

4-11-2014

Journée Technique-Gestion d'ouvrages d'art maritimes et portuaires
Réparation du Béton : Christophe BRICARD

Préambule

Rappel du contexte : le matériau béton

- **Le béton est un matériau naturellement poreux, perméable et micro-fissuré.**
- **La fissuration excessive du béton, (naturelle ou accidentelle), facilite la pénétration des agents agressifs, facteurs de corrosion des armatures de béton armé et de précontrainte.**
- **La porosité et la perméabilité excessives permettent également la pénétration d'agents agressifs, sous forme liquide ou gazeuse, (Cl^- , CO_2 , etc.).**
- **Le béton peut également être agressé par des produits chimiques, des bactéries et diverses actions physico-mécaniques (abrasion, lixiviation, etc.).**

Sommaire

Référentiels Techniques

Ragréage

- Préparation de surface
- Les produits
- Application ou bétonnage en place

Armatures passives additionnelles

- Cas d'utilisation
- Etudes préliminaires
- Réparation avec remplacement d'armatures
- Renforcement avec ajout d'armatures

Béton projeté

- Techniques de projection
- Avantages, domaines et limites d'emploi
- Matériels, principes et procédure de réparation

Les référentiels techniques

Normes « méthodes de réparation » :

- **NF P 95-101 Ouvrage d'art - Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Reprise du béton dégradé superficiellement - Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés (en cours de révision, pour la prise en compte des normes de la série NF EN 1504);**
- **NF P 95-102 Ouvrage d'art - 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 Ouvrage d'art - 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 (révisée en juin 2014 pour la prise en compte des normes de la série NF EN 1504).**

Les référentiels techniques

Autres Normes « méthodes de réparation » :

- **NF EN 14487-1 – Béton projeté – Partie 1 : définitions, spécifications et conformité;**
- **NF EN 14487-2 – Béton projeté – Partie 2 : exécution;**
- **NF EN 14488-1 à 7 – Essais pour béton projeté;**
- **NF EN 934-5 – Adjuvants pour bétons projetés : définitions, exigences et conformité.**

Les référentiels techniques

Normes « matériaux »

Normes européennes NF EN 1504-1 à 10 « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité » :

- **Partie 1 : Définitions;**
- **Partie 2 : Systèmes de protection de surface pour béton;**
- **Partie 3 : Réparation structurale et réparation non structurale;**
- **Partie 5 : Produits et systèmes d'injection du béton;**
- **Partie 7 : Protection contre la corrosion des armatures;**
- **Partie 8 : Maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité;**
- **Partie 9 : Principes généraux d'utilisation des produits et systèmes;**
- **Partie 10 : Application sur site des produits et systèmes et contrôle de la qualité des travaux.**

⇒ **Marquage CE des produits.**

Nota : Il existe également un référentiel de certification NF 030 « PRODUITS SPECIAUX DESTINES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON HYDRAULIQUE » (produits de calage, scellement, réparation de surface, collage).

Les référentiels techniques

Guides

• Guides Techniques LCPC :

* **Choix et application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton (1977, révisé 1996) (réparation de surface, collage d'éléments, traitement des fissures, calage et scellement);**

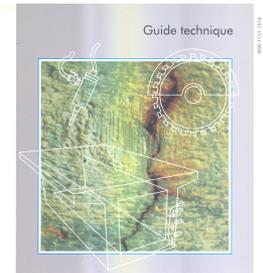
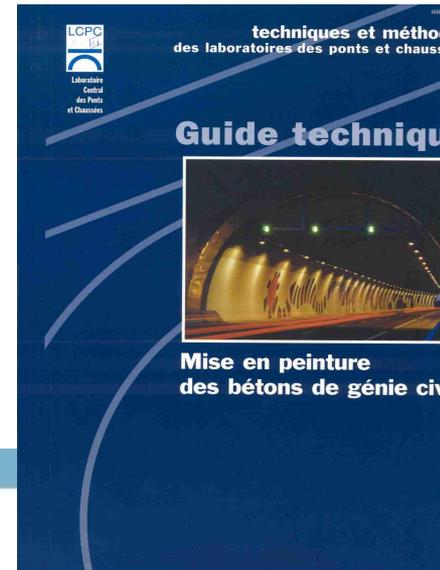
* **Protection des bétons par application de produits à la surface du parement (Décembre 2002) (inhibiteurs de corrosion, produits d'imprégnation, lasures, peintures, revêtements);**

* **Mise en peinture des bétons de génie civil (juin 1999).**

Protection des bétons par application de produits à la surface du parement



Guide technique
décembre 2002



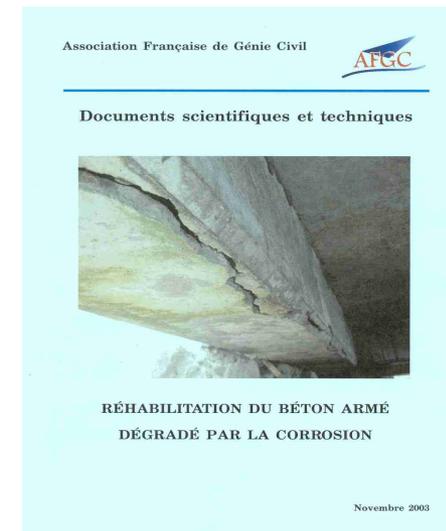
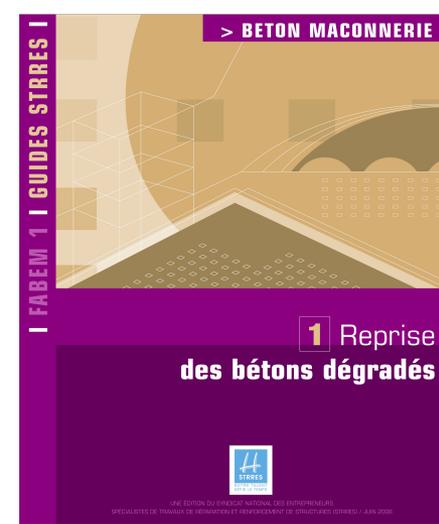
CHOIX ET APPLICATION
DES PRODUITS DE RÉPARATION
ET DE PROTECTION
DES OUVRAGES EN BÉTON



Les référentiels techniques

Guides

- **Autres guides :**
 - **GA P18-902 « Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Recommandations pour la sélection des systèmes de protection de surface des bétons destinés aux ouvrages de génie civil » (en cours de révision).**
- **AFGC : Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion.**
- **Guides du STRRES FABEM 1 à 5 et 7 (www.strres.org) :**
 - **FABEM 1 : reprise des bétons dégradés;**
 - **FABEM 2 : traitements des fissures par calfeutrement ou pontage et protection localisée ou création d'un joint de dilatation;**
 - **FABEM 3 : traitement des fissures par injection;**
 - **FABEM 4 : protection des bétons;**
 - **FABEM 5 : béton projeté;**
 - **FABEM 7 : réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles.**



Les référentiels techniques

CCTP types

Bible réparations OA pour PETRA

La bible réparations permet de faciliter la rédaction des pièces écrites techniques de DCE travaux d'ouvrages d'art (CCTP, cadre de bordereau des prix, cadre de détail estimatif) dans le cas de travaux de renforcements et/ou de réparations.

