

# Fiche Aide Mémoire

## Réparations d'éléments en béton en milieu marin Béton projeté



### Sommaire

#### 1. Contexte et champs d'application de la fiche «Aide-mémoire»

- . Référentiel technique
- . Généralités sur le béton projeté
- . Domaine d'application de la technique

#### 2. Description sommaire de la technique

- . Deux techniques différentes, la voie sèche et la voie mouillée
- . Quelle technique pour les réparations du BA des ouvrages maritimes ?
- . Travaux préalables de préparation

#### 3. Éléments nécessaires à l'établissement du CCTP

- . Recherche documentaire
- . Evaluation visuelle
- . Diagnostic complémentaire

#### 4. Prescriptions à apporter aux CCTP

- . Chapitre 1 du CCTP : Consistance et description des travaux
- . Chapitre 2 du CCTP : Préparation et organisation du chantier
- . Chapitre 3 du CCTP : Provenance, qualité et préparation des matériaux
- . Chapitre 4 du CCTP : Mode d'exécution des travaux

#### 5. Contrôles des travaux

- . Généralités
- . Épreuves de convenue
- . Contrôles d'exécution

## 1 CONTEXTE ET CHAMP D'APPLICATION DE LA FICHE AIDE-MEMOIRE

La conduite d'opérations de réhabilitation des structures de génie civil d'une manière générale, et des structures en environnement portuaire en particulier, nécessite de mobiliser des équipes de maîtrise d'ouvrage et/ou de maîtrise d'œuvre à chaque étape du projet : notamment en amont pour l'établissement des CCTP et en phase de chantier pour la réalisation des contrôles.

L'établissement des CCTP nécessite une maîtrise des référentiels normatifs/réglementaires et une bonne connaissance des produits/matériaux/techniques et des conditions d'exécution pour pouvoir spécifier des exigences adaptées au projet et au contexte.

De même, en phase travaux, cette maîtrise est nécessaire afin d'effectuer les vérifications et contrôles sur la base de critères spécifiques en lien avec les clauses du CCTP.

La présente fiche constitue un document méthodologique simple et synthétique traitant des opérations d'entretien spécialisé d'ouvrages en milieu maritime, notamment lors des phases d'établissement du projet de travaux et de préciser les étapes importantes et le rôle de chacun des acteurs.

Il s'agit d'un document à destination des équipes en charge de l'élaboration ou de la vérification du projet (CCTP notamment) et des équipes en charge du suivi des chantiers.

Cette fiche concerne les **réparations localisées ou étendues de reconstitution du béton d'enrobage par la technique du béton projeté. Ces opérations sont effectuées en partie plane ou en angle et peuvent être associées à des remplacements ou des adjonctions d'armatures.**

### Référentiel technique

Les travaux de réparation par béton projeté font l'objet d'un référentiel technique constitué de règlements, de normes et de guides. La liste suivante, sans être exhaustive, recense les principaux documents encadrant ces opérations\*.

Les documents produits par l'association ASQUAPRO font référence dans le métier pour cette technique ou l'expérience est primordiale.

### RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE

- [1] Guide ASQUAPRO – Fascicule 3 Mise en œuvre des bétons projetés – 2009  
<https://www.asquapro.com/fr/fr-publications/fr-fascicules.html>
- [2] Guide ASQUAPRO – Fascicule 4 Formulation des bétons projetés – 2010  
<https://www.asquapro.com/fr/fr-publications/fr-fascicules.html>
- [3] Guide ASQUAPRO – Fascicule 5 – Qualité du béton projeté Contrôles – 2013  
<https://www.asquapro.com/fr/fr-publications/fr-fascicules.html>
- [4] Guide CETMEF – Altération du béton en site maritime – 2011.  
<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/alteration-du-beton-site-maritime>
- [5] Guide CETMEF – Réparation des bétons altérés – 2011.  
<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/repairation-betons-alteres>
- [6] Documents scientifiques et techniques AFGC CEFACOR – Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion – 2003.  
<https://www.concretecorrosion.net/docs/Rehabilitation-du-beton-arme.pdf>
- [7] Guide du STRRES FABEM 1- Reprise des bétons dégradés – 2008.  
[http://www.strres.org/beton\\_et\\_maconnerie\\_fabem-225fr.php](http://www.strres.org/beton_et_maconnerie_fabem-225fr.php)
- [8] PETRA – Réparation. CCTP Type.  
[http://www.setra.fr/html/logicielsOA/PETRA/Bible\\_OA/bible\\_old.html](http://www.setra.fr/html/logicielsOA/PETRA/Bible_OA/bible_old.html)
- [9] Norme NF P 95-102 Ouvrages d'art - Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie – Béton projeté – Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.2002 (en révision en 2020)  
<https://www.afnor.org/acheter-une-norme/>

## RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE suite

- [10] Norme NF EN 14487-1 Béton projeté partie 1 - Définitions, spécifications et conformité.2006  
<https://www.afnor.org/acheter-une-norme/>
- [11] Norme NF EN 14487-2 Béton projeté partie 2 -Exécution 2006  
<https://www.afnor.org/acheter-une-norme/>
- [12] Norme NF EN 1504-3. Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton. Définitions, exigences, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité . Partie 3. Réparation structurale et réparation non structurale. 2006.  
<https://www.afnor.org/acheter-une-norme/>
- [13] Norme NF EN 1504-9. Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton. Définitions, exigences, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité . Partie 9. Principes généraux d'utilisation des produits.2008.  
<https://www.afnor.org/acheter-une-norme/>
- [14] Fascicules n°2 et 31 de l'Instruction Technique sur la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art: « Généralités sur la surveillance », « Ponts en béton non armé et en béton armé ».  
<http://www.piles.setra.developpement-durable.gouv.fr/itseoa-r447.html>
- [15] Fascicule 4 Guide des choix des classes d'exposition  
<http://www.egfbtp.com/egf-btp-activites/publications>

\* En complément, des normes de référence (essais, produits ou exécution) sont également citées dans le texte.

