossage à la brosse métallique doit être suivi d'un dépoussiérage à l'air comprimé ou à l'aide d'un aspirateur.

- **Le sablage et l'hydro-sablage.**

Ils provoquent l'agression du support par un jet de sable sous pression (à sec) ou sous pression d'eau (humide). Les réglages des pressions, ainsi que la granularité du sable utilisé permettent, soit d'effectuer un simple décapage, soit d'éliminer la laitance, soit d'enlever plusieurs millimètres de béton. L'aspect après intervention est une rugosité liée à la dureté des granulats et du liant du support. Il faut noter que le sablage au sable de silice sec est interdit et qu'il s'agit donc d'un décapage par projection d'abrasif de remplacement.

- **L'hydrodécapage.**

Cette technique recouvre des équipements très divers combinant des pressions et des débits d'eau variés (de quelques MPa à quelques centaines de MPa, de quelques litres d'eau par minute à quelques centaines de litres par minute). L'eau chaude peut parfois être utilisée. Il s'ensuit une variété de préparations et d'aspects allant du simple nettoyage d'un support encrassé jusqu'à la destruction du béton. Cette méthode permet une bonne élimination des granulats dessertis et des matières dégradées mais elle peut présenter des risques pour le personnel.

- **Le lavage avec des détergents associés à de l'eau chaude ou à de la vapeur.**

En s'aidant éventuellement de pression ou d'un brossage, il est principalement destiné à éliminer un encrassement ou une imprégnation très superficielle du support. L'usage des solutions acides ou des solvants organiques est fortement déconseillé ; en effet l'acide est susceptible d'attaquer chimiquement le béton, et les solvants peuvent diluer les huiles et les graisses et les distribuer ensuite en fine pellicule sur la surface du béton.

- **Le brûlage du béton à la flamme à très haute température.**

Procédé thermique provoquant l'éclatement du support en surface, il vise à assainir une épaisseur appréciable de la couche superficielle d'un support, soit parce qu'il est dégradé mécaniquement, soit parce qu'il est fortement imprégné. L'élimination des résidus de carbonisation issus de la préparation thermique, nécessite généralement une préparation mécanique complémentaire.

3.1.1.2 - Collage et renforcement du béton durci

Les surfaces de béton à coller doivent être propres, dépoussiérées et débarrassées de tout élément susceptible de nuire à la qualité du collage comme la laitance, les produits de cure, la graisse...

Les parties non adhérentes doivent être préalablement éliminées par brossage ou par sablage. Les épaufrures éventuelles doivent être réparées avec un mortier de ragréage.

Les moyens utilisables pour la préparation des supports en béton durci destinés à être collés ou renforcés sont tout d'abord ceux qui ont été décrits au paragraphe précédent. En complément, dans le cas de renforcement de béton par tôles collées ou de collage de béton durci sur béton durci, il peut être nécessaire de reprendre les épaufrures par ragréage, d'éliminer les balèvres ou autres aspérités, ou encore d'améliorer la planéité du support en béton par application d'un mortier de résine, afin d'assurer une bonne conjugaison entre les faces à coller.

Les produits utilisés pour ces réparations préalables doivent présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes au moment de la réalisation du collage et être compatibles avec la colle.

3.1.1.3 - Traitement des fissures et protection du béton

La préparation des surfaces est essentiellement fonction du but poursuivi et du procédé de traitement des fissures adopté.

Les différents traitements envisageables sont :

- La protection de surface, partielle ou généralisée, destinée à améliorer ou à créer l'imperméabilisation ou l'étanchéité du parement, afin d'éviter la corrosion des armatures. La nature du revêtement choisi, revêtement mince (LHM ou LR), peinture, revêtement plastique épais, système souple complexe à base de produit organique et d'une armature éventuelle, système spécifique, conditionne le type de préparation de la surface d'application et les moyens de mise en œuvre. Il est indispensable de se référer aux documents techniques ou aux normes correspondant à chacune de ces techniques.
- Le pontage à l'aide de mortiers de ciment modifiés qui admettent un support humide ou le pontage avec des produits à base de résines synthétiques. Ces derniers sont éventuellement associés à une armature en textile tissé ou non tissé noyée dans le liant à des feuilles bitumineuses collées (avec auto-protection en aluminium) ou à un élastomère armé. Toute trace de matière susceptible de nuire à l'adhérence au support est à éliminer par des moyens mécaniques appropriés.
- Le calfeutrement implique l'ouverture de la fissure manuellement ou par tronçonnage électrique ou pneumatique, l'élimination de la poussière par brossage ou soufflage à l'air sec et déshuilé. En cas de venue d'eau, un préétanchement est à prévoir en fond de la partie élargie soit par colmatage avec une pâte de ciment à prise accélérée soit par injection d'une résine qui gonfle en

présence d'eau. Le nettoyage et le séchage des lèvres de la fissure doivent suivre cette opération.

- L'injection doit être précédée du nettoyage des fissures dont on ignore l'état interne. En cas de doute, afin d'éliminer la calcite et toutes les impuretés qui ont pu s'y introduire, les fissures sont lavées à l'eau sous pression (si leur ouverture le permet) avec éventuellement des produits adaptés tels que les détergents. Elles sont ensuite rincées à l'eau douce.

L'utilisation de produits d'injection à base de liants hydrauliques nécessite une humidification préalable des fissures. L'utilisation de produits à base de résines synthétiques incompatibles avec un support humide nécessite au contraire le séchage à l'air sec sous pression en vérifiant l'efficacité du filtre à huile du compresseur.



L'injection peut être réalisée au moyen d'injecteurs collés ou d'injecteurs forés distants de vingt centimètres à un mètre, selon la configuration du support, certains d'entre eux pouvant servir d'évents. Les injecteurs collés, adaptés aux faibles pressions d'injection (0,5 MPa) et aux faibles débits sont disposés longitudinalement à cheval sur la fissure. Les injecteurs forés sont disposés dans des trous forés dans le plan de la fissure ou dans une direction interceptant ce plan.

La fissure est cachetée extérieurement entre les injecteurs à l'aide d'un produit pâteux, d'un mastic... Après cette opération, la communication entre injecteurs et événements est vérifiée à l'air comprimé.

3.1.1.4 - Scellement et calage

- La préparation des scellements doit prendre en considération les particularités des supports en béton telles que la densité du ferrailage, l'état du béton résiduel, sa granulométrie et la nature de ses constituants, ainsi que les configurations susceptibles d'être rencontrées : scellements en plancher, en plafond ou sur mur vertical. Pour des raisons de fonctionnement ou de réalisation, les scellements peuvent parfois se présenter plus ou moins inclinés par rapport à ces plans principaux.

Dans tous les cas, une étude préalable est nécessaire d'une part pour caractériser le béton, d'autre part pour concevoir le scellement lui-même : positionnement, diamètre et profondeur des trous. Dans toute la mesure du possible, il convient de positionner les scellements afin d'éviter de couper les armatures des supports. Celles-ci doivent être préalablement repérées de façon précise à l'aide d'un pachomètre ou de tout moyen équivalent.

La préparation des supports concerne essentiellement l'exécution des trous de scellement et le nettoyage de ceux-ci.

Les trous peuvent être réalisés :

- par carottage (extraction de la matière). Cette opération requiert l'utilisation d'une carotteuse équipée d'un carottier à couronne imprégnée. Au fur et à mesure de l'avancement de l'outil, il convient d'extraire les parties de carottes qui peuvent éventuellement se casser. Un repère placé sur le carottier permet de stopper le carottage à la cote désirée ;

- par perçage (destruction de la matière). Cette opération nécessite l'emploi d'une perceuse à percussion. L'utilisation d'un système avec butée permet l'obtention de trous borgnes, condition nécessaire en général à un bon remplissage par le produit de scellement.

Il est indispensable de procéder au nettoyage des trous, afin de les débarrasser de la poussière laissée par le travail de l'outil sur les parois. Dans un premier temps, un brossage mécanique avec lavage à l'eau propre injectée à basse pression est la solution la plus appropriée, puis dans un deuxième temps, un soufflage à l'air comprimé asséché et déshuilé permet d'obtenir la propreté désirée des parois. Cette opération précède immédiatement la mise en œuvre des produits de scellement en particulier lorsque ceux-ci sont incompatibles avec une humidité trop importante des supports.

- Les calages peuvent nécessiter une préparation de la surface du support en béton afin d'améliorer l'accrochage du produit et éventuellement l'exécution de scellements d'armatures additionnelles. La préparation de ces opérations préalables est réalisée conformément aux recommandations précédemment décrites.

Le calage est généralement réalisé dans un coffrage qui doit être revêtu d'un système démoulant constitué :

- d'huile de décoffrage,
- d'un enduit de cire de démoulage,
- d'un revêtement en polyéthylène.

3.1.2 - Préparation des armatures de béton armé

L'objectif est de dégager totalement la périphérie des armatures présentant des traces de corrosion sur une longueur telle qu'apparaisse à chaque extrémité une partie saine.

Le nettoyage doit être poursuivi jusqu'à disparition totale des produits de corrosion, des matières étrangères de toute nature (laitance, morceaux de béton adhérents, ...), des produits de nettoyage.

Le décapage des armatures peut être fait par sablage, par grenailage, au disque abrasif ou à la brosse métallique.

La protection des armatures par un revêtement anticorrosion compatible avec les matériaux de réparation doit être immédiatement effectuée.

Il est possible de supprimer ce revêtement lorsque le matériau de réparation est à base de liants hydraulique, et que l'épaisseur de l'enrobage est suffisante pour assurer la protection des armatures dans les conditions d'environnement de l'ouvrage.



3.1.3 - Préparation des tôles collées

La technique du renforcement par tôles collées nécessite du personnel compétent et des soins particuliers de préparation des surfaces à coller pour que le collage soit efficace.

La propreté, la rugosité et surtout la planéité sont les facteurs primordiaux d'obtention, à l'échelle macroscopique, d'une bonne adhérence entre l'adhésif (colle) et les subjectiles (béton et acier).



Les préparations préliminaires de coupe à longueur, et d'assemblage par soudure bout à bout des tôles doivent être réalisées de préférence en atelier ou en usine par du personnel qualifié voire agréé.

Les surfaces des subjectiles doivent être débarrassées de tout élément pouvant nuire au mouillage parfait des surfaces à solidariser par brossage, aspiration, ventilation, séchage.

Un dégraissage préalable avec un solvant permet d'éliminer la pellicule d'huile qui recouvre souvent les tôles d'acier laminées.

Un sablage ou un grenailage suffit ensuite pour éliminer la couche superficielle de calamine imprégnée de lubrifiant. Le métal apparaît alors sous un aspect blanc mat, mais devient très sensible à une corrosion très rapide.

Immédiatement après sablage il est donc impératif d'enduire la tôle d'acier avec un primaire époxyde à l'aide d'un pistolet, d'une brosse ou d'un pinceau.

Après le temps de séchage prévu par le fournisseur, ce primaire doit être déglacé et dégraissé pour assurer un bon accrochage avec l'adhésif.

3.2 - Réception des supports

L'entrepreneur propose à l'acceptation du maître d'œuvre la méthode de préparation des supports compatible avec la nature de l'ouvrage, son environnement et le procédé de réparation retenu si cette méthode n'a pas été fixée par le marché.

La nature des produits de décapage éventuellement prévus, les caractéristiques des matériels de préparation et leurs conditions d'utilisation sont définies lors de la réalisation d'une épreuve préalable de convenance sur une surface représentative de la partie à traiter qui servira de témoin pendant toute la durée du chantier.

Le Plan d'Assurance Qualité de l'entreprise doit préciser la nature et la fréquence des contrôles internes qui seront effectués.

L'entrepreneur doit s'assurer que les caractéristiques du support sont conformes aux hypothèses prises en compte pour la réparation ou le renforcement. En cas d'écart, il en avertit le maître d'œuvre.

La réception des supports pour réparation superficielle ou collage repose principalement sur l'examen visuel de la surface traitée et sur un contrôle sonique au marteau pour qualifier le bon état du support afin de vérifier :

- que toutes les surfaces prévues ont bien été traitées ;
- l'absence d'amorce de décollement ou de fissuration ;
- que la texture de la surface traitée est compatible avec le produit ;
- l'absence de venue d'eau.