La bible réparations traite notamment :

- **du ragréage de parement en béton ;**
- **de la protection de parement en béton par revêtement ;**
- **d'injection et/ou de calfeutrement de fissures dans un parement en béton.**

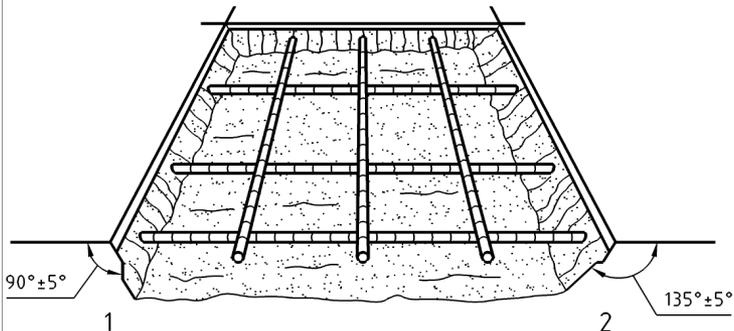
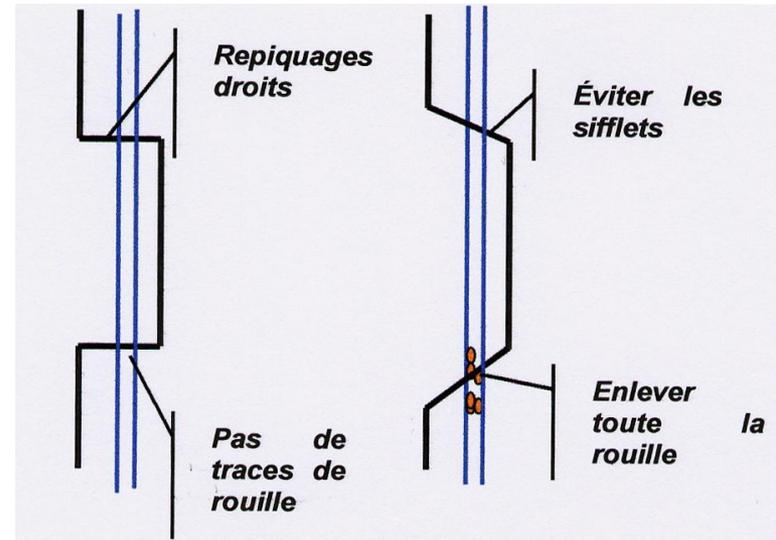
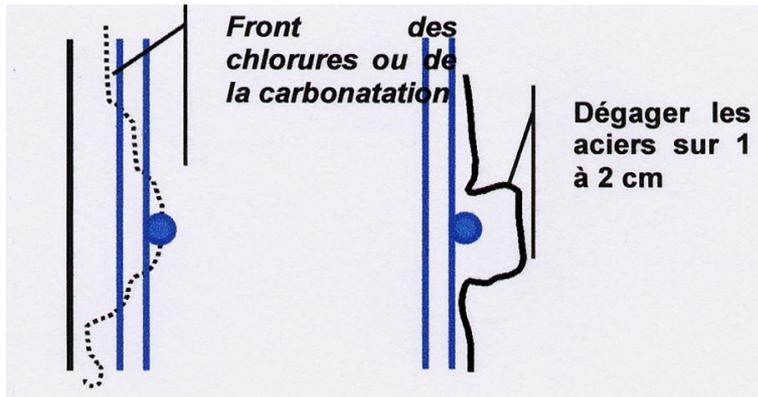
Ragréage - Préparation de surface

Objectif de la préparation de surface : créer un support sain, propre, rugueux afin d'assurer une bonne adhérence sur la surface de reprise :

- **enlever les parties de béton non adhérentes**
- **enlever le béton contaminé par les chlorures ou la carbonatation**
- **si les armatures doivent être complètement dégagées, prévoir de 1 à 2 cm (détourage des aciers)**
- **bords de la zone dégagée francs et taillés, (angle compris entre 90 et 135), pour assurer une bonne liaison mécanique entre le matériau d'origine et celui d'apport**

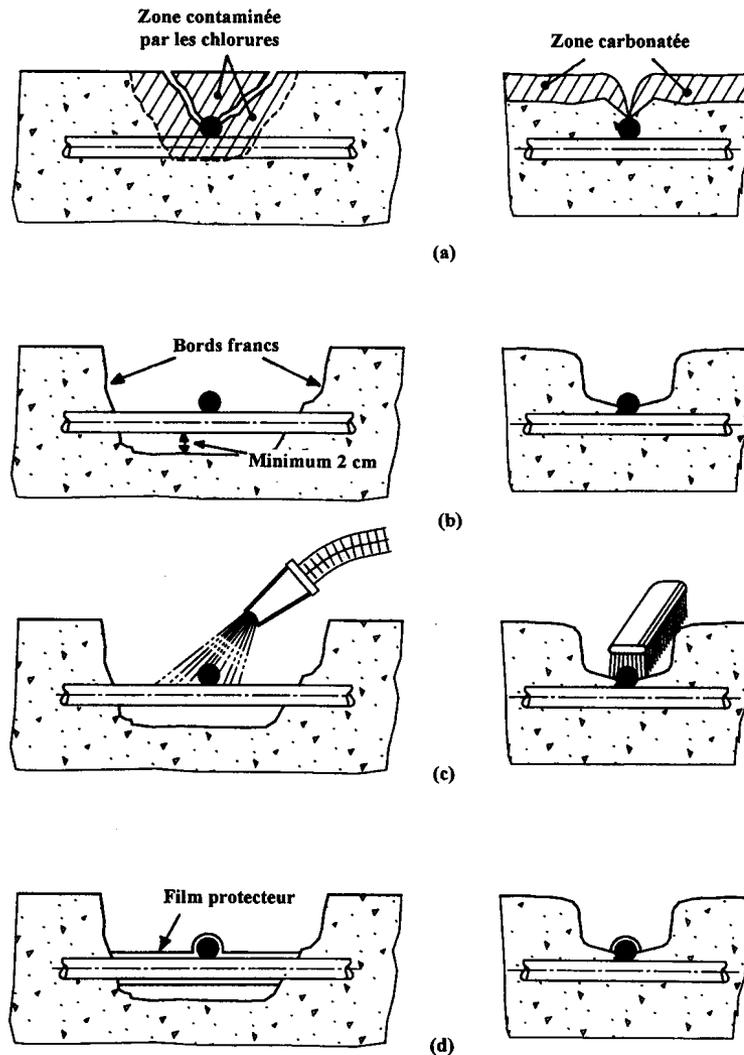
Ragréage - Préparation de surface

Enlèvement du béton pollué et de la rouille



Extrait norme NF EN 1504-10 – Annexe informative A

Ragréage - Préparation de surface



Ragréage - Préparation de surface

Les techniques conseillées :