### Généralités sur le béton projeté

La technique de réparation par béton projeté fait partie du panel de techniques de réparations des structures en béton ayant pour objectif de maintenir les ouvrages dans un état de service satisfaisant. Il s'agit d'une action d'entretien spécialisé qui permet de traiter des dégradations ayant des conséquences structurales ou non. Elle nécessite des moyens particuliers (échafaudages, batardeaux, notamment) et un savoir-faire spécifique des entreprises.

Voir Article 1 Réf [5]

La présente fiche donne les éléments essentiels nécessaires à chaque étape du projet de réparation pour assurer une efficacité et une pérennité de ces travaux de réparation.



Le retour d'expériences sur les travaux de réparation par béton projeté montre que parfois, ces réparations ne sont pas pérennes et cela même pour des infrastructures terrestres où les conditions de réalisation sont généralement plus favorables et l'exposition aux agents agressifs moins sévère qu'en environnement maritime.

Ces échecs sont généralement dus à :

- un diagnostic préalable insuffisant,
- des défauts d'exécution (mauvaise préparation des zones à traiter notamment),
- un personnel pas suffisamment qualifié (le porte lance, notamment, qui a un rôle essentiel)

Il convient donc d'être particulièrement vigilant dans la conduite de ces opérations.

## Domaine d'application de la technique

Voir Article 6.2.3 - Réf [8]

La reconstitution du béton par béton projeté permet de traiter les dégradations dues à des défauts :

- dus au vieillissement (corrosion des armatures principalement),
- d'exécution : défaut de planéité, épaufrures superficielles, défaut de remplissage des coffrages, nids de cailloux par exemple,
- d'origine accidentelle : chocs, incendies par exemple,
- dus à des actions sur l'ouvrage : attaques chimiques, érosion et abrasion par exemple.

Les dégradations concernées peuvent atteindre les premières armatures (étriers, armatures de travail proche des parements et les armatures de peau).

La technique du béton projeté est particulièrement bien adaptée lorsque les dégradations sont étendues, généralisées et/ou profondes ou lorsque les armatures apparentes présentent des pertes significatives de section (dans ce cas, l'opération comprend le remplacement ou l'adjonction d'armatures). L'envergure de l'opération doit également justifier l'amenée et le repli du matériel indispensable au déploiement de cette technique.

Si les surfaces à traiter sont faibles, le ragréage manuel est à privilégier.

### Défauts, dégradations relevant du domaine d'application

Dégradation généralisée de l'enrobage



Perte significative de section d'armature



## Défauts, dégradations exclus du domaine d'application

Nid de cailloux



Epaufures (choc)



Eclat localisé dû à la corrosion



Cette technique est également parfois utilisée préalablement à la mise en œuvre des techniques de réhabilitations électro-chimiques (protections cathodiques par exemple) afin de traiter les zones de béton non cohésives.

La technique de béton projeté relève des principes 3, 4, 5, 6 et 7 définis dans la série des normes NF EN 1504 [12] et plus particulièrement dans la norme NF EN 1504-9 [13] (voir tableau ci-après) :

PRINCIPE DE RÉPARATION	MÉTHODE DE RÉPARATION	COMMENTAIRES
<b>Principes et méthodes relatifs aux défauts dans le béton</b>		
3 – Restauration du béton	3.3 Pulvérisation de béton ou de mortier	
4 – Restauration structurale	4.4 Ajout de mortier ou de béton	
5 – Augmentation de la résistance physique	5.3 Ajout de mortier ou de béton	
6 – Résistance aux produits chimiques	6.3 Ajout de mortier ou de béton	
<b>Principe et méthodes relatifs à la corrosion de l'armature</b>		
7 – Préservation ou restauration de la passivité	7.1 Augmentation de la couche avec du mortier ou du béton supplémentaire	En cas d'enrobage insuffisant.
	7.2 Remplacement du béton pollué ou carbonaté	L'expression « béton pollué » signifie béton pollué par les chlorures, les sulfates d'origine externe, etc .

Tableau 1 - Principes et méthodes de réparation

## 2 DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA TECHNIQUE

Voir Réf [1] et [7]