La réception des supports avant injection des fissures consiste à vérifier l'efficacité du cachetage, le bon collage des cavaliers d'injection et la communication correcte entre événements et injecteurs, à l'air comprimé.

La réception des trous de scellement est effectuée :

- à l'œil nu lorsque le trou est peu profond. L'œil est alors suffisant pour apprécier

la qualité des parois. Un test de propreté à l'aide d'un chiffon propre placé à l'extrémité d'un écouvillon peut utilement compléter l'auscultation visuelle ;

- à l'endoscope pour les trous profonds. L'utilisation d'un endoscope à champ de vision radial permet d'apprécier la propreté des trous ; un test avec un écouvillon peut également s'avérer utile en cas de doute.

La réception du support de calage comprend, en particulier, la vérification de la rigidité et de l'étanchéité des coffrages, ainsi que la vérification de la bonne application du produit de décoffrage, sans manque et sans excès (absence de coulure sur le béton support).

3.3 - Réception et stockage des produits

Les produits de réparation proposés par l'entrepreneur doivent bénéficier du droit d'usage de la marque NF-Produits Spéciaux destinés à la construction en béton hydraulique ou d'une marque équivalente, dans la mesure où le champ d'application de celles-ci couvre les besoins du chantier.

● **La réception** des produits inclut :

- la vérification de la conformité de la livraison à la commande
 - . quantité livrée,
 - . respect des prescriptions pour les emballages, intégrité de ceux-ci ;
- l'identification des produits
 - . société productrice,
 - . usine de fabrication,
 - . étiquetage des produits avec référence éventuelle à la marque NF,
 - . date de fabrication - n° de lot...,
 - . date de péremption.
- la fourniture de la notice technique précisant les conditions particulières et les consignes d'emploi des produits ;
- la réalisation de prélèvements conservatoires, destinés à s'assurer de la conformité des produits si cela est utile en cours de travaux.

● **Le stockage** sur chantier doit permettre de respecter les conditions prescrites par le fabricant pour assurer la bonne conservation du produit et le respect des consignes de sécurité quand cela est nécessaire.

3.4 - Préparation des produits

3.4.1 - Produits à base de liants hydrauliques

Suivant la nature et l'importance des travaux et le mode de réparation adopté, les produits à base de liants hydrauliques modifiés ou non peuvent être :

- fabriqués en centrale de béton prêt à l'emploi,
- préparés sur le site de l'ouvrage,
- fabriqués et conditionnés en usine.

Les deux premiers cas représentent des volumes relativement importants à mettre en place nécessitant des moyens tels que le béton projeté. La composition du mélange doit alors faire l'objet d'une étude de laboratoire prouvant que la qualité requise peut être obtenue avec les matériaux proposés, à moins que des travaux antérieurs de même nature puissent servir de référence. L'aptitude des moyens de fabrication est vérifiée par une éprouve préalable en centrale ou sur le site.

Ces produits fabriqués et conditionnés en usine se présentent :

- soit sous forme de monocomposant prédosé sec qu'il suffit de mélanger intimement avec de l'eau pour obtenir le produit désiré. La proportion d'eau à utiliser doit toujours être conforme aux indications de la notice technique du fabricant de façon à garantir les caractéristiques rhéologiques et les performances du mélange final et à limiter le retrait ;
- soit sous forme d'un bi ou tricomposant prédosé en usine. Les deux (ou trois) constituants sont conditionnés en emballages dont les poids respectifs sont en proportion du mélange à fabriquer. Il est impératif de mélanger intimement la totalité des deux (ou trois) composants livrés en unités de conditionnement prêts à l'emploi en respectant les consignes de préparation figurant sur les notices techniques qui peuvent conseiller par exemple d'ajouter progressivement la poudre à la totalité ou à une fraction du liquide de gâchage afin d'éviter la formation de grumeaux, le reliquat du liquide pouvant être introduit à la fin.

Le mélange peut être réalisé soit à l'aide d'un agitateur électrique à hélice ou à palettes dont la vitesse est réglable, soit à l'aide d'un malaxeur à axe vertical.

La capacité de la cuve du mélangeur doit être adaptée au volume unitaire à mettre en œuvre. L'ordre d'introduction des constituants doit être conforme aux instructions du producteur. La durée du malaxage doit être suffisante pour assurer l'homogénéité du mélange.

3.4.2 - Produits à base de résines synthétiques

Il s'agit de produits généralement bi ou tricomposant et conditionnés en usine sous forme d'emballages inviolables, prédosés dans les proportions voulues pour le mélange définitif. Il convient de respecter scrupuleusement ces proportions et de ne pas fractionner le contenu des emballages.

Ces produits sont généralement disponibles en unités de conditionnement d'importance variable, ce qui permet d'adapter le volume du mélange à fabriquer aux moyens de mise en œuvre disponibles et aux conditions de température qui influent sur la durée d'utilisation pratique.

Pour les liants fluides, le mélange doit être effectué avec un agitateur à hélice, électrique ou pneumatique, à faible vitesse de rotation afin d'éviter l'inclusion de bulles d'air. Pour les liants à consistance pâteuse, un agitateur à hélice convient.

Dans tous les cas, il faut se conformer aux consignes de préparation fournies par les notices techniques du fabricant.

3.4.3 - Produits mixtes à base de ciment et de résine synthétique réactive

Ces produits se présentent généralement sous forme de trois composants :

- une résine,
- un durcisseur,
- l'un de ces deux constituants (ou les deux) étant en émulsion ou en dispersion aqueuse,*
- un mélange en poudre contenant le ciment, les charges et les adjuvants ou additifs spéciaux.

Ces produits sont livrés dans des unités de conditionnement prédosées qui permettent de préparer le mélange définitif en respectant les proportions prévues par le fabricant, à la condition impérative de ne pas fractionner le contenu des emballages, et de ne pas ajouter d'eau.

Dans tous les cas, il est impératif de respecter les spécifications de la notice technique fournie par le fabricant.

3.5 - Application des produits et matériel de mise en œuvre

Au moment de l'application des produits, il est souvent nécessaire de vérifier l'état du support prêt à les recevoir, ainsi que les conditions climatiques ambiantes qui constituent des points d'arrêt si la nature des produits à appliquer n'est pas compatible avec l'un de ces facteurs.

Rappelons que l'état du support au moment de l'application peut être :

- une surface sèche,
- une surface humide,
- une surface ruisselante,
- une surface immergée.

Les conditions climatiques à prendre en considération lors de l'application sont :

- la température,
- l'humidité relative,
- le vent.

3.5.1 - Réparation de surface et reconstitution partielle d'éléments de structure

3.5.1.1 - Produits à base de liants hydrauliques

● Application sans couche d'accrochage.

L'application directe des produits à base de liants hydrauliques, sans couche d'accrochage nécessite le plus souvent d'humidifier la surface du béton support à refus. Cette opération peut être faite 24 heures avant l'application, notamment par temps sec, pour imprégner le support ; une simple réhumidification de celui-ci doit ensuite être prévue, juste avant l'application elle-même. Certains produits peuvent être appliqués directement sur support sec, mais dans tous les cas, il est nécessaire de se conformer à la notice technique fournie par le fabricant.

● Application sur couche d'accrochage en liants hydrauliques.

Il convient de bien mouiller le support pour imprégner d'eau le béton ancien puis d'éliminer par brossage l'eau en excès lorsque la couche d'accrochage est constituée d'une barbotine à base de liants hydrauliques, modifiés ou non, ou d'un gobetis. L'application de cette couche d'accrochage en faible épaisseur (quelques millimètres) peut être faite au balai, à la brosse, éventuellement par projection. Elle est suivie sans délai de la mise en œuvre du mortier de réparation.

● Application sur couche d'accrochage en résines synthétiques.

Dans le cas des supports en béton très poreux ou dans le cas de mortier faiblement dosé en liant, il est souvent nécessaire de prévoir une couche d'accrochage en résines synthétiques pour améliorer la liaison entre le subjectile et le produit rapporté. L'application de ce primaire d'accrochage au pinceau, à la brosse ou au rouleau, en couche mince, implique généralement que le support ait été préalablement séché. Le mortier de réparation est mis en œuvre lorsque le liant de résine devient poisseux.

● Mise en œuvre.

Les produits à base de liants hydrauliques peuvent être mis en place en une ou plusieurs couches successives d'épaisseur pouvant varier de quelques millimètres à plusieurs centimètres (5 cm, voire 10 cm).

Brosse, taloche, truelle crantée ou lisseuse, pompe, machine à projeter peuvent être utilisées en fonction de l'importance des travaux et des conditions de chantier. Si nécessaire, le serrage doit être assuré ou amélioré par damage. Le surfacage final est effectué à la taloche ou à la lisseuse après tirage du mortier à la règle.

Les délais de mise en place des mortiers et bétons après fabrication sont fonction des constituants et des ajouts éventuels. Il est recommandé de se reporter au mode d'emploi du fabricant qui précise ces délais.

La température de mise en œuvre est normalement comprise entre 5 °C et 35 °C mais il est évident que la température du support peut être prépondérante quant à la prise et au durcissement du produit.

L'application des produits à base de liants hydrauliques doit être évitée en plein soleil, par vent desséchant ou lorsqu'il y a des risques de gel.

Un traitement de cure efficace doit être prévu pour éviter tout risque de dessiccation prématurée. Une humidification permanente pendant quarante-huit heures ou l'utilisation d'une protection par feuille plastique parfaitement fixée est également acceptable.

3.5.1.2 - Produits à base de résines synthétiques

Les outils d'application sont choisis en fonction de la nature et de la consistance des produits et de la position de l'application :

- en plancher,
- sur plan incliné,
- sur surface verticale,
- en plafond.

La consistance des produits est déterminante sur le choix des outils. On peut les classer grossièrement en trois catégories :

- produits liquides,
- produits pâteux,
- mortiers ou microbétons.

● Les **produits liquides** peuvent être appliqués soit sous forme de film réalisé en une ou plusieurs couches successives, soit en masse, quand il s'agit de remplir une cavité.

L'application peut être faite manuellement ou mécaniquement.

L'application manuelle apporte une action mécanique qui favorise l'imprégnation du produit dans les micropores du support, améliorant ainsi l'adhérence. La brosse, le rouleau ou la raclette peuvent être utilisés en position plancher exclusivement.

L'application mécanique permet d'augmenter les rendements de mise en œuvre sous forme de film ou en masse. Elle induit l'utilisation de pots à pression ou de pompes permettant de véhiculer le produit au travers de tuyauteries souples pour alimenter les outils situés en extrémité. Les pompes sont conçues pour des produits monocomposant ou bicomposant ; dans ce dernier cas, elles disposent en sortie d'un mélangeur statique.

Les outils disponibles sont :

- des pistolets : le produit pulvérisé se dépose sur le support ; le choix des buses

de pulvérisation reste un élément important devant faire l'objet d'un essai de convenance,

- des brosses ou des rouleaux auto-alimentés : le manche de ces outils est creux et permet l'alimentation permanente en produits.

● Les **produits pâteux** sont, le plus souvent, utilisés pour remplir des engravures, des bulles, des nids de cailloux, ou pour réaliser des films épais ou des surfaces d'encollage. Ce sont généralement des produits thixotropes.

Ils peuvent être appliqués manuellement ou mécaniquement.

L'application manuelle peut être réalisée au moyen de spatules, de couteaux à enduire, de pistolets à crémaillère permettant l'extrusion du produit à travers une buse fixée sur une cartouche, ou à la main gantée quand il s'agit d'enduire une surface complexe, dans des délais très brefs.

L'application mécanique est faite au moyen de pompes permettant une extrusion des produits sous forte pression. Ce sont généralement des pompes à piston.

● La consistance des **mortiers ou microbétons** est fonction de la nature et du pourcentage de la résine utilisée pour le mélange.

Les mortiers généralement pauvres en liant permettent d'être travaillés assez facilement, et d'être modelés sans utilisation de moule, sauf en sous-face d'ouvrage. Il faut cependant, pour assurer leur adhérence au support, les appliquer sur un primaire d'accrochage.

L'application manuelle se fait au moyen d'outils de maçonnerie, lisses et propres, tels que la truelle lisseuse, le platoir, la truelle langue de chat.