- **hydrodémolition (fortes épaisseurs)**
- **sablage (à sec ou humide)**
- **décapage à l'eau à très haute pression**
- **piquage au petit marteau pneumatique**

Les techniques peu conseillées :

- **bouchardage et burinage**

Les techniques déconseillées :

- **le brise-béton**
- **décapage thermique et décapage chimique**
- **rabotage mécanique**
- **ponçage**

Ragréage - Préparation de surface

**Enlèvement du béton dégradé et
détourage des armatures**



Ragréage - Préparation de surface

Les moyens classiques
de préparation des
surfaces à traiter
(tableau 1 de la norme
NF P95-101).

Méthodes — Matériel	Efficacité	Inconvénients
a) Élimination en épaisseur		
Burinage Outils manuels pneumatiques ou électriques légers	Bon dégagement des bétons fissurés brûlés et pollués dans l'encombrement des armatures	Création de microfissurations locales dans le cas d'abattage sans précaution
Repiquage Marteau léger pneumatique à aiguilles multiples	Préparation efficace des bétons et surtout des armatures corrodées provoquant leur décollement	Création de microfissurations dans les granulats du béton
Bouchardage Outils manuels, pneumatiques ou électriques légers à pointes de diamant	Bonne préparation des surfaces de faible importance	Microfissurations importantes
Hydro-décapage	Bon enlèvement des granulats dessertis et des liants dégradés adhérant sur surface humide	Risques pour le personnel. À réserver aux produits de réparation
b) Élimination de surface		
Sablage à sec Sableuse pneumatique et compresseur	Avec sables synthétiques agréés, bonne préparation des bétons et armatures avec utilisation de résine synthétique	Nuages de poussières. Nécessité d'un personnel qualifié, équipé de protection individuelle agréée, risques pour ce personnel
Sablage humide Sableuse pneumatique et compresseur	Avec de la silice pure, bonne préparation des reprises avec liant hydraulique	Risque important de pollution des parties voisines, prévoir une protection efficace
Décapage à l'eau à très haute pression Pompe électrique haute pression	Bon enlèvement des granulats dessertis et des liants dégradés adhérant sur surface humide	Risques pour le personnel. À réserver aux produits de réparation
Rabotage mécanique Rabot électrique à molettes ou outils multiples	Préparation des surfaces planes horizontales, non armées, fissurées et polluées	Création d'amorces de fissuration, prévoir un produit de collage ou un primaire d'accrochage
Décapage thermique Lance à becs multiples oxyacétyléniques	Préparation des surfaces planes de béton non armé, très efficace en cas de pollution chimique	Création de fissures dans les granulats du béton, prévoir un nettoyage final énergétique
Ponçage Ponceuse légère rotative à disques abrasifs	Préparation des surfaces planes de faible importance sans fissure ni armature	Pas de reprise performante, risque de polissage de la surface
c) Décapage chimique Par acide dilué ou par solvant	À réserver aux cas particuliers : élimination de film synthétique ou de laitance de béton non armé des armatures	Risque important de pollution des parties voisines, prévoir une protection efficace, risque de corrosion

Ragréage - Préparation de surface

Nettoyage de la surface :

- lavage à l'eau sous pression
- brossage, aspiration, soufflage...
- selon compatibilité avec le produit de réparation !

Protection des aciers :

- décapage des aciers (degré Sa2)
- revêtement anticorrosion (passivant), sans déborder sur le béton, si mortier ou béton ne peut être mis en œuvre immédiatement et/ou en épaisseur suffisante
- barbotine à base de liants hydrauliques (mettre en œuvre le mortier ou béton de recouvrement avant prise de la barbotine)

Ragréage - Préparation de surface

**Normes NF P95-101 et NF
EN 1504-3**



**Mise en place d'un passivant
si nécessaire**

Ragréage – Les produits

A base de liants hydrauliques (LH, ie H) : NF EN 197-1 & 197-2, NF 314 (ciment prompt naturel), 315 & 316 (ciment alumineux fondu), 317 (PM), 318 (CP), 319 (ES)...

LH avec ajout :

- **granulats**
- **fibres**
- **adjuvants**

Préparation sur chantier :

- **soit à partir de mortiers industriels prêts à l'emploi (CE et NF)**
- **soit par malaxage des différents composants (béton projeté)**

Pour améliorer la liaison entre support et mortier, application d'un produit d'adhérence (résine ou liants hydrauliques modifiés).

Cure soignée pour limiter au maximum la dessiccation et la fissuration du plan de reprise.

Ragréage – Les produits

A base de liants hydrauliques modifiés par polymères organiques (LHM, ie PCC) :
Deux formes :

- **Monocomposant** : composant sous forme de poudre et ajout d'eau sur chantier.
- **Bicomposant** :
 - **Composant A** : polymère + eau nécessaire à l'hydratation du ciment;
 - **Composant B** : ciment, sable, fines, ajouts et additions.

Mélange sur chantier sans addition d'eau.

NF EN 1504-3, marquage CE - Certains produits admis à la marque NF.

Pour améliorer la liaison entre support et mortier, application d'un liant hydraulique modifié ou à défaut humidification du support.

Cure soignée pour limiter au maximum la dessiccation et la fissuration du plan de reprise.

Ragréage – Les produits

A base de résines synthétiques (LR, ie PC ou P) :

Utilisés lorsque les deux types de produits précédents ne peuvent être mis en œuvre (réparation sous l'eau, forte résistance à l'abrasion...).

Nécessité d'un personnel d'exécution spécialement formé et qualifié pour l'emploi des résines.

Mise en œuvre nécessitant le respect rigoureux de la durée pratique d'utilisation (DPU) en fonction des conditions du chantier, (température, hygrométrie...).

Couche d'accrochage parfois nécessaire entre mortier et support, (spécifique à chaque produit et fonction de la qualité du support).