### DEUX TECHNIQUES DIFFÉRENTES, LA VOIE SÈCHE ET LA VOIE MOUILLÉE

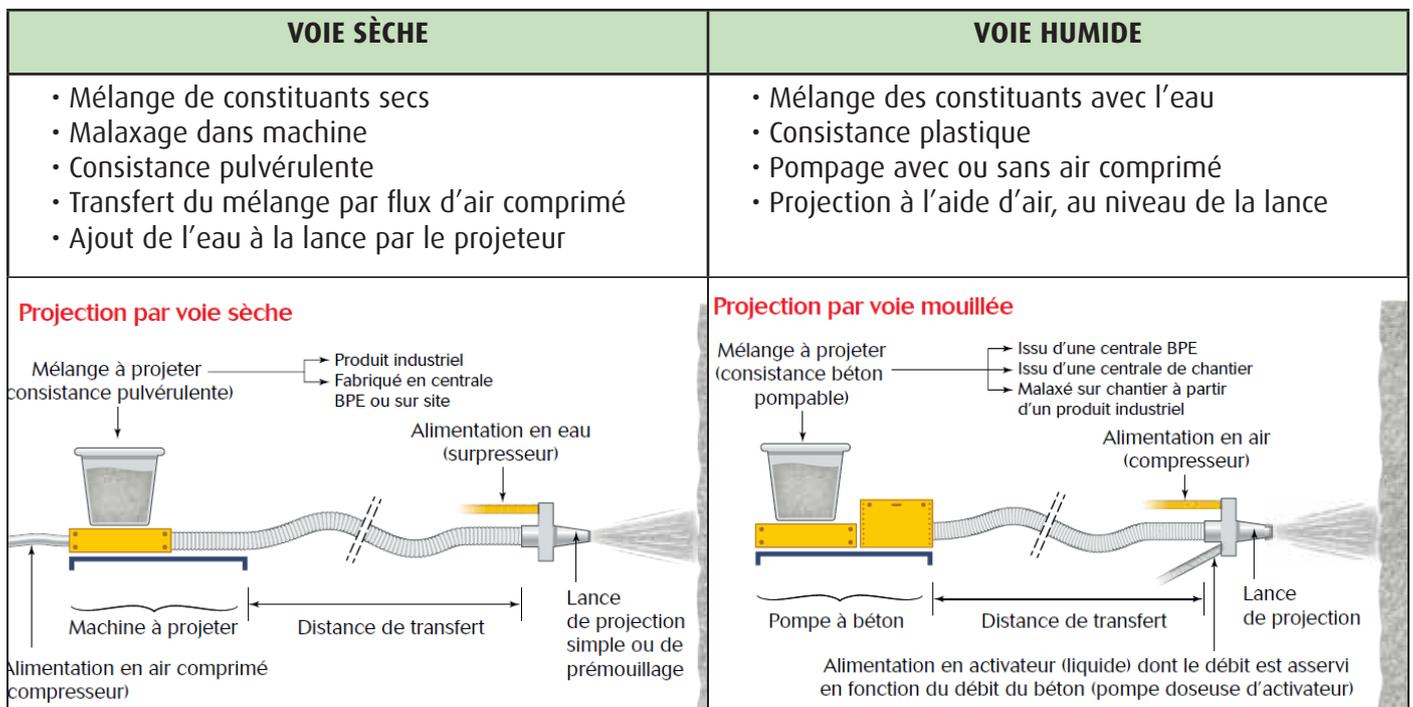
Le principe général de béton projeté consiste à :

- transporter dans un tuyau, un mélange de ciment et de granulats
- projeter à l'aide d'air comprimé ce mélange sur un support

Il existe deux méthodes de projection très différentes:

- la voie sèche
- la voie mouillée (ou humide)

Elles se différencient par le point d'introduction de l'eau et de l'air comprimé ; ainsi que par la composition du mélange.



Schémas Solutions Béton BS 2019-2

Les pertes, par rebonds et retombées, sont inhérentes à cette technique.

La projection assure un compactage en place du produit, qui lui confère compacité, étanchéité, et adhérence.

La mise en œuvre se fait par « couches » et par « passes » successives.



Une « **couche** » est l'épaisseur de matériau que l'on laisse faire prise dans l'attente d'une future couche ou parce que l'on a atteint l'épaisseur voulue. Elle est constituée de plusieurs « passes ».

Une « **passse** » est l'épaisseur déposée à chaque passage de la lance.

## CHOIX DE LA TECHNIQUE POUR DES OUVRAGES MARITIMES

TECHNIQUE DE BÉTON PROJETÉ	LES +	LES -	UTILISATION
<p><b>Voie Sèche</b></p> <p>Mélange « ciment/granulat » transporté sec dans les tuyaux et introduction de l'eau, en bout de lance par le porte lance</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en œuvre plus facile</li> <li>- Tuyaux moins lourds</li> <li>- Possible sur grande distance (&gt;100m)</li> <li>- Béton très compact (meilleure performance mécanique)</li> <li>- Bon enrobage des armatures</li> <li>- Bonne adhérence</li> <li>- Résistance au jeune âge</li> <li>- Retrait maîtrisable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendement en volume moindre (rebonds importants)</li> <li>- Conditions de travail difficiles (poussières, pollution)</li> <li>- Nécessite un porte lance très qualifié</li> </ul>	<p>Réparation de béton armé</p> <p>Parois clouées</p>
<p><b>Voie Humide</b></p> <p>Mélange « ciment /granulats/ eau » béton classique, transporté dans les tuyaux jusqu'à la surface à projeter.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formulation simple</li> <li>- Rendement élevé</li> <li>- Aucune poussière</li> <li>- Pertes faibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en œuvre plus difficile en raison du poids des tuyaux</li> <li>- Adhérence moindre</li> <li>- Pour le projeteur, enrobage des armatures difficile à cause de l'activateur</li> <li>- Distance de transport limitée (100m)</li> <li>- Retrait</li> <li>- Nettoyage du matériel fastidieux</li> </ul>	<p>Nécessité de rendement important (tunnel ou protection de berges)</p> <p>Conditions de travail confinées )</p>

Pour la réparation du béton armé en milieu maritime, la technique de béton par voie sèche est la seule qui permet :

- une bonne compacité qui assurera la réalisation d'un enrobage suffisamment compact capable de l'opposer à la pénétration des agents agressifs, notamment les chlorures,
- une bonne adhérence au support garantissant la pérennité de la réparation,
- une maîtrise de la fissuration due au retrait.



Illustration 1: Mise en œuvre de béton projeté par voie sèche

## TRAVAUX PRÉALABLES DE PRÉPARATION

### • **Purge du béton**

Avant de procéder à la projection, il est indispensable de purger le béton pollué ou non-adhérent et de nettoyer les armatures.

Si ces travaux concernent des surfaces importantes, la technique de l'hydrodémolition est idéale pour réaliser efficacement les purges. Elle permet une démolition sans effet dynamique néfaste à la structure, tout en assurant un état de surface du béton optimal pour assurer une bonne adhérence du béton projeté. Elle permet également une préparation des armatures sans action supplémentaire. L'hydrodémolition peut être manuelle ou robotisée.