Le produit doit être déposé sur le support et serré fortement en couche d'épaisseur raisonnable. Dans le cas d'épaisseur importante, on peut travailler en plusieurs couches.

Il existe des machines spécialement conçues pour l'application mécanique des surfaces horizontales et en revêtement de sol, telles que :

- épandeuse de mortier pouvant régler l'épaisseur du produit déposé,
- rouleau de compactage,
- lisseuse hélicoptère.

3.5.1.3 - Produits mixtes à base de ciment et de résine synthétique réactive

Les produits de cette famille doivent être appliqués immédiatement après fabrication du mélange sur la surface de béton à traiter, préalablement recouverte d'un primaire compatible, lorsque la notice technique le prévoit.

Il est impératif de respecter les délais donnés par le fabricant entre la mise en œuvre du primaire et celle du revêtement afin d'assurer un bon accrochage sur le support.

3.5.2 - Collage et renforcement des structures

Les produits de collage de béton durci sur béton durci ou de béton frais sur béton durci peuvent se présenter à l'état pâteux ou à l'état liquide. Ils sont appliqués sur le béton durci. L'encollage «double-face» est conseillé.

Les produits pâteux peuvent être appliqués manuellement au moyen de spatules ou de couteaux à enduire, ou encore à la main gantée lorsque les surfaces à enduire sont étendues et complexes comme c'est le cas pour les voussoirs préfabriqués.

Les produits fluides peuvent être appliqués au rouleau, au pinceau ou au pistolet. La mise en contact des deux surfaces à coller doit être réalisée lorsque le produit de collage est poisseux (déformable au toucher). Il convient de se référer à la notice technique qui précise les durées à respecter après application de la colle.

En cours du durcissement de la colle, il est nécessaire que les surfaces collées ne soient pas soumises à des contraintes de traction qui risqueraient de perturber la réticulation du produit.

Dans le cas de renforcement de structure, il est nécessaire de raviver par ponçage le primaire époxyde qui recouvre les tôles et de dégraisser avant encollage de celles-ci. La colle est étalée, de préférence à l'aide de spatule crantée qui permet d'assurer l'épaisseur moyenne requise.

Le placage de la tôle doit permettre d'évacuer la colle en excès et de réduire son épaisseur au minimum.

Pour obtenir un collage efficace, il est indispensable de maintenir la colle sous pression pendant sa durée de durcissement définie par le fournisseur.

3.5.3 - Traitement des fissures et protection du béton

L'application d'une protection généralisée de surface à base de liants hydrauliques peut être manuelle ou réalisée à l'aide d'appareils de projection pneumatiques, de pots à pression avec pistolet adapté ou de machines à projeter le mortier.

Les matériels les plus utilisés pour l'application d'une protection généralisée à base de résines synthétiques sont les brosses, les taloches, les pots à pression munis de pistolets spéciaux et possédant des buses de gros diamètre, les pistolets à réservoir gravitaire, les pompes à haute pression pour les produits pâteux.

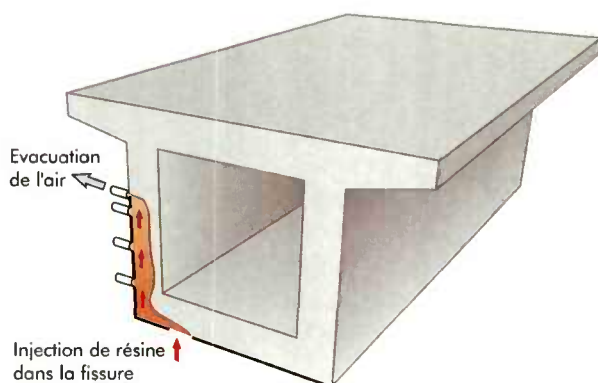
Le matériel spécifique aux travaux de peinture ou à la réalisation d'enduit hydraulique est employé en cas de besoin.

Le pontage est appliqué avec le matériel prescrit par le fabricant pour la mise en œuvre des produits à base de résines synthétiques. Le pontage d'une fissure active pour la rendre étanche nécessite une ouverture en U ou en V au fond de laquelle on dispose un fond de joint en mousse sur lequel on applique un mastic élastique de type élastomère avec un primaire si le fabricant le préconise.

Le mastic de calfeutrement est mis en œuvre à l'aide d'un pistolet manuel ou pneumatique à débit contrôlable et muni d'embout d'ouverture adaptée à l'écartement des lèvres de la fissure. Le produit de calfeutrement proprement dit est mis en œuvre soit manuellement à la truelle ordinaire ou à la truelle langue

de chat, soit par projection pour les produits hydrauliques, soit à l'aide de pompes manuelles ou pneumatiques pour les produits organiques. Un primaire d'accrochage doit être appliqué lorsque la notice technique le prévoit. Le serrage du produit de calfeutrement puis son talochage et un lissage final achèvent la mise en œuvre. La protection du produit contre la pluie, les salissures et les chocs doit être assurée pendant sa polymérisation.

L'injection des fissures demande une attention particulière à la température extérieure, à celle



du support et à la DPU du produit utilisé, dans les conditions de mise en œuvre. L'injection peut être réalisée à l'aide d'une pompe manuelle, à moteur, à piston, à membrane, à engrenage ou à l'aide de pots à pression.

Des pompes à piston ou engrenage sont utilisables, la pression devant être adaptée à l'ouverture des fissures et contrôlable. Lorsque les composants du produit n'ont pas été pré-mélangés, il faut utiliser une pompe par composant et un pistolet mélangeur placé à proximité du point d'injection. Un réglage précis de ce type d'appareillage doit être prévu.

Les pots à pression peuvent être à sortie haute ou basse, à réservoir indépendant ou à enveloppe déformable. La mise en pression est assurée par une pompe manuelle, par un compresseur ou par des bouteilles d'air comprimé. La pression est contrôlée à l'aide de manomètres. Dans certains cas, une injection gravitaire peut être réalisée en disposant les réservoirs au-dessus des injecteurs mais le débit est alors difficile à régler.

La liaison entre les pompes ou les pots et les injecteurs est assurée par des flexibles devant résister à la pression de mise en œuvre, être compatibles avec les produits et adaptés aux injecteurs pour assurer l'étanchéité.

3.5.4 - Scellement et calage

L'armature à sceller peut être directement positionnée dans le trou préalablement rempli de mortier ou de résine de scellement, lorsque le diamètre du forage est à peine supérieur au diamètre d'encombrement de l'armature. Lorsque le diamètre du forage est nettement supérieur à celui de l'armature ou lorsque la verticalité ou l'horizontalité du scellement doit être rigoureuse, il convient alors d'utiliser des supports annexes sur lesquels sont attachées les barres ; ces supports sont enlevés lorsque l'efficacité du scellement est obtenue. Pour les scellements en plancher, des petites cales plastiques peuvent être utilisées pour le centrage des barres.

Lorsque le diamètre de l'armature est important (≥ 30 mm) et lorsque sa longueur est supérieure au mètre, il convient d'utiliser trois tubes annexes positionnés à 120° et fixés à la périphérie de la barre.

Avant l'injection et après avoir placé ces barres équipées dans leurs trous, un colmatage de l'espace annulaire extérieur doit être effectué afin que le remplissage soit le plus complet possible.

- La mise en œuvre des **produits de scellement** peut être faite :
 - par gravité. L'utilisation d'un entonnoir et d'une tige permet de remplir le trou dans le cas de mortiers hydrauliques ou à base de résine. Un dispositif du type pistolet ou simplement un récipient muni d'un bec verseur permet un remplissage correct et rapide pour les produits plus fluides tels que les résines pures ;
 - par bourrage simple. Le mortier est introduit dans le trou à l'aide de deux demi-coquilles adaptées au diamètre et à la longueur du scellement à réaliser ;
 - par bourrage mécanique en plafond. Le produit de scellement conditionné sous forme de cartouche est introduit dans le trou. La tige d'acier à sceller est placée dans le mandrin d'une perceuse. Sa mise en rotation étant commandée, la tige est progressivement enfoncée dans le trou, assurant ainsi le mélange des différents composants du produit ;
 - par injection sous pression. Cette technique est utilisée pour le scellement de

barres de diamètre voisin de trente millimètres et de longueur supérieure au mètre. Trois tubes complémentaires, de huit millimètres de diamètre, sont fixés à la barre. L'un assure la fonction d'injecteur, le deuxième la fonction d'évent et le troisième le positionnement général de la barre (disposition à 120°). L'injection se fait avec un pot à pression dans lequel est placée la résine à injecter.

● Les **produits de calage** peuvent être mis en place par coulage direct dans le coffrage, lorsque leur consistance est suffisamment fluide ou par matage pour les produits à consistance plus ferme, notamment les mortiers ou micro-bétons.

Le remplissage correct du coffrage peut nécessiter l'utilisation de petit matériel tel que tige métallique et dame, lorsque l'espace disponible le permet.

Dans tous les cas, il est impératif de réaliser une surface d'appui aussi plane que possible. Quand le calage n'est pas horizontal, il convient donc parfois de mettre en place un coffrage sur la face d'appui en prévoyant alors en partie haute du calage un système d'évent pour évacuer l'air qui pourrait empêcher le remplissage parfait.

3.6 - Hygiène et sécurité

Le respect de la législation du travail et des règles de sécurité en vigueur est impératif. En particulier la présence d'un coordonnateur est requise dès qu'il y a plus de deux entreprises sur le chantier (décret n° 94-1159 du 26 décembre 1994) et textes suivants).



Il est indispensable de prendre connaissance des précautions d'emploi rappelées dans les fiches techniques des produits et de tenir le plus grand compte des précautions particulières figurant sur l'étiquetage des emballages.

Il convient d'attirer l'attention sur les précautions à prendre vis-à-vis :

- d'un manque de ventilation des locaux de stockage ou de travail sans renouvellement suffisant d'air ;
- de l'inflammabilité de certains produits ;
- de la nocivité ou de la toxicité de certains composants.

Il convient donc de préciser l'organisation du chantier visant à la protection du personnel et à la réduction des risques de pollution de l'environnement en cours des phases de préparation des supports et d'application des produits.

De façon générale, les équipements individuels de protection doivent être adaptés aux risques encourus. Certains produits spéciaux doivent être mis à la disposition du personnel pour le nettoyage de la peau en cas de projection ou de contact accidentel.

Les règles de protection de l'environnement doivent être respectées notamment :

- l'interdiction de rejet toxique ou corrosif dans les réseaux ;
- la décantation des eaux chargées avant rejet.

Toutes les précautions habituelles concernant la protection des usagers, des tiers et des biens sont indispensables mais il est nécessaire d'être plus particulièrement vigilant vis-à-vis des risques d'incendie et du respect de la réglementation concernant le bruit.

CHAPITRE

4

FAMILLES DE PRODUITS UTILISÉS	46
4.1 - PRODUITS À BASE DE LIANTS HYDRAULIQUES (LH)	46
4.1.1 - Produits à base de liants hydrauliques avec ajouts (LHA)	46
4.1.2 - Produits à base de liants hydrauliques modifiés par des polymères organiques (LHM)	47
4.2 - PRODUITS À BASE DE RÉSINES SYNTHÉTIQUES (LR)	47
4.2.1 - Résines époxydes (EP)	49
4.2.2 - Polyuréthanes (PUR)	49
4.2.3 - Résines de méthacrylate de méthyle (PMMA)	50
4.2.4 - Polyesters insaturés (UP)	50
4.2.5 - Polyacrylamides (PAAm)	51
4.3 - PRODUITS MIXTES À BASE DE CIMENT ET DE RÉSINE SYNTHÉTIQUE RÉACTIVE	51
4.4 - PRODUITS CONNEXES	51
4.4.1 - Produits destinés à la protection des bétons	51
4.4.1.1 - <i>Hydrofuges de surface</i>	52
4.4.1.2 - <i>Minéralisateurs</i>	52
4.4.1.3 - <i>Peintures</i>	52
4.4.1.4 - <i>Revêtements minces à base de liants hydrauliques modifiés (LHM)</i>	52
4.4.1.5 - <i>Revêtements minces à base de résines synthétiques (LR)</i>	53
4.4.1.6 - <i>Revêtements plastiques épais (RPE)</i>	53
4.4.2 - Produits de protection des armatures	53

4

FAMILLES DE PRODUITS UTILISÉS

Les produits utilisés pour la réparation des ouvrages en béton peuvent être classés en trois catégories, selon que le liant, qui assure la cohésion de l'ensemble, est de nature hydraulique (ciment), organique réactif (résine synthétique) ou mixte, c'est-à-dire à la fois hydraulique et organique réactif.