Ragréage – Les produits

Caractéristiques	LHM (PCC)	EP (P) Résines époxydes	PUR (P) Résines polyuréthanes
Adhérence support sec	+	+++	++
Adhérence support humide	++	+	-
Fissuration du support	+	+	++ /+++
Effet passivant	+++	0	0
Module d'élasticité	élevé	moyen	faible
Compatibilité thermique	+++	+	+
Résistance à l'abrasion	++	+++	++
Pénétration des liquides sous pression	++	+++	+++
Fluage 20 °C	faible	moyen	élevé
Fluage 50 °C	faible	élevé	élevé
Caractéristiques	LHM (PCC)	EP (P) Résines époxydes	PUR (P) Résines polyuréthanes

Critères	LHM (PCC)	EP (P) Résines époxydes	PUR (P) Résines polyuréth anes
DPU	Voir caractéristiques et compatibilité exigences chantier		
T support en °C	5-35	8-35	5-35
T ambiante en °C	5-50	8-50	5-50
HR ambiante en %	100	< 85	< 75
Préparation du support	Indispensable (caractéristiques des produits/chantier)		
Âge du support	indifférent	> 28 j	> 28 j
Application horizontale	Sans problème –utiliser produit auto lissant		
Application verticale	Voir les produits adaptés thixotropes		
Nettoyage (entretien)	+	+++	+++
Compatibilité support	À vérifier pour chaque chantier		
Agression chimique	+	+++	++
UV	+++	+	++/+++
Gel-dégel	++	+++	+++
Rapidité mise en service	++	+++	++
Critères	LHM (PCC)	EP (P) Résines époxydes	PUR (P) Résines polyuréth anes

Ragréage – Les produits

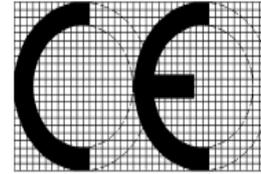
Ragréage – Les produits

La norme NF EN 1504-3 définit 4 classes de produits suivant leurs performances :

- réparation structurale : classes R4 > classe R3.

- réparation non structurale : classes R2 > classe R1.

En réparation d'ouvrage de génie civil, on prescrit le recours à des produits de classe R4.



01234

AnyCo Ltd, PO Box 21, B-1050

05

01234-DPC-00234

EN 1504-3

Produit de réparation du béton pour mortier CC de réparation structurale (à base de ciment hydraulique)

Résistance en compression : classe R 3

Teneur en ions chlorure : $\leq 0,05 \%$

Adhérence : $\geq 1,5$ MPa

Résistance à la carbonatation : essai réussi

Module d'élasticité : 21 GPA

Compatibilité thermique, partie 1 : $\geq 1,5$ MPa

Absorption capillaire : $\leq 0,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-0,5}$

Substances dangereuses : conforme à 5.4

Réaction au feu : Euroclasse E

Marquage CE de conformité, constitué du symbole CE spécifié dans la Directive 93/68/CEE

Numéro d'identification de l'organisme de certification (le cas échéant)

Nom ou marque distinctive et adresse déclarée du fabricant

Deux derniers chiffres de l'année d'apposition du marquage

Numéro du certificat (le cas échéant)

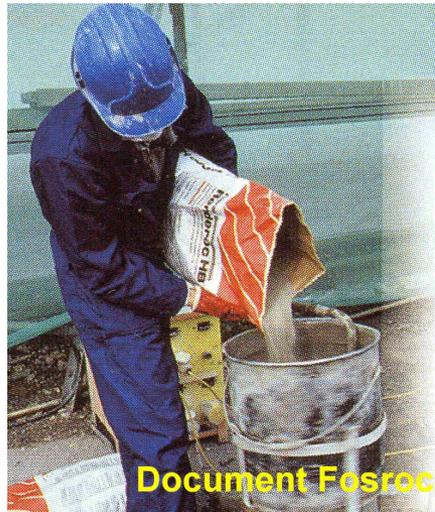
N° de la norme européenne

Description du produit

et

informations sur les caractéristiques réglementées

Ragréage – Application manuelle



La mise en place des mortiers est réalisée classiquement à la truelle en serrant fortement pour éviter les bulles d'air et obtenir ainsi une bonne adhérence.

Pour le dressage des arêtes, une règle peut être utilisée.

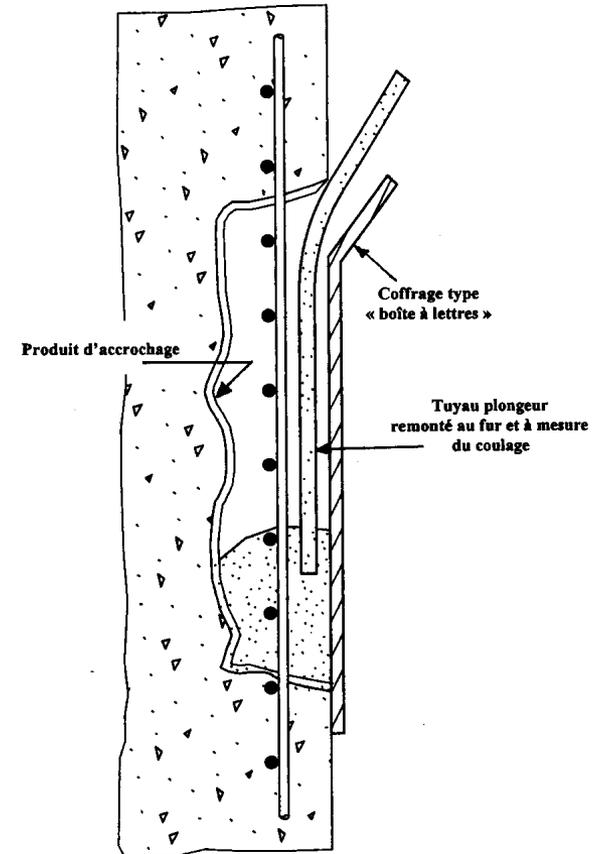


Ragréage – Bétonnage en place

Coulage ou injection de béton ou mortier

Pour des volumes de béton importants ou des épaisseurs de béton d'au moins 5 à 10 cm :

- pour le coulage, possibilité de connexions avec le support
- ajustement nécessaire des coffrages
- éviter l'emprisonnement d'air...



Les référentiels techniques liés aux scellements des armatures dans le béton

Normes « méthodes de réparation et essais »

- **FD P 18-823 – Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits de scellement à base de liants hydrauliques ou de résines synthétiques – Recommandations pour le dimensionnement des scellements de barres d’armature dans le béton.**
- **NF EN 1881 – Produits et systèmes de protection et de réparation des structures en béton – Méthode d’essai – Essai des produits de scellement d’ancrage par la méthode de l’arrachement.**

Armatures passives additionnelles

Cas d'utilisation

- **Remplacement d'armatures de béton armé:**
 - **Structure affectée par des désordres mettant en jeu sa capacité portante (modification des caractéristiques mécaniques des armatures suite à un incendie, rupture des armatures suite à un choc, forte réduction des armatures suite à la corrosion...).**
- **Ajout d'armatures de béton armé:**
 - **Changement d'affectation (mise en place d'équipements augmentant les charges permanentes), renforcement de la structure (précontrainte additionnelle nécessitant l'augmentation de la section en béton armé).**