La robotisation permet une optimisation de la quantité d'eau utilisée, ce qui peut présenter un avantage important quand les contraintes de gestion des rejets sont importantes.

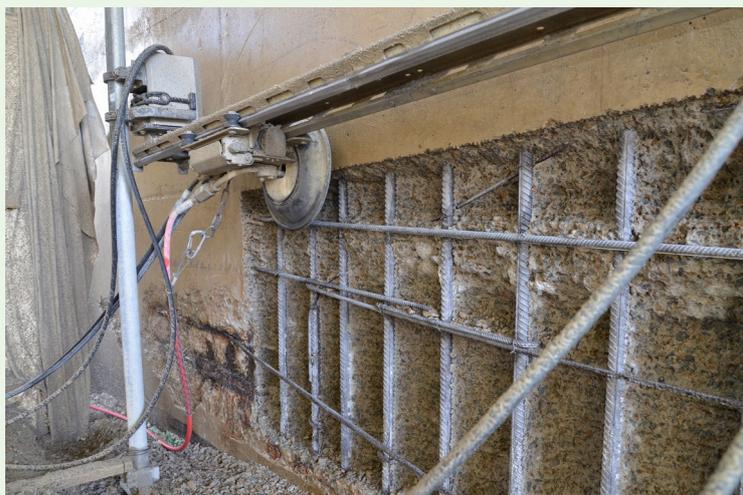
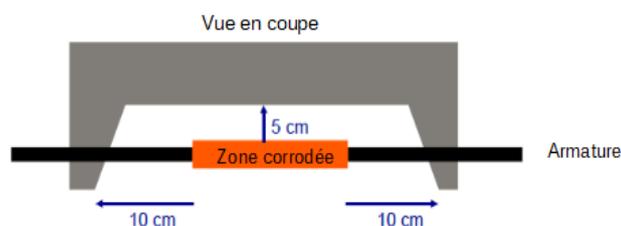


Illustration 2: Robot d'hydrodémolition

Le piquage manuel ou au marteau pneumatique léger peut être envisagé pour des petites surfaces à condition de s'assurer de sa compatibilité avec l'état de la structure et de prévoir ensuite une préparation des armatures.



Il est souvent nécessaire de purger le béton sur plus ou moins de profondeur, ou de dégager les armatures sur une certaine longueur, pour éviter un phénomène de macro-pile.



#### **Phénomène de macro-pile :**

Phénomène électrochimique susceptible de se produire à la périphérie d'une réparation et pouvant conduire à un amorçage et une accélération de la corrosion des armatures autour de la zone traitée.



#### **Stabilité de la structure:**

Ces purges de béton peuvent affaiblir la structure. Il convient donc de vérifier en amont des travaux que la stabilité est assurée pendant cette étape de travaux. Les pertes de sections d'armatures dues à la corrosion doivent également être prises en compte dans cette vérification. Il pourra alors être nécessaire de procéder à un phasage particulier des purges et de la reconstitution du béton (pianotage, étaitements).

- **Traitement des arêtes**

Pour réaliser des arêtes franches, il est nécessaire de mettre en place des coffrages sur la face perpendiculaire à celle que l'on traite, ce qui présente un risque de piégeage de rebonds (« nids de pertes »).

Pour l'éviter, il est indispensable de mettre en place une arête de dépouille assurant la reprise à 45° dans l'angle ainsi qu'un dispositif empêchant la pénétration de matériaux sous les armatures.



*Illustration 3: Poutre avec dispositif de coffrage des arêtes*



*Illustration 4: La même poutre après projection des faces latérales, avant projection de la sous-face*

- **Reprise des charges permanentes**

Dans le cas où la réparation doit reprendre une partie des charges permanentes, les modalités d'exécution doivent être précisées : mise en place d'étais après élimination d'une partie du remblai et des couches de roulement (cas d'un quai sur pieux par exemple) et avant la purge du béton et enlèvement des étais après que le béton de réparation ait atteint une résistance suffisante.

### Recherche documentaire

A réaliser par le maître d'ouvrage gestionnaire

Un examen du dossier d'ouvrage (archives et documents de références) est à réaliser afin de recueillir des informations suivantes :

- travaux de réparation antérieurs (type de réparation et de produits, parties concernées, enrobages constatés, etc.),
- actions de surveillance effectuées sur l'ouvrage (visites d'évaluation, inspections détaillées, diagnostics, etc.),
- éléments relatifs à la construction de l'ouvrage (plans d'exécutions, notes de calculs notamment) afin de connaître les enrobages théoriques, la nature des armatures, le ferrailage, la composition du béton, etc.

### Évaluation visuelle

Conduite à l'initiative et sous la direction du maître d'ouvrage gestionnaire par un organisme spécialisé.

L'établissement du marché de travaux doit être précédé a minima d'un examen visuel approfondi (de type inspection détaillée selon la définition de [14]). Cet examen visuel est programmé lors de périodes propices à l'observation des désordres (horaires de marée permettant un examen rapproché des parements).

L'évaluation visuelle comprend a minima :

- un relevé exhaustif des désordres et un report sur plans,
- une synthèse des désordres observés comprenant notamment leur caractérisation qualitative (nature précise des désordres : fissuration, lacunes, éclatements de béton, armatures apparentes, etc.) et quantitative (étendue, linéaire, profondeur),
- une analyse et une interprétation des désordres observés : défauts de construction, chocs, vieillissement du matériau (corrosion), abrasion, insuffisance mécanique, etc.
- des suggestions d'actions d'entretien et/ou de réparation et d'éventuelles investigations complémentaires ; en intégrant dans ces propositions les conditions d'accès aux structures.