Les produits destinés à la protection des ouvrages sont présentés ensuite de manière succincte sous la rubrique produits connexes.

- Les produits à base de liants hydrauliques peuvent se subdiviser eux-mêmes selon que le liant en question est modifié ou non par un polymère organique.
- Les produits à base de résines synthétiques sont assez différents les uns des autres selon les transformations physiques et chimiques qui se produisent au cours de leur mise en œuvre et selon la structure du polymère obtenu finalement (linéaire ou réticulée).
- Les produits mixtes dont le liant actif est constitué à la fois de ciment et de résine synthétique réactive font intervenir à la fois la prise et le durcissement du liant hydraulique et la réticulation du polymère organique.

En ce qui concerne la **protection** des ouvrages, on peut utiliser la même classification, mais en incluant dans la deuxième catégorie, les peintures et revêtements à base de liants organiques non réactifs.

Ces produits feront l'objet d'un document spécifique consacré à la protection du béton.

4.1 - Produits à base de liants hydrauliques (LH)

Ces produits sont regroupés dans les deux familles suivantes, selon qu'ils sont modifiés ou non par la présence d'un polymère organique.

4.1.1 - Produits à base de liants hydrauliques avec ajouts (LHA)



Ces produits sont constitués principalement :

- d'un liant (ciment),
- de granulats (roulés ou concassés),
- d'ajouts (autres que des polymères organiques) éventuellement.

L'eau est ajoutée au moment de l'emploi. Ses caractéristiques sont celles de l'eau potable.

Des fibres et adjuvants bénéficiant du droit d'usage de la marque NF-Adjuvants (ou d'une marque équivalente) peuvent avoir été incorporés au mélange pour lui conférer des propriétés particulières.



Les liants utilisés sont conformes aux normes en vigueur (NF P-15 301, NF P-15 314, NF P-15 315, NF P-15 316, ...) et bénéficient du droit d'usage de la marque NF-Liants Hydrauliques (ou d'une marque équivalente). Pour les travaux en milieu agressif, ils doivent être titulaires de la certification « prise mer » (PM) ou « travaux en eaux à haute teneur en sulfates » (ES) selon le cas.

Les produits peuvent être :

- préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs prêts à l'emploi (il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire sans autre adjuvant) ;
- préparés sur site par malaxage des différents constituants, par exemple pour le béton projeté. Dans ce cas le dosage des constituants doit être justifié par une étude préalable de composition.

4.1.2 - Produits à base de liants hydrauliques modifiés par des polymères organiques (LHM)

Ces produits font appel à des polymères dits « résines miscibles » (c'est-à-dire en réalité en dispersion stable dans l'eau) qui peuvent se regrouper en grandes familles, dont :

- vinyliques (acétate, propionate, laurate de polyvinyle),
- acryliques,
- styrène-butadiène.

Ils se présentent sous l'une des deux formes suivantes :

- Monocomposant
 - . le polymère est sous forme de poudre mélangée au liant hydraulique. On ajoute sur le chantier l'eau nécessaire.
- Bicomposant
 - . le composant A contient le polymère et l'eau nécessaire à l'hydratation du ciment ;
 - . le composant B contient le ciment, le sable et les fines inertes, ainsi que les additifs éventuels : fibres, fumées de silice, ...

Sur le chantier, le produit est obtenu uniquement à partir du mélange des composants A + B, sans aucun autre ajout.

Les produits utilisés doivent bénéficier du droit d'usage de la marque NF-Produits Spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique ou d'une marque équivalente.

4.2 - Produits à base de résines synthétiques (LR)

Les résines synthétiques considérées sont des polymères organiques réactifs qui peuvent être :

- des systèmes polymériques monocomposant, adjuvantés ou chargés ;
- des systèmes polymériques bicomposant, présentés en emballages prédosés. Les constituants, adjuvantés ou chargés sont à mélanger au moment de l'emploi ;
- des systèmes polymériques tricomposant : un accélérateur et un catalyseur doivent être ajoutés à la résine au moment de l'application.

Thermoplastiques et thermodurcissables

Un polymère est dit **thermoplastique** lorsqu'il est déformable à chaud et retrouve par refroidissement sa rigidité initiale : il s'agit généralement d'un polymère de structure linéaire.

Un polymère est dit **thermodurcissable** quand, soumis à une élévation de température au cours de la réticulation ou peu de temps après, il devient rigide. Dans cette catégorie entrent les composés pour lesquels l'action de la chaleur ou de catalyseurs produit une réaction progressive de polycondensation ou de polyaddition qui les amène d'une structure linéaire ou ramifiée à un réseau tridimensionnel réticulé à mailles serrées (résines époxydes, par exemple).

Sous l'action de certains réactifs ou de certains solvants organiques, les polymères subissent un gonflement plus ou moins important qui peut aboutir, dans certains cas à une dispersion complète dans le milieu solvant.

Mise en œuvre et réticulation

Les réactions chimiques qui conduisent au polymère réticulé sont principalement de deux types :

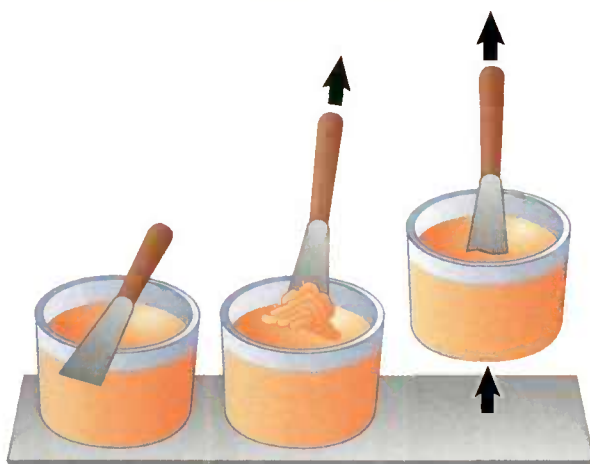
- la polymérisation par étapes, appelée couramment polycondensation ou polyaddition, qui concerne essentiellement les résines polyuréthanes et les résines époxydes,
- la polymérisation en chaîne, appelée couramment polymérisation, qui concerne les résines polyester et les résines acryliques réactives.

Ces deux types de réaction se traduisent par des technologies de mise en œuvre différentes.

En ce qui concerne les résines époxydes et les polyuréthanes, la réaction commence dès la mise en contact des deux constituants (résine ou base et durcisseur) et se traduit par la création progressive du réseau macromoléculaire tridimensionnel (réticulation).

Ces constituants doivent être soigneusement mélangés, en proportions bien définies, pour obtenir un polymère final réticulé doté des propriétés attendues.

Tout écart à ces proportions conduit à un produit de caractéristiques différentes dont les propriétés sont sensiblement inférieures à celles du polymère correctement dosé.



Pour les résines polyester et acryliques réactives, le mécanisme de la réaction est totalement différent. Elle se produit après addition d'un catalyseur dont le dosage a une influence moins critique sur les propriétés du polymère final. En général le système est complété par un accélérateur dont la fonction est d'agir sur l'action du catalyseur. En aucun cas, l'accélérateur ne doit être mélangé au catalyseur avant l'emploi (mélange explosif...).

Dans tous les cas, la réaction débute dès que le mélange des constituants est effectué et l'utilisateur dispose alors d'un délai limité pour

mettre en œuvre le mélange : c'est la durée pratique d'utilisation (D.P.U.). Au-delà de ce délai, qui peut varier de quelques minutes à plusieurs heures, la viscosité du mélange croît rapidement et son application devient impossible.

Il est important de noter que l'action d'un durcisseur (systèmes époxydes ou polyuréthanes) ou d'un catalyseur (systèmes polyesters ou acryliques réactifs) sur les résines de base donne lieu à une réaction exothermique (élévation progressive de la température du mélange) qui entraîne une augmentation plus ou moins rapide de la température du mélange selon les quantités mises en jeu (effet de masse). Autrement dit pour un système réactif donné et pour une température initiale donnée, la DPU d'un mélange sera d'autant plus courte que les quantités mises en œuvre seront grandes.

La DPU dépend donc de la nature des produits, de leur température au moment de l'application, des quantités mises en œuvre.

Lorsque les produits sont particulièrement réactifs (résines d'injection par exemple), on aura intérêt à utiliser des unités de mélange faibles si on veut avoir le temps de les mettre en œuvre avant qu'elles ne prennent en masse dans le récipient.

La notice technique du fabricant doit indiquer, en fonction de la température, les valeurs de la DPU correspondant à l'unité de conditionnement.

Il faut alors bien distinguer la notion de DPU, dont dépend le délai de mise en œuvre du produit, et le temps de réticulation en place (TRP) qui caractérise son évolution ultérieure, donc l'acquisition de ses performances définitives.

4.2.1 - Résines époxydes (EP)



Le terme «résine époxyde» prête souvent à confusion, car il s'applique aussi bien à l'un des composants du mélange, appelé aussi «base» (résine pure ou modifiée), qu'au résultat de la réaction de cette «base» avec le «durcisseur» (polyamine en général) qui lui est associé.

Les bases époxydes sont caractérisées essentiellement par leur indice d'époxyde (I_{∇}) exprimé en mol/kg, qui définit le nombre de fonctions époxydes par kilogramme de résine.

On utilise, aussi, l'équivalent époxyde W_{ep} qui correspond à la masse de résine nécessaire pour mettre en réaction une fonction époxyde.

Les durcisseurs sont caractérisés de la même manière, par leur indice de basicité totale (I_{NH}) exprimé en mol/kg, qui est défini par la quantité d'acide perchlorique nécessaire à la neutralisation des fonctions amines d'un gramme de produit (ou l'équivalent amine W_{NH}).

À côté des systèmes époxydes classiques, sans solvant, il existe également des liants époxy-polyuréthanes ou autres époxydes modifiés, des liants époxydes en émulsion ou en dispersion aqueuse, dont les conditions de mise en œuvre et les caractéristiques sont sensiblement différentes de celles des systèmes originaux, tout en conservant les propriétés essentielles des résines époxydes.

4.2.2 - Polyuréthanes (PUR)



Le terme polyuréthane désigne une famille de polymères obtenus par polycondensation (polyaddition) de di ou polyisocyanates avec des di ou polyols.

La polycondensation peut également se faire par réaction des polyisocyanates avec l'humidité de l'air. La grande réactivité des isocyanates avec l'eau permet ainsi d'utiliser des produits à un seul composant. Ces produits comportent des groupes -NCO qui réagissent avec l'humidité pour former le polymère, avec un dégagement simultané de dioxyde de carbone (gaz carbonique). Cependant, la réticulation est plus lente que dans le cas des systèmes à deux composants. C'est pourquoi on utilise ces produits pour la réalisation de joints, de revêtements minces ou de revêtements de sols.

Si la réactivité élevée des isocyanates avec l'eau est mise à profit pour la réalisation de couches minces en monocomposant, cette même propriété peut provoquer des effets indésirables avec les systèmes à deux composants utilisés en épaisseur plus importante, en présence d'humidité. En effet, le dioxyde de carbone formé dans ce cas conduit à des défauts d'étanchéité et d'adhérence et réduit sensiblement les performances mécaniques des systèmes polyuréthanes bicomposant.

La base polyol est caractérisée essentiellement par l'indice d'hydroxyle (I_{OH}) ou équivalent hydroxyle et le durcisseur isocyanate par le dosage des fonctions isocyanates.

Les bases polyol sont de deux types : polyéther et polyester hydroxylés. Les polyols de type polyester hydroxylé sont surtout sensibles à la saponification induite par l'humidité du béton et son alcalinité, plus importante lorsqu'il est jeune.

4.2.3 - Résines de méthacrylate de méthyle (PMMA)

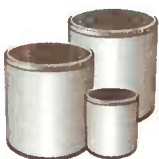


Les polyméthacrylates de méthyle et copolymères associés sont issus de mélanges de monomères et d'oligomères acryliques ou méthacryliques que l'on fait durcir par polymérisation initiée au moyen de catalyseurs organiques (peroxydes).