Armatures passives additionnelles

Etudes préliminaires

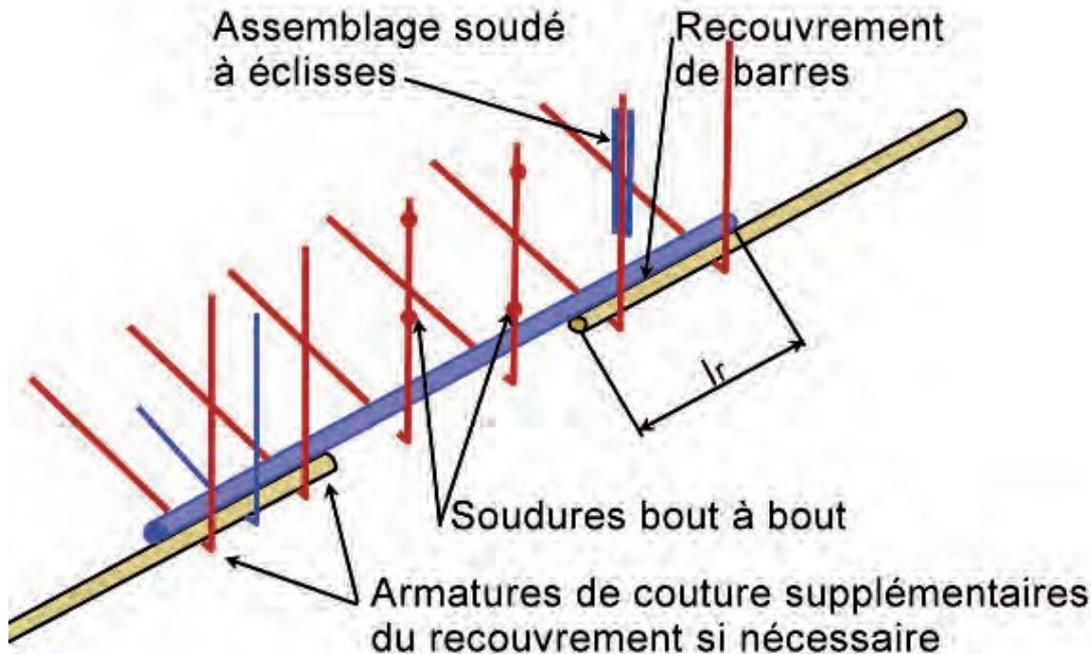
- **Caractéristiques et état des armatures de béton armé (HA ou lisse, diamètre, limite d'élasticité et contrainte de rupture, soudabilité, importance de la corrosion...);**
- **Caractéristiques et état du béton (composition, résistance, défauts, désordres...);**
- **Types d'actions subies par la structure (statiques et dynamiques);**
- **Capacité portante de la structure;**
- **Agressivité de l'environnement;**
- **Exigences du Maître d'Ouvrage (maintien du gabarit par exemple).**

Réparation avec remplacement d'armatures

- **Choix des matériaux**
 - **Armatures:**
 - Si désordres limités à une partie de la structure, (cas courants de chocs), les armatures BA sont remplacées après travaux de préparation adaptés;
 - Si désordres liés à la corrosion et concernent une partie importante de la structure et que l'environnement est agressif, il est envisageable de remplacer les armatures BA par des armatures non corrodables, (inoxydables, matériaux composites).
 - **Mortier ou béton:**
 - Caractéristiques du béton ou mortier de ré-enrobage des armatures remplacées doivent être compatibles avec les caractéristiques du béton existant et l'agressivité de l'environnement de l'ouvrage.

Réparation avec remplacement d'armatures

Principe de remplacement d'un ferrailage endommagé par un choc au niveau du talon d'une poutre en BA : enlèvement du béton endommagé, dégagement des armatures transversales et longitudinales endommagées puis mis en place du ferrailage de remplacement.



Extrait du guide Fabem 7

Réparation avec remplacement d'armatures

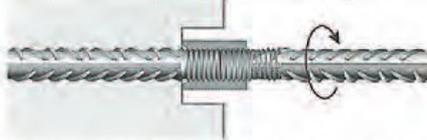
Techniques de raboutage

Dispositifs de manchonnage

Blocage des barres par écrasement du manchon à l'aide d'un vérin



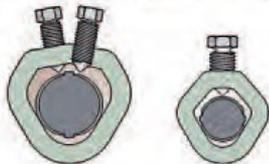
manchon fileté nécessitant que la barre puisse tourner