Selon le contexte, l'évaluation visuelle pourra nécessiter un nettoyage général ou partiel de l'ouvrage afin d'éliminer tous ce qui pourrait masquer des défauts : végétations, algues et mollusques.

L'évaluation visuelle est indispensable. Elle permet :

- d'aboutir à un pré-diagnostic (causes probables et conséquences) ainsi qu'à un programme d'investigations si nécessaire (en cas de doute sur l'origine des désordres par exemple),
- de définir la nature et l'ampleur des réparations à réaliser.



L'évaluation visuelle doit permettre de s'assurer que la structure relève bien de travaux de réparation par béton projeté : absence de problème structurel, de pathologies spécifiques (réactions de gonflement interne du béton, attaques chimiques), de dégradations avancées (corrosion généralisée et/ou avec perte de section d'armatures par exemple). En cas de doute ou d'insuffisance d'information, un diagnostic complémentaire devra être programmé.

Si les désordres constatés relèvent d'une insuffisance structurelle, une étude spécifique devra être initiée.

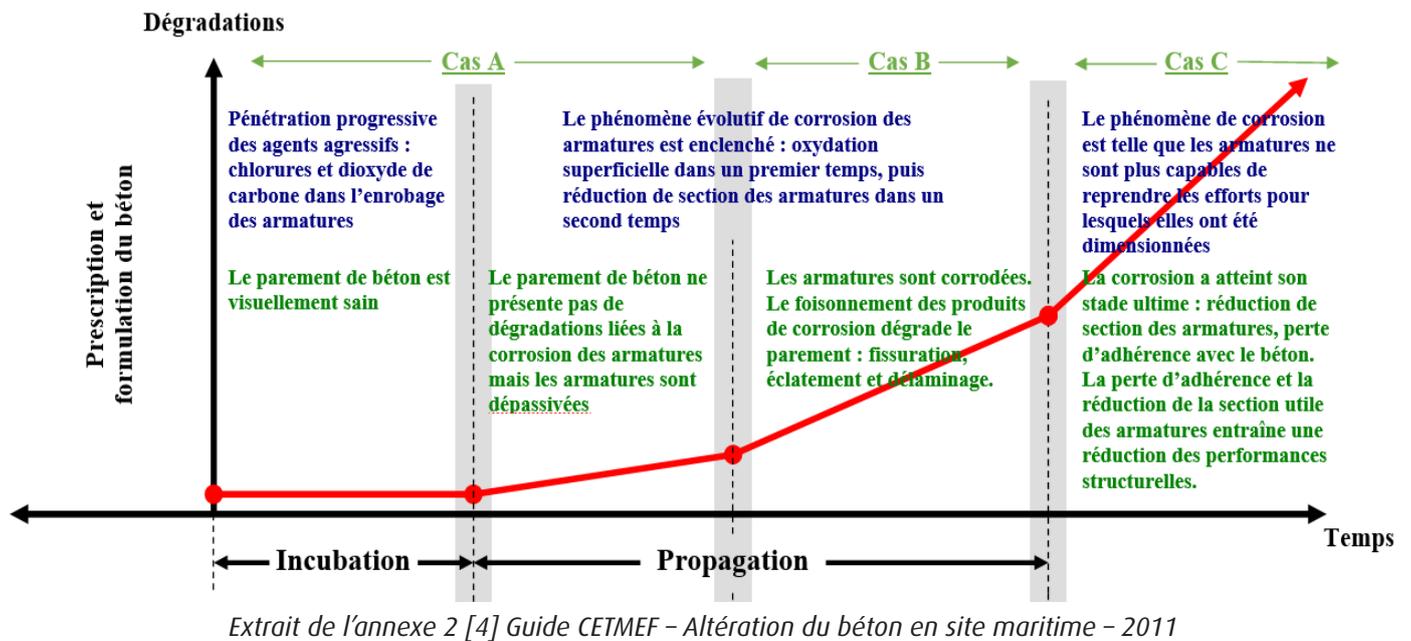
## Diagnostic complémentaire

Le diagnostic complémentaire est conduit à l'initiative et sous la direction du maître d'ouvrage gestionnaire par un organisme spécialisé.

Dans le cas où les désordres observés ont pour origine la corrosion des armatures (fissurations, éclatements du béton dus au foisonnement des armatures corrodées), l'évaluation visuelle doit être complétée par un diagnostic afin de confirmer la pertinence des travaux de réparation et de définir leur principe le cas échéant.

Le diagnostic complémentaire permet notamment de définir le stade d'avancement du processus de corrosion. Les travaux de réparation par béton projeté permettent de traiter certaines situations relevant des cas B et C définis dans la figure ci-après.

Voir Article 2 et 3.1 Réf [5]



### Informations à disposer à l'issue du diagnostic :

#### • Enrobages

La connaissance des valeurs d'enrobages des armatures permet notamment de savoir s'il est nécessaire de prévoir une surépaisseur par rapport à ce qui existe ou d'envisager, en complément, la mise en œuvre d'une protection de surface.

#### • Pénétration des chlorures

En milieu marin, le processus de corrosion est généralement dû à la pénétration des chlorures. La profondeur de pénétration des ions chlorures dans le béton doit donc être connue. Cette épaisseur de béton contaminée devra être purgée.

#### • Profondeurs de carbonatation

Même si en milieu marin, le phénomène de carbonatation du béton est rarement à l'origine de la corrosion des armatures, il est néanmoins recommandé de connaître la profondeur de carbonatation du béton.

#### • Corrosion des armatures

Dans la mesure du possible, lorsque des armatures sont apparentes, il convient d'estimer les éventuelles pertes de section.