Les résines de cette famille sont très réactives et permettent des interventions même à basses températures (-20 °C), avec remise en service des ouvrages très rapidement (quelques heures à -20 °C). Elles sont très peu sensibles à la saponification induite par la réaction alcaline du béton en présence d'eau. Elles présentent cependant l'inconvénient d'une odeur forte et persistante.

Elles sont caractérisées par l'indice de viscosité (I.V.) exprimé en ml/g.

4.2.4 - Polyesters insaturés (UP)



Comme pour les époxydes, le terme «polyester» s'applique aussi bien à l'un des composants du mélange, appelé base, qu'au résultat de la réaction de cette base avec les autres composants (catalyseur et accélérateur). La base est constituée d'un polyester comportant des doubles liaisons, dissous dans un diluant réactif fluide qui comporte lui aussi une double liaison (styrène le plus souvent), et joue le rôle d'agent de réticulation.

Les polyesters se présentent donc souvent sous forme de systèmes à trois composants (la base, le catalyseur et l'accélérateur), qui réticulent selon un mécanisme de polymérisation en chaîne.

La formulation de la base peut inclure des adjuvants complémentaires, en particulier des plastifiants destinés à diminuer la fragilité des produits obtenus, ainsi que des charges minérales dont l'intérêt essentiel est de réduire sensiblement le retrait du produit formulé.

La base est caractérisée essentiellement par son indice d'acide et son indice d'hydroxyle.

D'une manière générale les polyesters sont susceptibles de se dégrader en milieu fortement alcalin. Cette sensibilité est variable selon les produits et doit être prise en compte au moment du choix.

4.2.5 - Polyacrylamides (PAAm)



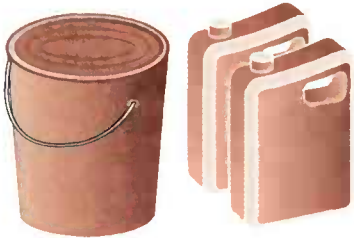
L'utilisation de ces produits repose sur la faculté de certains monomères acrylamides solubles dans l'eau de polymériser, sous l'action d'un catalyseur à la température ambiante en donnant un solide plus ou moins élastique emprisonnant l'eau de dissolution.

Les acrylamides se présentent habituellement sous forme d'un système à trois composants :

- une base acrylamide en solution aqueuse ;
- un accélérateur de polymérisation ;
- un amorceur de polymérisation, généralement un persulfate d'ammonium, que l'on dilue dans de l'eau.

Les coulis d'acrylamides sont généralement incolores et de viscosité comparable à celle de l'eau (environ 1 centipoise, soit 1 mPa.s à +20 °C). Les gels obtenus présentent de faibles propriétés mécaniques et ne peuvent être utilisés que dans des milieux humides en permanence (ouvrages ou terrain naturel), car ils ont la propriété de gonfler à l'eau (jusqu'à 200 % en volume) et de se rétracter dans l'air sec.

4.3 - Produits mixtes à base de ciment et de résine synthétique réactive



Cette famille est représentée essentiellement par les systèmes **époxy-ciment (EP-C)**.

Ces produits se présentent le plus souvent sous forme de trois composants prédosés, à mélanger au moment de l'emploi.

Les composants A et B sont les constituants du système époxyde (base et durcisseur en émulsion dans l'eau) et le constituant C est le mélange granulaire contenant le ciment et les charges fines. Le ciment réagit au moment de l'emploi avec l'eau des émulsions A et B.

On admet que les cristaux formés lors de l'hydratation du ciment s'enchevêtrent à travers le réseau formé par la réaction du système époxyde.

4.4 - Produits connexes

4.4.1 - Produits destinés à la protection des bétons

Dans certains cas on peut avoir besoin de protéger le béton contre la pénétration de l'eau, les agressions atmosphériques, les sels de déverglaçage, les attaques acides ou sulfatiques ou par d'autres agents agressifs (bactéries, ...).



Plusieurs familles de produits sont proposées pour tenter de résoudre ces problèmes :

- les hydrofuges de surface,
- les minéralisateurs,

- les peintures,
- les revêtements minces à base de liants hydrauliques modifiés (LHM),
- les revêtements minces à base de résines synthétiques (LR),
- les revêtements plastiques épais (RPE).

4.4.1.1 - Hydrofuges de surface

Les hydrofuges de surface diminuent la mouillabilité du support tout en le laissant respirer.

Il existe plusieurs types de produits :

- les silicones en solution aqueuse. C'est la solution la plus ancienne. Ces produits peuvent s'appliquer sur des surfaces légèrement humides. Il est cependant conseillé d'effectuer le traitement par temps sec et sur un support carbonaté ;
- les siliconates en émulsion aqueuse ;
- les silanes et silicones en solution dans un solvant organique, toluène, white-spirit, alcools, ... qui s'appliquent exclusivement sur support sec.

La nature de certains de ces produits rend difficile toute mise en peinture ultérieure, sauf lorsqu'on utilise un primaire spécial.

4.4.1.2 - Minéralisateurs

Les minéralisateurs sont présentés comme des agents destinés à réagir avec la chaux provenant de l'hydratation du ciment pour donner des microcristaux de C-S-H (réaction pouzzolanique). Il se produit une sorte de minéralisation du matériau traité, c'est-à-dire un blocage des capillaires et une imperméabilisation interne.

Entrent dans cette catégorie les silicates, tels quels (métasilicates alcalins) ou en association avec des molécules organiques.

Leur efficacité et leur durabilité dépendent du taux de pénétration dans les supports donc de la porosité de ceux-ci ; la durabilité sur un support compact est faible. Elle dépend aussi de la nature chimique et minéralogique des constituants du béton.

4.4.1.3 - Peintures

Les principales familles utilisées en génie civil sont (*cf.* NF T 36-005) :

- caoutchouc chloré ;
- copolymère acrylique ou vinylique en émulsion aqueuse ;
- copolymère acrylique en phase solvant ;
- résines époxydes bicomposant (en phase aqueuse, solvantées ou non solvantées) ;
- résines polyuréthanes mono et bicomposant (en particulier pour les couches de finition sur sous-couche époxyde).

On utilise aussi le ciment latex en deux composants (ciment et latex). Ces produits sont appliqués en deux ou trois couches d'épaisseur totale comprise entre 150 et 500 μm .

Les «lasures» béton ne sont pas des peintures à proprement parler, mais des produits de protection, pigmentés ou non, ce qui permet de conserver l'aspect du béton. Elles sont appliquées en couche mince (< 100 μm).

4.4.1.4 - Revêtements minces à base de liants hydrauliques modifiés (LHM)

Ce sont des produits (en général bicomposant) qui sont appliqués en une ou deux couches sur des épaisseurs totales de deux à cinq millimètres.

Ils sont constitués :

- d'un ciment additionné de charges spécifiques (composant B),
- d'une résine miscible souple, par exemple un latex styrène butadiène (composant A).

4.4.1.5 - Revêtements minces à base de résines synthétiques (LR)

Ces revêtements sont constitués de plusieurs couches de résines qui sont commercialisées sous forme de produits sans solvant (ou peu de solvant), de solutions ou de dispersions. Leur épaisseur totale est généralement comprise entre 0,5 et 2,5 mm.

Les principales résines utilisées sont de type :

- polyuréthane (mono ou bicomposant),
- méthacrylique (bicomposant),
- acrylique (phase aqueuse monocomposant),
- acrylique monocomposant photoréticulable : la réticulation superficielle est provoquée par l'exposition au rayonnement UV.

4.4.1.6 - Revêtements plastiques épais (RPE)

Ces revêtements (norme NF T-30 700) ont la même composition qu'une peinture classique. Ils s'en distinguent par leur consistance plus ou moins pâteuse et la présence de charges grossières de granularité généralement supérieure au millimètre.

Appliqués en dosage de 1,5 à 3 kg/m², ils donnent des revêtements épais et garnissants. Le liant est souvent une résine acrylique en émulsion.

4.4.2 - Produits de protection des armatures

Il existe principalement deux types de produits :

- les barbotines, à base de ciment, de résine et d'inhibiteur de corrosion (agent passivant), qui sont généralement utilisés en association avec des produits de réparation à base de liants hydrauliques, notamment lorsque l'épaisseur d'enrobage est insuffisante pour des conditions d'environnement données ;
- les primaires organiques contenant des inhibiteurs de corrosion, préférentiellement à base de résine époxyde, utilisés en association avec des produits de réparation à base de résines synthétiques. Les inhibiteurs utilisés dans ce cas sont principalement à base de sels de zinc.

Page laissée blanche intentionnellement

CHAPITRE 5

GLOSSAIRE - SIGLES - NORMES - DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE 56

GLOSSAIRE	56
SIGLES	68
NORMES FRANÇAISES	69
NORMALISATION EUROPÉENNE	73
MARQUES DE CERTIFICATION	74
DOCUMENTS ANNEXES	74

5

GLOSSAIRE - SIGLES - NORMES - DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les définitions, qui figurent dans le glossaire, n'ont pas la prétention de constituer une référence mais plutôt une aide, au lecteur non averti des différentes techniques mises en jeu, notamment en ce qui concerne la physico-chimie des matériaux.

Ce «lecteur non averti» est le plus souvent un praticien qui manie assez bien la Résistance Des Matériaux mais n'a que de vagues souvenirs de Chimie..., et qui se trouve confronté à des choix où le vocabulaire chimique intervient.

Le glossaire s'adresse en premier lieu à ce lecteur-là.

Ce peut être au contraire un spécialiste des matériaux qui a du mal à comprendre les subtilités du langage des praticiens de la réparation des ouvrages, notamment lorsqu'ils traitent du fonctionnement des structures.

Le glossaire s'adresse également à lui. Il est alors prié de ne pas examiner de trop près l'orthodoxie des définitions des termes chimiques : elles ne sont pas écrites pour lui et de toute manière il n'en a pas besoin.

GLOSSAIRE

A *comme...*

Accélérateur

Substance qui, utilisée en faible proportion, augmente la vitesse de réaction d'un système chimique. S'applique aussi bien aux liants hydrauliques (prise et durcissement) qu'aux résines synthétiques (UP, PMMA).

Adjuvant pour béton

Produit incorporé au moment du malaxage du béton à une dose inférieure ou égale à 5 % en masse de la teneur en ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et/ou durci.

Agent de réticulation

Substance qui initie ou régularise la réaction de réticulation entre des chaînes de polymères.

Agent passivant

Produit utilisé tel quel ou introduit dans un gobetis ou une barbotine, destiné à la passivation d'une armature mise à nu.

Ajout

Tout produit complétant la composition de base d'un béton ou d'un mortier, qui est incorporé à la fabrication, de façon à répondre aux conditions particulières d'exécution.

Ancrage de précontrainte

Pièce métallique destinée à maintenir en position tendue les armatures de précontrainte et à transférer les efforts de tension des armatures à la structure.

Armature de précontrainte (ou armature active)

Élément sous forme de fils, barre ou toron en acier de haute résistance, maintenu en tension de façon définitive dans la structure.

Armature de béton armé (ou armature passive)

Armature pouvant être un rond lisse, une armature à haute adhérence ou un treillis soudé.

Armature textile

Textile tissé ou non, de diverses natures et de divers grammages qui est noyé dans le liant compatible, tel que : toile ou mat de verre, de polyester, etc.

B comme...**Barbotine**

Mélange hydraulique très riche en ciment (ou liant modifié) servant comme couche d'adhésion.

Base

Constituant d'un bicomposant organique, l'autre étant appelé «durcisseur».

Béton projeté

Béton mis en œuvre par refoulement dans une conduite et projeté sur une paroi par un jet d'air comprimé.

Bicomposant

Produit présenté en deux constituants à mélanger au moment de l'emploi.

Bullage

- Concernant le béton support : cavités superficielles parfois invisibles que l'on rencontre à la surface du béton.
- Concernant un revêtement de protection : défectuosité initiale caractérisée par l'apparition de bulles (cloques) ou de pores (bulles crevées).

C comme...**Cachetage**

Bouchage d'un vide de faible largeur pour le fermer superficiellement afin de permettre son injection.