Manchon fileté ne nécessitant pas que la barre puisse tourner

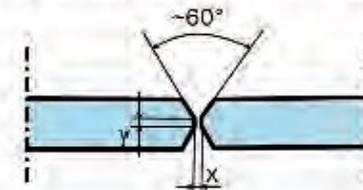


Manchon équipé de vis de blocage des barres

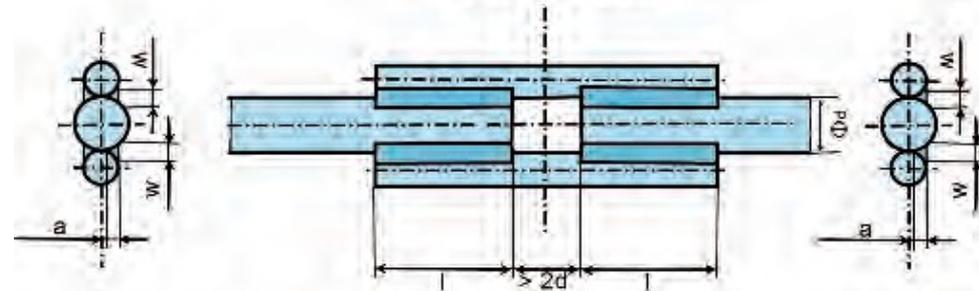


Assemblages soudés

Bout à bout avec double V



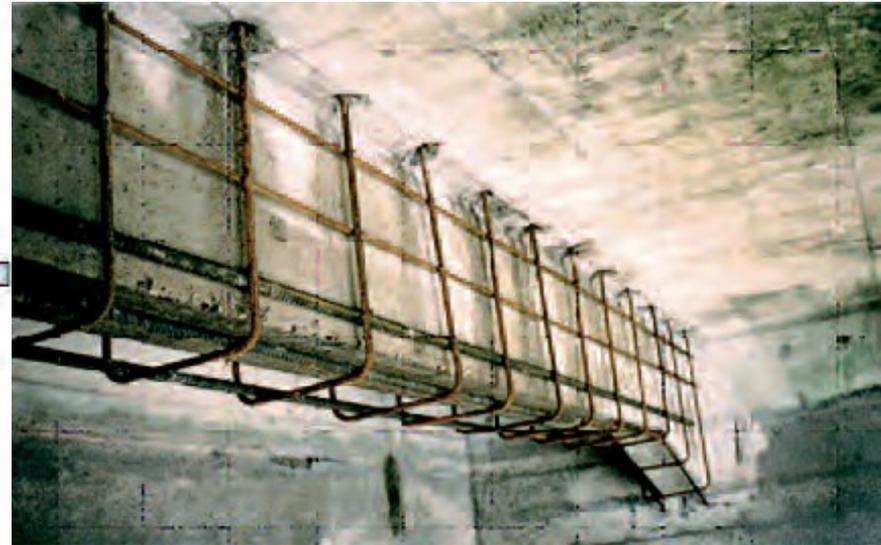
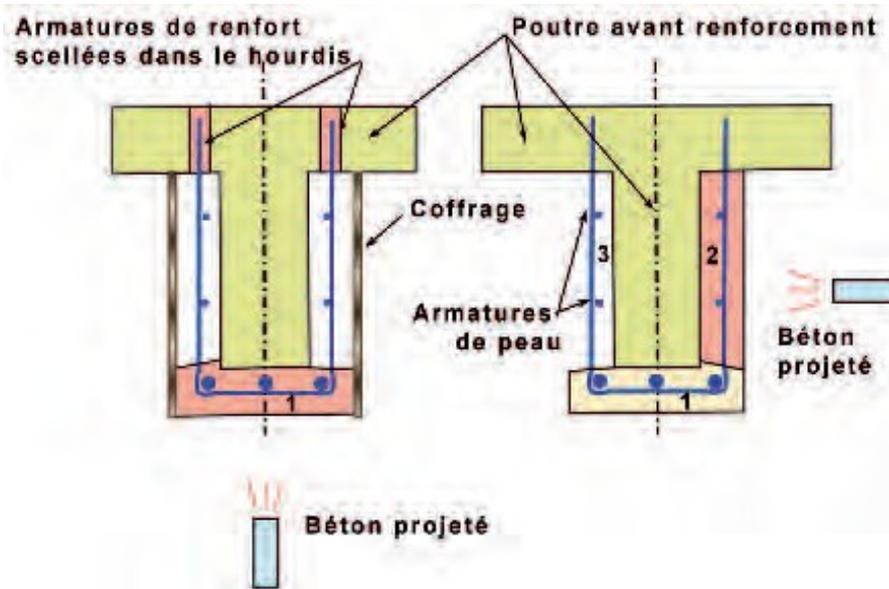
A éclisses



Extraits du guide Fabem 7

Renforcement avec ajout d'armatures

- Exemple de renforcement d'une poutre par ajout de béton et d'armatures passives (insuffisance de capacité portante vis-à-vis de la flexion et de l'effort tranchant).



Extraits du guide Fabem 7

Renforcement avec ajout d'armatures

- Exemple du viaduc d'accès Sud du pont de Saint-Nazaire - Mise en place de précontrainte additionnelle nécessitant une augmentation de la section BA des poutres VIPP pour éviter des contraintes de compression trop importantes.



Les référentiels techniques liés au béton projeté

(en plus des normes EN évoquées à la diapo 5)

Recommandations

- **AFTES 1993 – La technologie et la mise en œuvre du béton projeté;**
- **AFTES 1994 – La technologie et la mise en œuvre du béton projeté renforcé de fibres.**

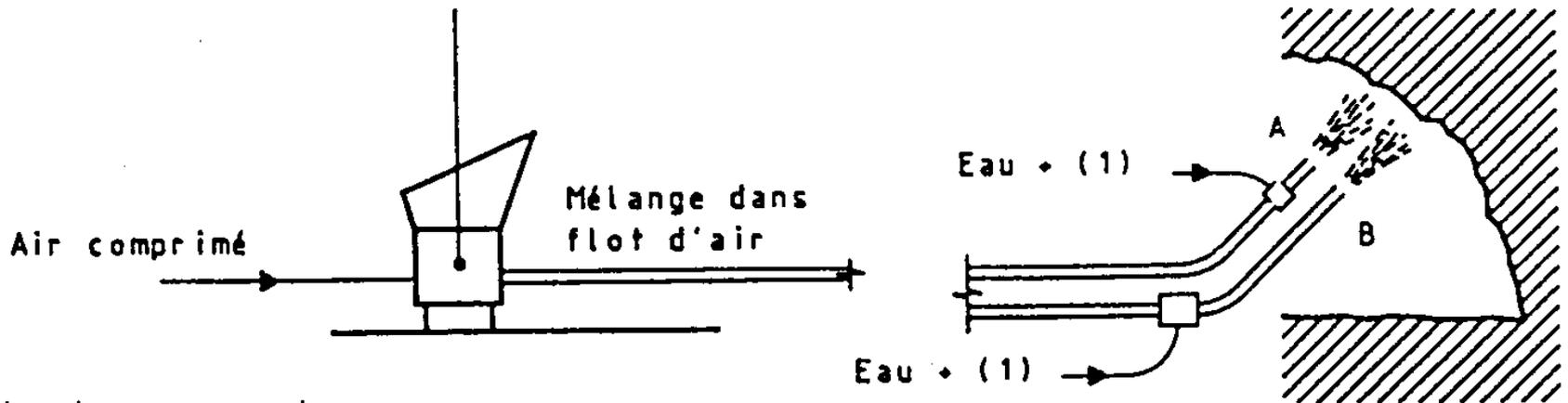
Des fascicules et une certification ASQUAPRO des opérateurs de projection qui comporte 3 niveaux de qualification : porte-lance, porte-lance confirmé et porte-lance hautement qualifié.

Techniques de projection

Deux techniques principales de projection :

- la voie sèche (avec ou sans prémouillage) => utilisée en réparation structurale ;
- la voie mouillée (à flux dense ou à flux dilué) => utilisée en travaux souterrains.