Dans les premiers stades d'avancement (incubation et initiation), il n'y a pas de manifestations visibles de la corrosion sur le parement. Il est donc recommandé la réalisation de mesures de potentiels d'armatures dans les zones adjacentes afin d'évaluer le risque de corrosion là où le parement est visuellement sain.

#### • Autres investigations

Dans certains cas et en l'absence de données suffisantes dans le dossier d'ouvrage, des prélèvements d'armatures peuvent être nécessaires pour la détermination des caractéristiques mécaniques de l'acier.

Si l'évaluation visuelle a conclu à une suspicion de pathologies particulières (alcali-réaction, réaction sulfatique interne, attaques chimiques, réaction sulfatique externe), le diagnostic doit les confirmer ou non et préciser leur stade d'avancement.

En complément et dans la perspective des travaux, le diagnostic doit permettre de disposer des informations suivantes : résistance à la compression, cohésion de surface du béton.

## 4 PRESCRIPTIONS A APPORTER AU CCTP

### Chapitre 1 du CCTP : Consistance et description des travaux

Voir Réf [8]

### Contexte climatique et environnemental

Voir Réf [15]

Le CCTP indique les classes d'exposition XC et XS correspondantes à chacune des parties à traiter. Dans la plupart des cas, en milieu marin, on retiendra les classes XC4 et XS3.



#### Classes d'exposition :

La norme NF EN 206/CN définit différentes classes d'exposition permettant de décrire l'environnement dans lequel se trouve le béton (armé ou non). En fonction des classes d'exposition considérées, des spécifications particulières sont exigées au produit de réparation.

Vis à vis de la corrosion due aux chlorures	
Classe d'exposition	Description
XS1	Exposé à l'air marin mais pas en contact direct avec l'eau de mer. Structure sur ou à proximité d'une cote
XS2	Immergé en permanence. Éléments de structures marines
<b>XS3</b>	<b>Zones de marnage, zones soumises à des projections ou embruns. Éléments de structures marines</b>
Vis à vis de la corrosion due à la carbonatation	
Classe d'exposition	Description
XC1	Sec ou humide en permanence
XC2	Humide, rarement sec
XC3	Humidité modérée
<b>XC4</b>	<b>Alternance d'humidité et de séchage</b>

### Description de l'ouvrage

Les structures faisant l'objet des travaux sont à décrire :

- Description de la nature de la structure (mur voile en béton armé, dalle en béton armé, mur poids en béton non armé ou faiblement armé, poutres sous quai en béton armé, etc.)
- Divers : enrobage théorique, plans de ferrailage, nature du béton, etc.
- En cas d'exposition au marnage : cotes marines caractéristiques (PHMA, PMVE, PMME, NM, BMME, BMVE, PBMA)
- Description détaillée de l'état de la structure
- Description des désordres à réparer
- Résultats du diagnostic

### Nature des travaux

Le CCTP précise les travaux à prévoir :

- Nature des travaux
- Surfaces et localisation des zones à traiter en les délimitant si nécessaire par les côtes marines

## Enrobages

Pour chaque partie d'ouvrage à traiter, le CCTP précise l'enrobage des armatures nécessaire.

Un enrobage de 5 cm est recommandé. Selon les enrobages en place, cette disposition pourra obliger l'entreprise à réaliser des épaisseurs de béton projeté en surépaisseur par rapport au parement existant. Dans le cas où les surépaisseurs ne pourraient être réalisées, la mise en œuvre d'une protection de surface généralisée pourra être envisagée (technique non traitée dans cette fiche).

## Qualité de parements

Il est recommandé de ne pas travailler le béton projeté après son application car cela peut nuire à son adhérence au support ou aux couches intermédiaires. Toutefois, il est permis de dresser par recoupe à la règle biseautée ou à la tranche truelle. Dans ce cas, une couche de finition avec une granulométrie plus fine doit être envisagée si le  $D_{max}$  est  $> 12mm$ .

Un niveau de finition du parement est à définir en cas d'application d'un revêtement de surface ou d'exigence esthétique particulière.

## Contraintes particulières imposées au chantier

Le CCTP décrit les parties à traiter en précisant les conditions de marnage le cas échéant et les contraintes d'accès (abaissement de plan d'eau, mise en place de batardeaux, etc.) et les contraintes liées à l'exploitation de l'ouvrage concerné (sécurité, accessibilité au site, etc.).

### Chapitre 2 du CCTP : Préparation et organisation du chantier

Il comporte :

- des dispositions et documents d'organisation générale,
- des dispositions d'exécution,
- des dispositions de suivi d'exécution.

L'entreprise a l'obligation de  
fournir un Plan Qualité

Les dispositions et documents d'organisation générale traitent les points définis ci-après :

- identification des parties concernées : maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprise titulaire, sous-traitants et fournisseurs principaux,
- organigramme et encadrement responsable de l'opération, avec indication de sa qualification et de ses références professionnelles, certification ASQUAPRO pour le porte lance et le conducteur de travaux,
- désignation d'un responsable pour chaque tâche de contrôle,
- principes et conditions d'organisation du contrôle avec définition des points d'arrêts et des points critiques.

Les dispositions et documents d'exécution (procédures, modes opératoires, instructions etc.) comprennent, pour l'essentiel :

- les listes des moyens utilisés (produits, personnel et matériel),
- les épreuves de convenances à réaliser avant travaux,
- le mode de mise en place du ferrailage éventuel et ses liaisons avec la structure,
- la description des méthodes, modalités, modes opératoires de mise en œuvre des travaux,
- la liste et les modalités des opérations de contrôles et vérifications à effectuer.



### L'importance du porte lance :

La qualité de la projection dépend en grande partie du savoir faire du porte-lance.