Calfeutrement

Procédé consistant à injecter à l'intérieur de la fissure un produit assurant un bon colmatage et une bonne adhésion au support pour rétablir l'étanchéité. On peut noter que, selon la nature de la fissure et celle du produit utilisé, l'injection peut aussi assurer un rétablissement de la résistance de l'ouvrage.

Carbonatation

Principalement, transformation de la portlandite en carbonate de calcium par l'action du gaz carbonique dissous dans la phase liquide interstitielle.

Elle s'effectue plus ou moins lentement, selon :

- la compacité du béton (si le béton est poreux, la réaction est plus rapide),
- sa constitution (plus ou moins riche en $\text{Ca}(\text{OH})_2$),
- l'environnement.

Accessoirement, transformation des aluminates en carbo-aluminates suivant le même processus.

Catalyseur

Substance qui, utilisée en faible proportion, augmente la vitesse d'une réaction chimique et qui, théoriquement, reste chimiquement inchangée à la fin de la réaction. Par extension, (et abus de langage), on désigne couramment par catalyseur les peroxydes utilisés pour amorcer la polymérisation de systèmes réactifs tels que les UP et les PMMA.

Charge

Produit généralement non adhésif, à l'état solide, plus ou moins divisé, qui, incorporé à un adhésif, en modifie les caractéristiques.

Clouage

Fixation sur une structure d'une pièce rapportée en acier ou en béton, grâce à des armatures de précontrainte qui la maintiennent serrée sur la structure.

Copolymère

Polymère résultant de la polymérisation simultanée de deux ou plusieurs monomères ou oligomères différents.

Couche d'accrochage

Couche mince appliquée sur le support avant mise en œuvre de mortier ou de béton, destinée, soit à améliorer l'accrochage des matériaux de réparation, soit à assurer l'adhérence.

D *comme...*

Dégradation structurelle

Tout abaissement des caractéristiques des composants d'une structure mettant en cause la tenue d'ensemble de cette structure.

Dégradation superficielle

Tout affaiblissement de la qualité de protection des bétons d'une structure en surface et sur une profondeur de quelques centimètres ne mettant pas en cause la tenue d'ensemble de cette structure.

Diluant réactif

Liquide de faible viscosité, exempt de solvant, susceptible de s'intégrer par liaison chimique à la macromolécule au cours de la réticulation.

Durcisseur

Constituant d'un bicomposant organique, l'autre étant appelé « base ».

Durée Pratique d'Utilisation (DPU)

Temps durant lequel un mélange, préparé pour l'application, reste utilisable.

Durabilité

Durée pendant laquelle un produit remplit la ou les fonctions pour lesquelles il a été conçu.

E *comme...***Élastomère**

Matériau macromoléculaire retournant rapidement et approximativement à sa forme et à ses dimensions initiales après cessation d'une contrainte faible ayant produit une déformation importante.

Émulsion

Système hétérogène constitué par la dispersion de fins globules d'un liquide dans un autre liquide formant une phase continue.

Enduit

Produit se présentant, au moment de l'emploi, sous forme pâteuse ou semi-fluide destiné à être appliqué en forte épaisseur, soit en revêtements continus, soit localisés. Dans le présent document, c'est cette dernière utilisation qui est considérée.

Épaufrure

Fragment détaché de la masse du béton.

Équivalent époxyde

Quantité de substance, exprimée en grammes, qui contient une mole de groupe époxyde.

Équivalent amine

Quantité de substance, exprimée en grammes, qui contient une mole de fonction amine.

Équivalent hydroxyle

Nombre de fonctions hydroxyles contenues dans 1kg de substance.

Étanchéité de parement

Traitement permettant d'empêcher la pénétration d'eau dans les supports, y compris ceux qui sont fissurés ou susceptibles de l'être après son application. Le «souffle» maximal des fissures ne peut excéder le millimètre.

F *comme...***Faïençage**

Réseau de microfissures, se présentant sous forme d'un dessin géométrique à mailles irrégulières et qui s'inscrivent généralement dans un carré n'excédant pas 20 cm de côté. Ce réseau n'intéresse le plus souvent que la couche superficielle de béton ou d'un revêtement de protection.

Farinage

Altération consistant en la libération, sous l'action d'agents atmosphériques, de constituants à l'état de fines poussières peu adhérentes.

Fissure (béton)

Ouverture (discontinuité) linéaire du béton au tracé plus ou moins régulier, dont la largeur est comprise entre 0,2 mm et 2 mm. En dehors de ces limites, il s'agit de microfissure ou de lézarde.

Fissure active

Fissure dont l'ouverture varie dans le temps en fonction des gradients thermiques ou hygrométriques, ou des sollicitations de l'ouvrage (absence de joints, tassement d'appuis, conséquences de défauts de conception ou d'exécution, etc.). L'amplitude de cette variation s'appelle le « souffle ».

Fissure de surface

Fissure ne traversant pas l'épaisseur de la structure. L'ouverture dans ce cas est maximale en surface et nulle au sein du matériau.

Fissure passive ou morte

Fissure dont l'ouverture ne varie plus de façon sensible dans le temps, quelles que soient les conditions de température ou de sollicitation de l'ouvrage.

Fonctionnalité d'un composant

Nombre de groupes fonctionnels par molécule de ce composant susceptibles de réagir par une réaction de polycondensation.

Fumée de silice

Poudre amorphe finement divisée dérivée de la production d'alliages de silicium ou contenant du silicium. Elle est entraînée depuis la zone de combustion des fours par les gaz vers le système de captage.

G comme...

Gobetis

Première couche (ou couche d'accrochage) ayant pour fonction principale d'assurer l'adhérence au support d'un produit de réparation ou de protection à base de liants hydrauliques. Il doit couvrir celui-ci sans surcharge. Sa surface doit être rugueuse pour permettre une bonne adhérence de la deuxième couche.

H comme...

Hydrofuge de surface

Produit incolore qui appliqué sur des matériaux, agit par imprégnation. Il est destiné à arrêter le phénomène de succion capillaire et à favoriser le ruissellement de l'eau.

I comme...

Imperméabilisation de parement.

Traitement destiné à réduire le cheminement de l'eau dans un support non fissuré ou présentant des fissures passives au moment de l'application.

Imprégnation

Application en surface d'un système suffisamment mouillant et fluide pour pénétrer superficiellement dans le béton.

Indice d'acide

Nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaires pour neutraliser un gramme du produit essayé dans les conditions de l'essai.

Indice d'époxyde

Nombre de fonctions époxydes contenues dans 1000 g de produit.

Indice d'hydroxyle des bases polyol utilisées dans la préparation des polyuréthanes

Nombre de mg d'hydroxyde de potassium nécessaire pour neutraliser l'acide phtalique (cas des polyéthers) ou l'acide acétique (cas des polyesters) qui se combine par estérification à 1 g de produit.

Indice d'hydroxyle de résines de polyesters insaturés

Nombre de mg d'hydroxyde de potassium nécessaires pour neutraliser l'acide acétique qui se combine par acétylation à 1 g de résine de polyester insaturé.

Inhibiteur

En faible proportion, cette substance empêche ou ralentit une réaction chimique.

Injection

Action de faire pénétrer dans des fissures un produit susceptible de créer une liaison mécanique et/ou une étanchéité entre les parties disjointes.

L comme...**Lasure (béton)**

Produit de protection, transparent, pigmenté ou non, utilisable surtout en décoration en conservant l'aspect et les formes du béton.

Lézarde ou crevasse

Fissure dont l'ouverture dépasse 2 mm.

Liant

Nom générique des substances servant à rassembler et maintenir réunies des particules généralement solides.

Liant hydraulique

Poudre minérale qui forme avec l'eau une pâte faisant prise et durcissant progressivement, même à l'abri de l'air notamment sous l'eau (LH).

Liant organique

Liant composé de macromolécules organiques (c.-à-d. ressortissant de la chimie organique) appelé aussi résine synthétique ou quelquefois liant résineux (LR).

M comme...**Macromolécule**

Molécule de très grande masse moléculaire. Dans ce document, ce terme s'applique essentiellement aux molécules organiques.

Mastic

Matière douée de plasticité constituée de fines minérales et d'un liant organique utilisée pour des remplissages, des calfeutrages et des rebouchages.

Microfissure

Fissure d'ouverture très fine, au tracé plus ou moins régulier et linéaire, le plus souvent discontinu, et dont la largeur est inférieure à 0,2 mm. Elle peut évoluer jusqu'à former un réseau.

Minéralisateur

Produit d'origine minérale se présentant sous forme colloïdale ou pulvérulente, destiné à entrer en combinaison chimique avec les composants hydratés du ciment et la chaux d'hydrolyse pour former des composés minéraux stables.

Monocomposant

Produit à base de résine synthétique présenté en un seul constituant, ayant en général un caractère thermoplastique.

Monomère

Substance constituée de molécules de faible masse susceptibles de s'unir entre elles ou à des molécules d'autres monomères ou oligomères pour former un polymère.

Mortier projeté

Mortier mis en œuvre par refoulement dans une conduite et projeté sur une paroi par un jet d'air comprimé.

N comme...

Nid de cailloux

Défaut localisé caractérisé par l'absence de fines ou de mortier entre les granulats.

O comme...

Oligomère

Polymère dont la chaîne, très courte, contient un petit nombre de motifs monomères (polycondensation stoppée, par exemple, au tout début de son développement).

Ouverture d'une fissure

Largeur entre lèvres pouvant être évaluée à l'œil nu ou de préférence être mesurée à l'aide d'un fissuromètre. Elle est déterminante pour le choix des produits de réparation à utiliser.

P comme...

Passivation

Opération consistant à traiter, par voie chimique ou électrolytique, un sujet métallique préalablement décapé, afin d'améliorer sa résistance à la corrosion.

Peinture

Produit liquide ou en poudre, contenant des pigments, destiné à être appliqué sur une surface pour former un feuillet opaque doué de qualités protectrices, décoratives ou techniques particulières.

Polyacrylamide (PAAm)

Système composé d'une base acrylamide en solution aqueuse, d'un amorceur de polymérisation et éventuellement d'un accélérateur.

Polycondensation ou polymérisation par étapes

Réaction chimique conduisant à la création d'un polymère se produisant entre les fonctions réactives des monomères ou oligomères en présence, avec ou sans élimination de molécules simples (H_2O , CO_2 , etc.). Cette réaction concerne notamment la mise en œuvre des résines époxydes et polyuréthanes bicomposant.

Dans ces deux cas il n'y a pas d'élimination de molécule simple.

Polyester insaturé (UP)

Système composé d'une base (caractérisée par la présence de doubles liaisons entre atomes de carbone dans la chaîne du polymère) en solution dans un diluant réactif et d'un catalyseur qui permettra, après mélange sur chantier d'obtenir le durcissement du mélange dont la vitesse de prise peut être réglée par addition éventuelle d'un accélérateur.

Polymère

Produit constitué de macromolécules comportant un grand nombre de répétitions d'un ou plusieurs types de motifs constitutionnels (motifs monomères ou unités de répétition).

Polymérisation

Réaction chimique de transformation d'un monomère ou d'un mélange de monomères en un polymère. La polymérisation proprement dite est une réaction en chaîne qui met en jeu des monomères insaturés. Elle est initiée par un amorceur de polymérisation appelé «catalyseur», le plus souvent accompagné d'un «accélérateur». (Attention : l'accélérateur ne doit jamais être mélangé avec le catalyseur seul car cela provoquerait une explosion !).

Le mécanisme de la polymérisation proprement dite est différent de celui de la polymérisation par étapes (polycondensation).

Polyuréthane (PUR)

Système, soit monocomposant réagissant avec l'humidité ambiante, soit bicomposant (base et durcisseur). La réaction du produit avec l'eau permet, dans certains cas d'obtenir des mousses à expansion plus ou moins grande et d'élasticité variable en fonction du produit choisi (colmatage de fissures suintantes). Dans d'autres cas, cette réaction induit des défauts du film (adhérence, microbullage).

Pontage

Pose d'un dispositif armé, adhérent ou non, de largeur appropriée, au droit de fissures, destiné à répartir les contraintes dans les revêtements d'étanchéité.

Primaire

Couche de préparation destinée, selon le cas, à permettre ou à améliorer l'accrochage ultérieur des couches suivantes d'un système de réparation ou de protection.