Granulats, ciment + adjuvants et additions en poudre éventuels



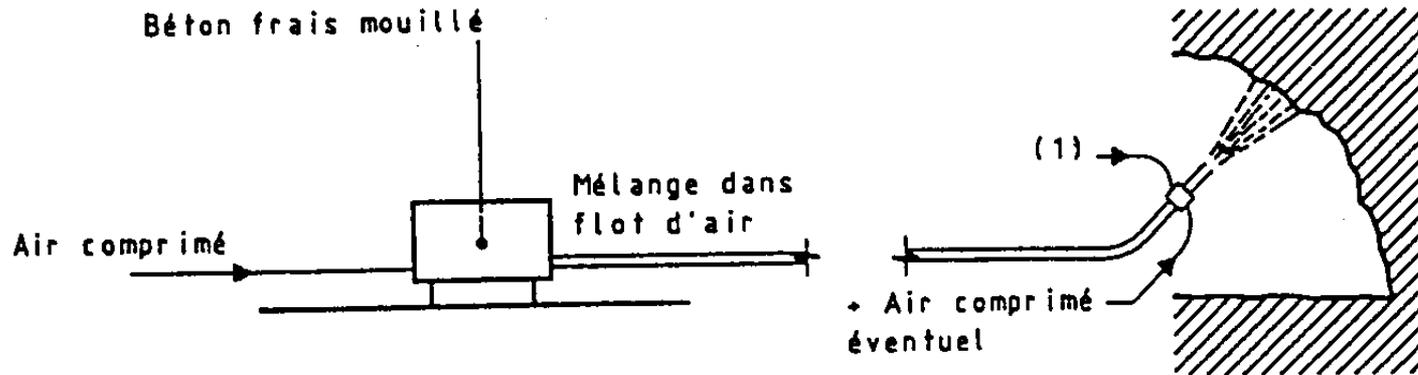
A : Lance normale

B : Lance de prémouillage

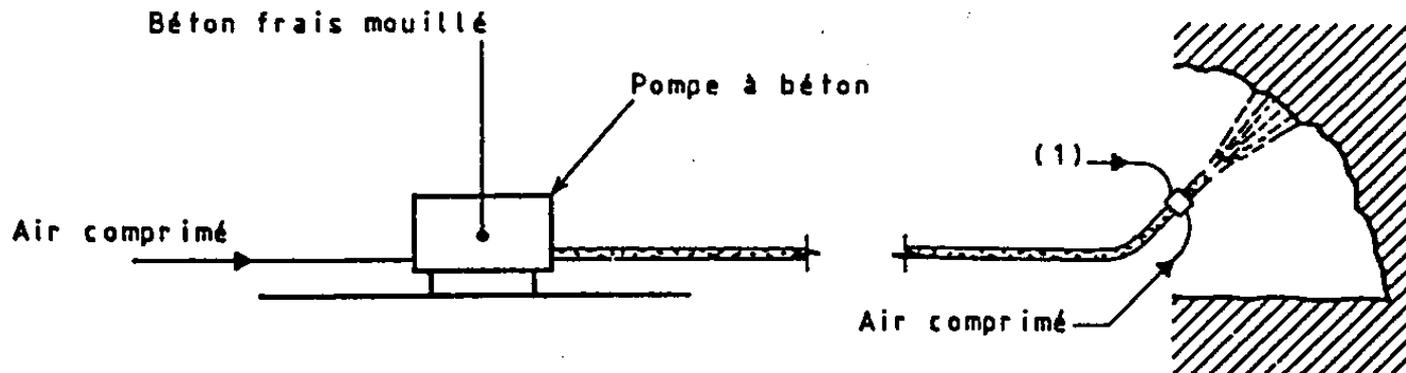
(1) Raidisseur éventuel

Projection par voie sèche (d'après NF P95-102)

Techniques de projection



(1) Raidisseur éventuel Projection par voie mouillée à flux dilué (d'après NF P95-102)



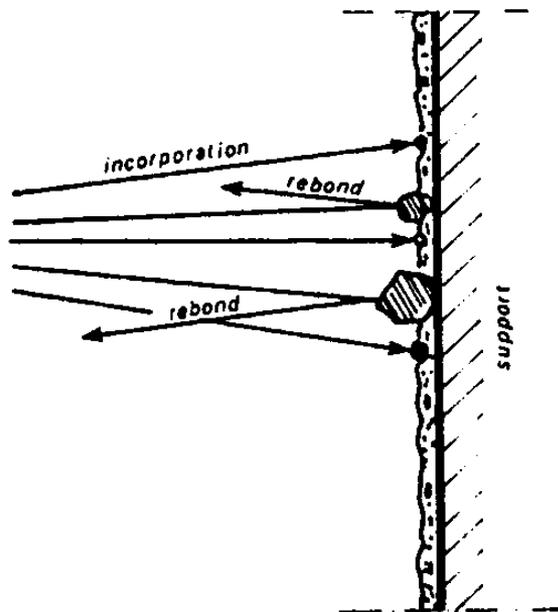
(1) Raidisseur éventuel Projection par voie mouillée à flux dense (d'après NF P95-102)

Techniques de projection

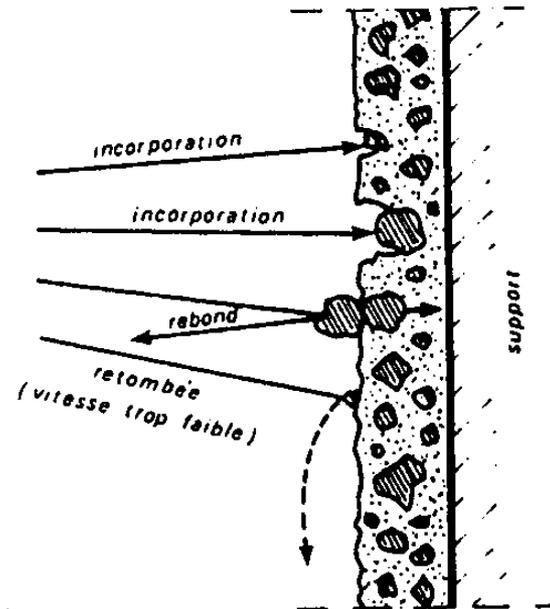
Mortier projeté ($D \leq 5$ mm)

Béton projeté (D jusqu'à 12, voire 16 mm)

Passes de 5 à 7 cm, sans accélérateur de prise !



début de la projection



épaississement de la couche projetée

Mise en place du béton projeté par voie sèche

Béton projeté

Avantages et domaines d'emploi

Avantages du BP voie sèche :

- **souplesse d'utilisation**
- **grandes distances de transport**
- **possibilité de fortes épaisseurs en une couche sans accélérateur**
- **résistance élevée : augmentation E/C**
- **béton à haute performance**
- **possibilités de robotisation**

Domaines d'emploi du BP voie sèche :

- **réparation et renforcement de structures**
- **voiles minces armés**
- **protection immédiate des terrains (volume restreint)**
- **projection en talus**
- **rénovation des ouvrages souterrains**

Béton projeté

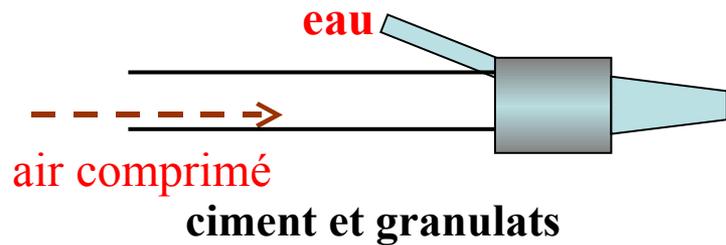
Limites d'emploi

Limites d'emploi et inconvénients du BP voie sèche :