Ce dernier doit impérativement avoir la certification « ASQUAPRO » « Porte-lance (PL) béton par voie sèche (VS) » mais aussi justifier d'une expérience suffisante pour des travaux analogues de projection pour réparation de structures en béton armé.

Le conducteur de travaux doit aussi être certifié « Aptitude à la Conduite des Travaux de projection (ACTx)



### Exigences environnementales :

La technique de béton projeté par voie sèche génère des quantités importantes de rebonds (30 à 50 % du volume mis en place).

Les purges par hydrodémolition produisent également des déchets.

L'entreprise doit donc fournir un Plan de Respect de l'Environnement (PRE), détaillant notamment les dispositions mises en place pour récupérer et traiter ces produits. Les déchets doivent être récupérés et leur traitement doit être réalisé conformément aux prescriptions du PRE.

## Chapitre 3 du CCTP : Provenance, qualité et préparation des matériaux

Les produits utilisés et les contrôles effectués doivent être conformes et répondre aux spécifications de la norme NF P95-102 [9] et NF EN 14487-1 [10].



**Le Dmax du produit doit être supérieur à 8mm pour assurer un nettoyage préalable des armatures et un matelassage de la couche à l'arrière des barres.**



### Fuseau granulométrique :

La composition du mélange utilisé doit respecter les fuseaux de fabrication décrits dans le document [2] Guide ASQUAPRO – Fascicule 4 Formulation des bétons projetés.

Ils sont fondés sur des données empiriques et sur des retours d'expériences avec l'objectif de réduire les rebonds.

Cette approche a pour origine le fait que la méthode de projection par voie sèche conduit à une autorégulation granulaire du béton en place par le jeu de rebonds plus ou moins importants.

De ce fait, la composition effective du béton dans la couche réalisée, sera différente de celle du mélange initial.

Potentiellement, un béton projeté (mélange sec ou « premix ») peut provenir d'une centrale à béton ou être un produit prêt à l'emploi, en sac ou silo. Pour les travaux traités dans cette fiche, il est préférable d'exiger un produit prêt à l'emploi pour les raisons suivantes :

- L'utilisation d'un premix donne davantage de garanties par rapport à la composition et la régularité du mélange et permet d'atteindre le niveau d'exigence attendu pour des ouvrages de génie civil.
- Le caractère agressif de l'eau de mer plaide pour des constituants de nature et de qualité maîtrisées.
- Les conditions de mise en œuvre à la marée, avec une nécessité de résistance au jeune âge garantie, est plus facilement accessible en premix.

Dans le cas de travaux en zone de marnage, le CCTP doit exiger un produit à Résistance Initiale Garantie (RIG) de façon à assurer une prise suffisante avant la marée haute suivante.



### Résistance Initiale Garantie (RIG)

Produits ayant fait l'objet d'essais de performances mécaniques suivant le cahier des charges SNCF, garantissant des résistances minimales à 3h, 7 et 28j

### Préparation du support

Le CCTP doit exiger que la préparation des zones à traiter soit réalisée conformément à l'article 8.2.2 de la Norme NF P95-102, notamment :

- purge du béton effectuée au-delà des zones où les armatures sont corrodées. (L'hydrodémolition est la technique à privilégier car elle permet d'obtenir une préparation de surface favorable à l'adhérence des futures couches ainsi qu'un décapage efficace des armatures, sans engendrer d'effets dynamiques qui pourraient être préjudiciables à la structure.)
- détournage « d » des armatures > diamètre de l'armature.
- remplacement (ou adjonction) d'armatures si besoin
- coffrage éventuel des zones susceptibles d'accumuler des rebonds



#### Attention

L'accumulation de produits de démolition lors de l'hydrodémolition ou de rebonds lors de la projection du béton représente un poids important qu'il faut prendre en compte dans le dimensionnement des échafaudages.

## 5 CONTRÔLES DES TRAVAUX

### Généralités

Concernant les essais et contrôles à réaliser, le marché précise les dispositions particulières propres au chantier qui viennent en complément des exigences de l'article 10 de la norme NF P95-102.

Cette norme d'exécution étant ancienne (2002, en cours de révision au moment de l'établissement de la présente fiche), le CCTP doit également faire référence aux séries de normes « produit » et « essais » plus récentes suivantes :

- NF EN 14487 Béton projeté
- NF EN 14488 Essais pour béton projetés

La catégorie d'inspection retenue est précisée dans le CCTP. Elle permet de définir les paramètres qui feront l'objet d'un contrôle et leurs fréquences (voir tableaux 9, 10, 11 et 12 de la norme NF EN 14487-1). La catégorie la plus élevée (catégorie 3) correspond à la réparation d'ouvrages en béton armé en milieu maritime.

Les contrôles sont différents de ceux pratiqués classiquement sur les bétons coulés en place, principalement pour deux raisons :

- les pertes de produits dues aux rebonds conduisent à une composition du béton sur la paroi différente de celle élaborée à la fabrication du mélange,
- les épaisseurs obtenues ne permettent pas la réalisation de carottes suffisamment longues dans l'ouvrage pour pratiquer les essais conventionnels.

C'est pourquoi, certains essais (détermination de la résistance à la compression par exemple) sont réalisés à partir de carottes prélevées dans des caisses de béton projeté. Ces caisses sont fabriquées spécialement pour ces essais et pour éprouver le savoir-faire du porte lance. Les caractéristiques de ces caisses de même que les modalités de leur réalisation sont définies dans les normes.

Le Plan Qualité de l'entreprise (PAQ) indiquera précisément, pour chaque phase :

- ce qui relève des contrôles internes, externes et extérieurs,
- les essais et contrôles à réaliser,
- la liste des points critiques et d'arrêts.