Produit à base de liants hydrauliques (LH)

Mortier ou béton constitué de liant hydraulique et de granulats. Éventuellement des adjuvants peuvent être utilisés. Lorsque des additions minérales et /ou des fibres sont incorporées au mélange, ce produit est dénommé LHA.

Produit à base de liants hydrauliques modifié (LHM)

Mélange généralement prédosé en usine, composé d'un liant hydraulique et d'une charge minérale (granulats et fines), modifié par ajouts de résine «miscible» (polymère organique). Des fibres peuvent être incorporées au mélange. La composition du mélange y compris le dosage en eau, doit être parfaitement définie par le fabricant.

Produit à base de résines synthétiques (LR)

Mélange composé d'une résine synthétique constituant le liant et éventuellement d'une charge minérale, d'ajouts et de fibres.

Produit de calage

Produit qui, mis en œuvre à l'état liquide (consistance fluide ou pâteuse) entre des éléments préalablement positionnés et pas nécessairement tous en béton hydraulique, assure la continuité mécanique entre eux.

Produit de collage structural

Produit qui, appliqué sur une surface d'un élément en béton durci en vue de coller ce dernier à un autre élément de béton durci ou de le lier à du béton frais, assure la continuité mécanique de l'ouvrage.

Produit d'injection

Produit qui, injecté dans des structures en béton dégradé, contribue à rétablir essentiellement la continuité mécanique des ouvrages.

Produit de réparation de surface

Produit qui, mis en œuvre sur une surface lisse ou rugueuse, à l'état liquide (consistance fluide ou pâteuse), permet de rétablir l'aspect géométrique et esthétique de l'ouvrage et de restaurer les conditions de protection.

Produit de scellement

Produit qui, mis en œuvre à l'état fluide ou pâteux, assure la fixation d'une pièce dans un élément en béton hydraulique.

Produit pour couche d'accrochage

Le produit constituant la couche d'accrochage peut être de même nature que le subjectile ou le matériau de réparation. Il peut être aussi de nature différente. La compatibilité entre les différents matériaux doit être assurée. Elle doit en particulier être spécifiée par le fabricant. Le produit constituant cette couche peut être à base de liants hydrauliques ou de résines synthétiques.

Protection généralisée

Traitement appliqué sur l'ensemble d'une surface destiné à assurer une ou plusieurs des fonctions suivantes : esthétique, imperméabilisation, étanchéité.

R *comme*

Ragréage

Opération consistant à remédier aux imperfections géométriques importantes d'une surface de béton par application d'un mortier ou de ciment, afin de permettre la pose ultérieure d'un système d'étanchéité ou de protection. Ces imperfections sont à l'échelle décimétrique.

Rebouchage

Opération de préparation de surface ayant pour objet de faire disparaître les discontinuités superficielles d'un support. Ici les imperfections sont à l'échelle centimétrique.

Renforcement

Opération qui consiste à augmenter le niveau de service d'une construction pour en permettre l'utilisation dans des conditions non prévues à l'origine (augmentation des charges d'exploitation en particulier).

Reprise de bétonnage

Opération qui consiste à appliquer un béton frais sur un béton ancien, afin d'obtenir une liaison mécanique et une étanchéité au moins égales à celles des matériaux en présence.

Reprofilage

Reconstitution de la forme géométrique originale d'un élément de construction.

Résine acrylique

Résine synthétique résultant de la polymérisation ou de la copolymérisation de divers monomères acryliques et/ou méthacryliques.

Résine époxyde (EP)

Système à deux composants (base et durcisseur) liquides sans solvant à mélanger au moment de l'emploi. Ils peuvent être chargés avec des produits minéraux.

Résine de méthacrylate de méthyle (PMMA)

Mélange de monomères et d'oligomères acryliques ou méthacryliques, qui est durci par polymérisation sous l'action d'un catalyseur.

Résine synthétique

Au sens large le terme résine est employé pour désigner les polymères synthétiques utilisés comme liants organiques dans la construction.

Résine synthétique réactive

Une résine est dite réactive si la réticulation se produit au cours de l'utilisation du produit, soit par réaction chimique entre les composants, soit par réaction avec l'humidité, soit encore par processus physique (rayonnement UV).

Réticulation

Phénomène conduisant à l'obtention d'un réseau tridimensionnel (quel que soit le mécanisme réactionnel).

Revêtement d'étanchéité (système de revêtement)

Revêtement plastique, élastoplastique ou élastique appliqué à l'extérieur de la structure. Ce revêtement n'est pas nécessairement adhérent à la structure et c'est la pression de l'eau qui s'applique sur celle-ci. Le revêtement doit pouvoir s'adapter aux légères déformations ou fissurations (annoncées ou tolérées) des ouvrages.

Revêtement d'imperméabilisation

Écran extérieur adhérent à son support pouvant assurer l'étanchéité mais ne résistant pas à une fissuration (donnée ou quantifiée) appréciable du support.

Revêtement mince

Revêtement d'épaisseur comprise entre un et plusieurs millimètres.

Revêtement pelliculaire

Peinture ou revêtement mince.

Revêtement plastique épais (RPE)

Produit prêt à l'emploi, à caractère protecteur, constitué principalement par un mélange de liant synthétique, de granulats et de charges minérales inertes avec ou sans pigments. Il est qualifié «d'épais» par rapport à la peinture et présente généralement une forte rugosité.

S *comme...*

Silicate

Produit minéral à base de silice en solution aqueuse, susceptible de réagir avec les ions calcium du béton ou d'autres ions apportés au préalable, pour former des cristaux insolubles.

Silicone (SI)

Polymère dont la chaîne principale est composée d'une alternance d'atomes de silicium et d'oxygène (polysiloxane). Il polymérise par action de l'humidité ambiante, en général à température ambiante, en présence ou non de catalyseurs.

Souffle

Amplitude de variation de l'ouverture d'une fissure.

Subjectile

Surface sur laquelle est appliquée ou doit être appliquée une couche de produit.

T *comme...*

Temps de Réticulation en Place (TRP)

Délai nécessaire à une résine réactive pour réagir et acquérir les propriétés mécaniques qu'on attend du matériau dans les conditions pratiques où il est mis en œuvre.

Thermodurcissable

Susceptible d'être transformé en un produit essentiellement infusible et insoluble lorsqu'il est traité par la chaleur, ou par d'autres moyens tels que radiations, catalyseurs, durcisseurs, etc.

Thermoplastique

Susceptible d'être, de manière répétée, successivement ramolli par chauffage et durci par refroidissement dans un intervalle de températures caractéristiques.

SIGLES UTILISÉS DANS LE GUIDE

C-S-H : nom générique des silicates de calcium hydratés, assurant la cohésion de la pâte de ciment.

ES : qualifie un ciment «résistant aux sulfates», c'est-à-dire conforme à la norme française P 15-319.

EP : produit à base de résine époxyde. Désigne aussi le polymère de base.

EP-C : produit mixte à base de résine époxyde et de ciment.

DPU : durée pratique d'utilisation.

HR : humidité relative.

LH : produit à base de liants hydrauliques.

LHA : produit à base de liants hydrauliques avec ajouts éventuels, c'est-à-dire comportant des additions minérales et/ou des fibres éventuellement.

LHM : produit à base de liants hydrauliques modifié par ajout de polymère organique.

LR : produit à base de résines synthétiques.

PAAm : produit à base de polyacrylamide. Désigne aussi le polymère de base.

PM : qualifie un ciment «prise mer», c'est-à-dire conforme à la norme française NF P 15-317.

PMMA : produit à base de polyméthacrylate de méthyle. Désigne aussi le polymère de base.

PUR : produit à base de polyuréthane. Désigne aussi le polymère de base.

RPE : revêtement plastique épais.

SI : produit à base de silicone. Désigne aussi le polymère de base (polysiloxane).

SNJF : syndicat national des joints et façades.

TRP : temps de réticulation en place.

UP : produit à base de polyester insaturé. Désigne aussi le polymère de base.

UV : rayonnement ultraviolet.

NORMES FRANÇAISES

Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique

*Nature
du liant**

* Liant hydraulique (H)
ou résine de synthèse (R)

NORMES GÉNÉRALES

NF P 18-800 Définitions, classification, conditionnement, marquage, conditions de réception.	H-R
P 18-802 Contrôles sur chantier.	H-R

ESSAIS D'IDENTIFICATION

P 18-805 Dosage en liant actif.	H
NF P 18-806 Analyse granulométrique.	H-R
NF P 18-807 Perte au feu et teneur en cendres.	H-R
P 18-808 Analyse minéralogique et composition potentielle selon Bogue.	H
P 18-809 Analyse par spectrophotométrie infrarouge sur produit avant mise en oeuvre.	R
NF P 18-810 Détermination de la Durée Pratique d'Utilisation (DPU).	R
P 18-811 Préparation d'un échantillon pour essais.	H
NF P 18-812 Détermination de l'indice d'époxyde.	R
NF P 18-813 Dosage des fonctions amines par l'indice de basicité totale.	R

PRODUITS DE CALAGE ET DE SCELLEMENT

Normes de spécifications

P 18-821 Caractères normalisés garantis.	H
P 18-822 Caractères normalisés garantis.	R

Normes d'essais

P 18-831 Essai d'arrachement.	H-R
P 18-832 Essai d'aptitude à la mise en place.	H
P 18-833 Essai d'aptitude à la mise en place.	R
P 18-834 Essai de ressuage en volume confiné.	H
P 18-835 Essai de fluage en compression (calages).	R
P 18-836 Essai de fluage en traction (scelllements).	R
P 18-837 Essai de tenue à l'eau de mer et à forte teneur en sulfates.	H

**PRODUITS OU SYSTÈMES DE PRODUITS DESTINÉS AUX RÉPARATIONS DE SURFACE
DU BÉTON DURCI****Normes de spécifications**

P 18-840 Caractères normalisés garantis - Normes d'essais garantis - Normes.

Normes d'essais

P 18-851 Essai de flexion sur éprouvette évidée et reconstituée.	H-R
P 18-852 Essai d'adhérence sur surfaces sciées.	H-R
P 18-853 Essai d'adhérence après cycles thermiques sur surfaces sciées.	H-R
P 18-854 Essai de tenue aux chocs répétés sur surfaces sciées.	H-R
P 18-855 Essai de perméabilité aux liquides avec surfaces sciées.	H-R
P 18-856 Essai de tenue aux rayonnements UV.	R
P 18-857 Essai de tenue aux chocs sur surfaces sciées après cycles.	H-R
P 18-858 Essai d'adhérence sur surfaces rugueuses.	H
P 18-859 Essai d'adhérence après cycles thermiques sur surfaces rugueuses.	H
P 18-860 Essai de tenue aux chocs répétés sur surfaces rugueuses.	H
P 18-861 Essai, après cycles de gel-dégel, de tenue aux chocs répétés sur éprouvettes à surface rugueuse.	H
P 18-862 Essai de perméabilité aux liquides sur éprouvette à surface rugueuse.	H

PRODUITS DE COLLAGE STRUCTURAL**Normes de spécifications**

P 18-870 Caractères normalisés garantis. H-R

Normes d'essais

P 18-871 Essai de traction directe sur cylindre scié et reconstitué.	H-R
P 18-872 Essai de compression-cisaillement sur cylindre scié et reconstitué.	H-R
P 18-873 Essai de tenue sur surface verticale.	R
P 18-874 Essai de détermination du temps limite d'assemblage.	R

PRODUITS D'INJECTION

H-R

Normes de spécifications

P 18-880 Caractères normalisés garantis. R

Normes d'essais

P 18-891 Essai d'injectabilité à la colonne de sable en milieu sec et humide. R

	<i>Nature du liant</i>
P 18-892 Essai de fendage d'éprouvettes cylindriques de mortier provenant de l'injection d'une colonne de sable.	H-R
P 18-893 Essai de fragilité aux chocs.	R
P 18-894 Essai d'adhérence avec ou sans cycles thermiques.	H-R
P 18-895 Essai de vieillissement de l'adhérence par fatigue mécanique.	H-R
P 18-896 Essai de retrait de polymérisation.	R
P 18-897 Essai de tenue de l'adhérence sous circulation d'eau.	R

Ouvrages d'art. Normes sur les techniques de réparation

NF P 95-101 Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Reprise du béton dégradé - Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.