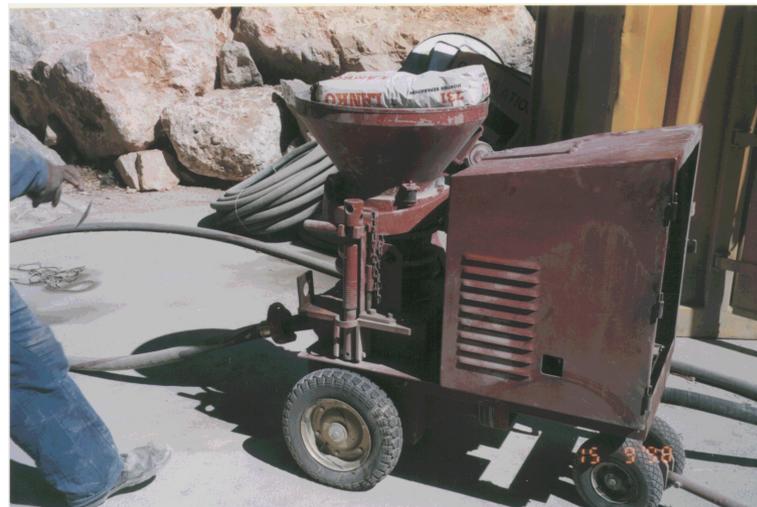
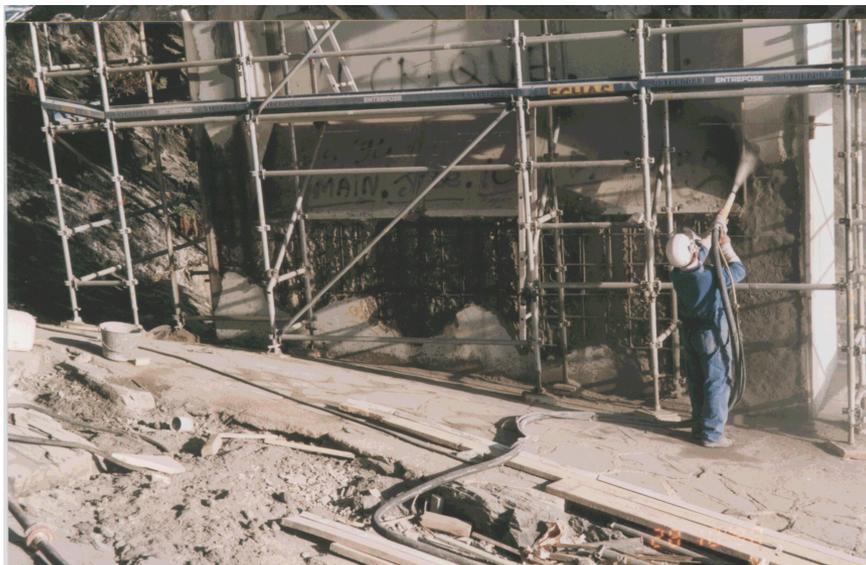
- **capacité de production limitée**
- **dégagement de poussières**
- **qualification du porte-lance**
- **perte par rebond**
- **nécessité d'une bonne qualité du support**

Béton projeté

Matériels utilisés



Machine à projeter par voie sèche



Épreuve de convenance et chantier (photos DDE66 Estacade de Cerbère)

Béton projeté

Principes de réparations

NF P 95-102

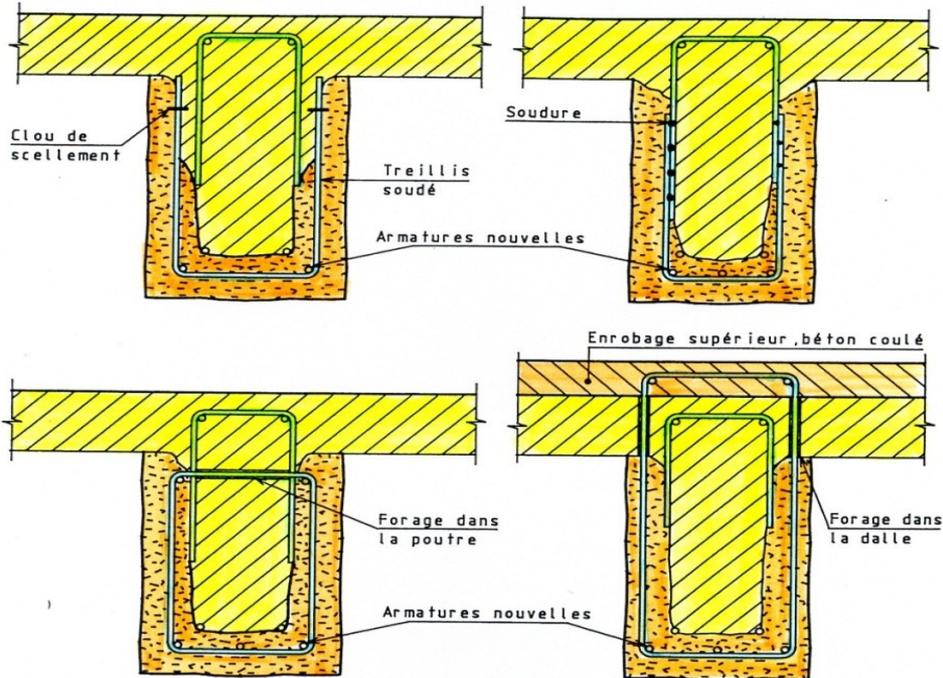
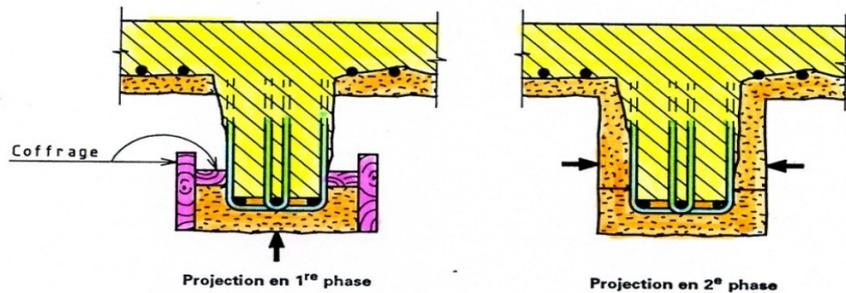


Figure 4 : exemples de réparation de poutres avec adjonction d'armatures



Béton projeté

Procédure opératoire

- **L'opération de bétonnage respecte la chronologie suivante :**
 - **Préparation du support**
 - **Scellements éventuels de connecteurs**
 - **Mise en place éventuelle du ferrailage et des piges de contrôle d'épaisseur (inox)**
 - **Projection du béton en respectant le phasage (de bas en haut sur des bandes de largeur déterminée)**
 - **Passes successives (respect du nombre et délai entre passes)**
 - **Arrêt de bétonnage en fin de lot ou de journée selon les règles de l'art**
 - **Couche de finition éventuelle (toujours distincte de la couche structurelle)**
 - **Protection par cure (si nécessaire)**



Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques,
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Merci de votre attention

Christophe BRICARD

Chargé d'études Ouvrages d'Art

Cerema - DTerOuest - DLRC Angers - GOA

02 41 79 13 71

christophe.bricard@cerema.fr