Les points d'arrêts ne peuvent être levés que par le maître d'œuvre ou son représentant. Ils sont fixés dans le CCTP :

- Validation du PAQ, du PRE et des procédures d'exécution => Autorisation de procéder à l'épreuve de convenueance,
- Validation de l'épreuve de convenueance (vérification de l'adéquation des moyens mis en œuvre par l'entreprise pour exécuter l'ensemble de l'opération : qualification, produits, matériels, techniques, qualité de parement, résultats des essais de résistance et d'adhérence satisfaisants),
- Validation des zones à traiter=> Autorisation de procéder aux purges,
- Validation des purges et acceptation des préparations de surface (état du support après hydro-démolition, mise en place des dispositifs anti-piégeage des rebonds) => Autorisation de procéder à la projection,
- Acceptation de l'état de surface après projection,
- Réception des travaux.

## Épreuves de convenueances

Le marché fixe le contenu des épreuves de convenueances à réaliser afin de vérifier :

- le choix des produits, leur mode d'approvisionnement et de stockage,
- le choix du matériel de projection,
- la préparation du support,
- le remplacement (ou l'adjonction) d'armatures si nécessaire,
- la mise en œuvre : humidification du support, épaisseurs, enrobage des armatures, mode de réglage du parement éventuel et cure ,
- la qualification du personnel et notamment du projeteur,
- la résistance à la compression obtenue (sur carottes prélevées dans une caisse),
- l'adhérence au support par essais de traction directe suivant la norme NF EN 144488-4 et par sondage au marteau.



Illustration 5: Caisse pour essais lors d'une épreuve de convenueance

La validation des épreuves de convenueance par le maître d'œuvre constitue un point d'arrêt de l'exécution. Après validation, les zones traitées lors de l'épreuve de convenueance sont conservées et servent de zones de références pour le suivi du chantier.

## Contrôles d'exécution

Ils comprennent :

- les contrôles intérieurs (internes et externes) à la charge de l'entreprise,
- les contrôles extérieurs que le maître d'œuvre exécute ou fait exécuter, pour le compte du maître d'ouvrage.

Le plan de contrôle contractuel (CCTP) fixe la teneur et les fréquences de ces contrôles.

Les contrôles portent sur les points suivants :

- la conformité du produit utilisé,
- l'état du matériel,
- l'acceptation des supports après purges,
- la préparation ou le remplacement (ou l'adjonction) d'armatures si besoin,
- la mise en place des dispositifs anti-rebonds éventuels,
- la mise en œuvre ; humidification du support, technique de projection, distance lance-paroi, épaisseurs,
- l'adhérence entre le béton projeté et le béton support,
- le dressage du parement si prévu,
- la cure.

## Lexique

---

**ASQUAPRO** : Association pour la qualité de la projection des bétons

**Contrôle extérieur** : Ensemble des opérations de surveillance, de vérification et d'essais, que le maître d'œuvre exécute ou fait exécuter par un organisme indépendant du titulaire, pour le compte du maître d'ouvrage.

**Contrôle intérieur** : Contrôle exercé par le titulaire ou pour son compte, sur ses propres actions, ou celles de ses sous-traitants.

Il peut prendre l'une ou l'autre, ou les deux modalités suivantes, selon le contexte de l'opération :

- contrôle interne Ensemble des opérations de surveillance, de vérification et d'essais exercés sous l'autorité du (ou des) responsable(s) de la fabrication ou de l'exécution, dans les conditions définies par le Plan Qualité
- contrôle externe Ensemble des opérations de surveillance, de vérification et d'essais exercés sous l'autorité ou à la demande d'un responsable indépendant de la chaîne de production ou du chantier d'exécution, mandaté par le titulaire.

**Côtes marines pour :**

PHMA : Plus Haute Mer Astronomique,

PMVE : Pleines Mers de Vives-Eaux,

PMME : Pleines Mers de Mortes-Eaux,

NM : Niveau Moyen

BMME : Basses Mers de Mortes-Eaux

BMVE : Basses Mers de Vives-Eaux

PBMA : Plus Basse Mer Astronomique

**FTP** : Fiches techniques produits

**DCE** : Dossier de Consultation des Entreprises

**PAQ** : Plan qualité de l'entreprise

**Point d'arrêt** : Un point d'arrêt marque la fin d'une ou de plusieurs phases de l'opération. Pour sa levée, c'est-à-dire pour autoriser la conduite des phases suivantes, un point d'arrêt donne lieu :

- à la production de documents remis au maître d'œuvre et prouvant qu'un certain nombre de vérifications et de contrôles ont été effectués lors de la ou des phases en question,
- à un accord préalable et explicite du maître d'œuvre. Pour émettre cet accord, le maître d'œuvre dispose d'un délai de réponse.

**Point critique** : Un point critique est une phase importante de l'opération qui est signalée au maître d'œuvre afin qu'il puisse intervenir. Il donne lieu :

- à la mise à disposition du maître d'œuvre, sur les lieux des travaux, de documents de suivi d'exécution de cette phase,
- à un délai de préavis à respecter pour l'entreprise pour prévenir le maître d'œuvre et lui permettre d'intervenir (lui-même ou son contrôle extérieur)

**PRE** : Plan de Respect de l'Environnement

## Contacts Cerema Ouest

Agence de Saint-Brieuc

- Michel Menguy - Groupe Ouvrages d'Art et Maritimes - [michel.menguy@cerema.fr](mailto:michel.menguy@cerema.fr)
- Benoit Thauvin - Groupe Ouvrages d'Art et Maritimes - [benoit.thauvin@cerema.fr](mailto:benoit.thauvin@cerema.fr)



MAN - 9 rue René Viviani  
BP 46223 - 44262 Nantes cedex 2  
Tél. : +33 (0)2 40 12 83 01