NF P 95-102 Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Béton projeté - Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.

NF P 95-103 Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Traitement des fissures et protection du béton - Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.

NF P 95-104 Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Spécifications relatives à la technique de précontrainte additionnelle.

NF P 95-105 Ouvrages d'art - Réparation et renforcement par armatures passives additionnelles - Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés (à paraître).

NF P 95-106 Ouvrages d'art - Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Spécifications relatives aux fondations des ouvrages.

NF P 95-107 Ouvrages d'art - Réparation et renforcement des maçonneries d'ouvrages d'art - Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.

Divers

NF ISO 472 Plastiques - Vocabulaire.

NF ISO 1043-1 Plastiques - Symboles - Polymères de base et leurs caractéristiques spéciales.

NF ISO 1043-2 Plastiques - Symboles - Charges et matériaux de renforcement.

NF ISO 1043-3 Plastiques - Symboles - Plastifiants.

NF P 15-301 Liants hydrauliques - Ciments courants - Composition, spécifications et critères de conformité.

NF P 15-314 Liants hydrauliques - Ciment prompt naturel.

NF P 15-315 Liants hydrauliques - Ciment alumineux fondu.

NF P 15-316 Liants hydrauliques - Emploi du ciment alumineux fondu en éléments de structure.

- NF P 15-317** Liants hydrauliques - Ciments pour travaux à la mer.
- P 15-319** Liants hydrauliques - Ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates.
- P 18-011** Bétons - Classification des environnements agressifs.
- P 18-101** Granulats - Vocabulaire - Définitions et classifications.
- NF P 18-103** Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Définitions, classification et marquage.
- NF P 18-350** Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Ciments de référence.
- P 18-351** Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Bétons normaux pour adjuvants.
- NF P 18-352** Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Détermination de la quantité d'eau de gâchage des bétons et mortiers adjuvantés soumis aux essais d'efficacité à maniabilité constante.
- NF P 18-501** Additions pour béton hydraulique - Fillers.
- NF P 18-502** Additions pour béton hydraulique - Fumées de silice.
- P 18-541** Granulats - Granulats pour bétons hydrauliques - Spécifications.
- P 84-401** Peintures et vernis - Façades - Revêtement à base de polymères utilisés en réfection des façades en service - Définitions et vocabulaire.
- P 84-402** Peintures et vernis - Façades - Revêtements à base de polymères utilisés en réfection des façades en service - Méthodes d'essais.
- P 84-403** Peintures et vernis - Façades - Revêtements à base de polymères utilisés en réfection des façades en service - Caractéristiques et performances.
- NF T 30-700** Peintures - Revêtements plastiques épais - Spécifications.
- NF T 36-001** Peintures - Dictionnaire technique des peintures et des travaux d'application.
- NF T 36-005** Peintures et vernis - Classification des peintures, des vernis et des produits connexes.
- NF T 40-001** Caoutchouc - Vocabulaire.
- NF T 51-510** Résines de polyesters non saturés - Désignation.
- NF T 51-511** Résines de polyesters non saturés - Détermination de l'indice d'acide.
- NF T 51-513** Résines de polyesters non saturés - Détermination de l'indice d'hydroxyle.
- NF T 51-520** Plastiques - Résines d'époxydes - Désignation.
- NF T 51-521** Plastiques - Durcisseurs et accélérateurs pour résines d'époxydes - Désignation.
- NF T 51-522** Composés d'époxydes - Détermination de l'équivalent époxyde.
- NF T 51-810** Polymères et copolymères du méthacrylate de méthyle - Détermination de l'indice de viscosité en solution diluée.
- T 52-101** Matières de base pour polyuréthanes - Désignation des polyols.
- NF T 52-112** Matières de base pour polyuréthanes - Polyéthers - Détermination de l'indice d'hydroxyle.

NFT 52-113 Matières de base pour polyuréthanes - Polyesters - Détermination de l'indice d'hydroxyle.

NFT 52-114 Matières de base pour polyuréthanes - Polyéthers - Détermination de l'indice d'acide.

NFT 52-132 Matières de base pour polyuréthanes - Isocyanates purs - Dosage des fonctions isocyanates.

NFT 52-133 Matières de base pour polyuréthanes - Isocyanates bruts - Dosage des fonctions isocyanates.

NFT 76-001 Adhésifs - Vocabulaire.

DTU P 15-201 DTU 26-1 - Enduits aux mortiers de ciments, de chaux et de mélange plâtre et chaux aérienne - Cahier des clauses techniques - Cahier des clauses spéciales - Cahiers du CSTB.

DTU P 74-201 DTU 59-1 - Peinturage.

DTU P 74-202 DTU 59-2 - Revêtements Plastiques Epais sur bétons et enduits à base de liants hydrauliques - Cahier des charges - Cahier des clauses spéciales. Cahiers du CSTB.

NORMALISATION EUROPÉENNE

Le programme de normalisation européenne relatif aux produits et systèmes des produits destinés à la protection et à la réparation des structures en béton a été établi.

Actuellement, ce programme est en cours de réalisation.

Ce programme comprend des normes de spécifications et des normes d'identification dont voici un aperçu.

Normes de spécifications

EN 1504-1 Objet général et définition.

EN 1504-2 Produits et systèmes de protection de surface.

EN 1504-3 Produits et systèmes de réparation structurale et non structurale.

EN 1504-4 Produits et systèmes de collage.

EN 1504-5 Produits et systèmes d'injection.

EN 1504-6 Produits et systèmes d'ancrage.

EN 1504-7 Produits et systèmes de protection des armatures.

EN 1504-8 Contrôle de la Qualité et évaluation de la Conformité.

EN 1504-9 Principes généraux de mise en oeuvre des produits et systèmes.

Normes d'identification

EN 1766 Supports de référence.

La réalisation de l'ensemble de ces normes, et donc leur application, sont prévues pour l'horizon 1999 à 2000.

Environ soixante-dix normes pour caractériser les produits.

MARQUES DE CERTIFICATION

L'existence, en France, d'une série complète de normes concernant les produits de réparation a permis à l'AFNOR de créer une marque spécifique.

Il s'agit de la marque NF-Produits Spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique, identifiée sous le n° R 030 et approuvée le 26-09-1989.

Cette marque recouvre exactement l'ensemble des produits relevant des normes de la série **P 18-800**.

Elle garantit la conformité du produit certifié aux exigences de la norme de spécification à laquelle se réfère «caractères normalisés garantis» et l'existence, dans la chaîne de production et de distribution, d'une organisation de la qualité reconnue.

Le marquage CE ne pourra intervenir que lorsque l'ensemble des normes européennes relatives aux produits concernés sera adopté, c'est-à-dire dans les années 2000.

DOCUMENTS ANNEXES

Il est apparu intéressant de signaler ici des documents techniques ne ressortissant pas exactement des préoccupations du Guide mais présentant des points communs avec telle ou telle caractéristique et dont la connaissance pourrait aider certains lecteurs.

Calcul, réalisation et étanchéité des réservoirs, cuves, bassins, châteaux d'eau enterrés, semi-enterrés, aériens, ouverts et fermés, Recommandations professionnelles, *Annales de l'ITBTP*, **486**, septembre 1990.

Pathologie et réparation des ouvrages en béton de stockage et de transport des liquides, 1^{re} partie : *Annales de l'ITBTP*, **532**, mars-avril 1995, 2^e partie : à paraître sous forme d'un thématique des *Annales de l'ITBTP*, reprenant également la 1^{re} partie.

Mise en peinture des bétons de génie civil, Note d'Information Technique, LCPC 1978 (en révision).

Les Sols Industriels - Code de bonne pratique, publication du SNFORES et du SNMI, juin 1990.

Les techniques de réparation et de renforcement des ouvrages en béton :

- fascicule n° 1, Guide général, janv. 1985 ;
- fascicule n° 2, Reprise du béton dégradé, sept. 1985 ;
- fascicule n° 3, Béton projeté, sept. 1985 ;
- fascicule n° 4, Traitement des fissures et protection du béton, sept. 1985 ;
- fascicule n° 5, Précontrainte additionnelle, sept. 1985 ;
- fascicule n° 6, Tôles collées, juin 1987 ;
- fascicule n° 7, Réparation et renforcement en fondation, juin 1987 ;
- fascicule n° 8, Maçonneries d'ouvrages d'art, juin 1987.

STRRES - AFPC - FNTP - SNBATI

Ces documents ont servi de base à la rédaction des normes **NF P 95** -101 à 107.

Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint, Cahier des Clauses Techniques Générales applicable aux marchés publics de travaux, fascicule n° 65 A et son additif.

Construction des réservoirs et châteaux d'eau en béton armé, en béton précontraint ou en maçonnerie et des ouvrages annexes, Cahier des Clauses Techniques Générales applicable aux marchés publics de travaux, fascicule n° 74.

Document publié par le LCPC

sous le numéro 502 705

Crédits photographiques

LCPC, LRPC, SIKA-FRANCE, FREYSSINET INTERNATIONAL, S. R. S., BETOREC, CIPEC, SPI Batignolles

Réalisation

LCPC IST-Publications

Dessins

LCPC IST-Publications, Philippe Caquelard

Impression

Imprimerie IJN

Dépôt légal

3^e trimestre 1996

ISSN 1151 - 1516

ISBN 2 - 7208 - 7050 - 1

Page laissée blanche intentionnellement

CHOIX ET APPLICATION DES PRODUITS DE RÉPARATION ET DE PROTECTION DES OUVRAGES EN BÉTON

RÉSUMÉ

Ce guide propose de replacer **le choix des produits dans le cadre d'un projet de réparation** : détection de la dégradation, auscultation et diagnostic de la pathologie, établissement du projet de réparation (c'est à ce niveau qu'intervient le choix en question), mise en oeuvre du produit, contrôles et vérifications, surveillance (durabilité).

Sur ces bases ce guide propose en premier un catalogue de défauts effectivement rencontrés sur les ouvrages en béton avec un **choix** de solutions comportant à la fois le type de traitement et les familles de produits utilisables.

Vient ensuite un chapitre qui concerne **l'application** des produits proposés : préparation et réception des supports ; réception, stockage et préparation des produits, matériel de mise en oeuvre et application des produits ; hygiène et sécurité.

Puis, en quelques pages sont données des **notions générales sur les familles de produits utilisés** : produits à base de liants hydrauliques, à base de résines synthétiques ou mixtes à base de ciments et de polymères organiques réactifs, sans oublier les produits connexes destinés à la protection du béton ou des armatures.

Enfin un **glossaire** et une liste de **documents de référence** facilitent l'usage du guide.

CHOICE AND APPLICATION OF REPAIR AND PROTECTION PRODUCTS FOR CONCRETE STRUCTURES

ABSTRACT

The guide is intended to replace the **choice of products in the framework of a repair project** : detection of the damage, inspection and diagnosis of its nature and extent, establishment of a repair project (the choice of products arises at this level), product application, inspection and verification, and monitoring (for durability).

On these bases, this guide presents firstly a catalogue of defects actually encountered in concrete structures, along with a **selection** of solutions in terms of types of treatment and categories of products.

There follows a section on the **application** of the products proposed : preparation and compliance of the underlays, compliance, storage and preparation of the products, the equipment used to apply them and their application, health and safety measures.

Then, in a few pages, **general considerations on the categories of products employed are given** : products incorporating hydraulic binders, those incorporating synthetic resins or composite products incorporating cements and reactive organic polymers ; not overlooking related products designed to protect concrete and reinforcements.

Lastly, the use of the guide is facilitated by a **glossary** and a **list of reference material**.

Document disponible sous la référence F 9613

LCPC - 58, boulevard Lefebvre - F-75732 PARIS CEDEX 15
IST - Bureau de vente - Téléphone : 33 (1) 40 43 52 26
Serveur LCPC Internet : <http://www.lcpc.inrets.fr/>
Télécopie : 33 (1) 40 43 54 95

SETRA - 46, avenue Aristide Briand - BP 100 - F-92223
BAGNEUX CEDEX
Bureau de vente - Téléphone : 33 (1) 46 11 31 53 - 31 55
Télécopie : 33 (1) 46 11 33 55

Prix : **200 FF**