

Fiche Aide Mémoire

Protection de surface des bétons en milieu marin



Sommaire

1. Contexte et champ d'application de la fiche « aide-mémoire »

- . Référentiel technique
- . Généralités sur les protections de surface
- . Domaine d'application de la technique

2. Description sommaire de la technique

- . Traitements préalables
- . Préparation du support
- . Préparation des produits
- . Application

3. Éléments nécessaires à l'établissement du CCTP

- . Généralités
- . Évaluation visuelle
- . Diagnostic complémentaire

. Choix de la protection de surface

4. Prescriptions à apporter au 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
- . Garanties

5. Contrôles des travaux

- . Généralités
- . Épreuves d'études
- . Épreuves de convenances
- . Réception des produits
- . 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 traite de la protection de surface généralisée des éléments en béton armé en site maritime. L'application d'une protection de surface est une action de maintenance préventive présentant un intérêt pour la protection contre les risques de corrosion et contribuant à la pérennisation des structures en béton armé. La fiche traite des produits de type revêtement et imprégnation hydrophobe. Les techniques de mortiers ou de bétons ajoutés de même que les produits ayant une fonction esthétique ne sont pas traités. Enfin, l'application de produit pour la protection contre les environnements particulièrement agressifs (produits acides, site pollué, etc.) n'est pas abordée.

Les dispositions de la présente fiche concernent les ouvrages portuaires pour des surfaces d'ouvrages en zone de marnage, d'aspersion et d'embrun. Elles ne concernent pas les parties de structures en zone constamment immergée.

Référentiel technique

Ces travaux d'application d'un produit de protection 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* :

RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE

- [1] Guide CETMEF – Réparation des bétons altérés – 2011.
<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/reparation-betons-alteres>
- [2] Norme NF P 95-103 Ouvrages d'art - Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie – Traitement des fissures et protection du béton -Réparation de surface des bétons – Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés, 2014
- [3] Guide du STRRES FABEM 4 V2- Protection des bétons - 2017.
http://www.strres.org/beton_et_maconnerie_fabem-225fr.php
- [4] Guide LCPC. Protection des bétons par application de produits à la surface du parement, 2002
<http://www.ifsttar.fr/fileadmin/user-upoad/editions/catalogues>
- [5] 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 ».
- [6] Guide CETMEF – Altération du béton en site maritime – 2011.
<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/alteration-du-beton-site-maritime>

RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE suite

- [7] PETRA – Réparation.
http://www.setra.fr/html/logicielsOA/PETRA/Bible_OA/bible_old.html
- [8] Norme NF EN 1504-2. 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 2. Systèmes de protection de surface pour béton, 2005.
- [9] Guide d'application GA P18-902. Guide d'application de la norme NF EN1504-2. 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, 2014
- [10] 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.

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

Généralités sur les protections de surface

(Voir Article 1 Réf [1])

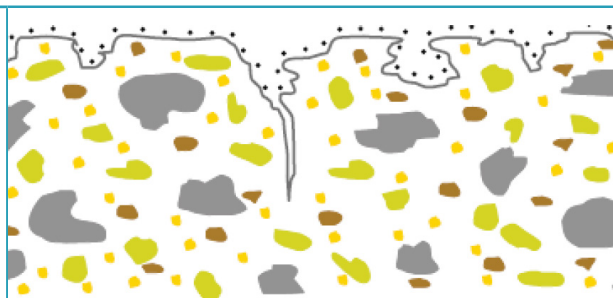
La protection de surface fait partie du panel de techniques de réparations des structures en béton armé ayant pour objectif de maintenir ou de prolonger la durée de vie des ouvrages.

Il s'agit d'une action d'entretien spécialisé qui permet de traiter les surfaces de tout ou partie d'une structure pour apporter une protection contre les pénétrations d'eau, de gaz, d'agents agressifs ou pour assurer une protection vis-à-vis de certains processus d'endommagement (corrosion, abrasion, gel/dégel, etc.). Elle nécessite des moyens particuliers (échafaudages, batardeaux notamment) et un savoir-faire spécifique des entreprises d'application.

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.

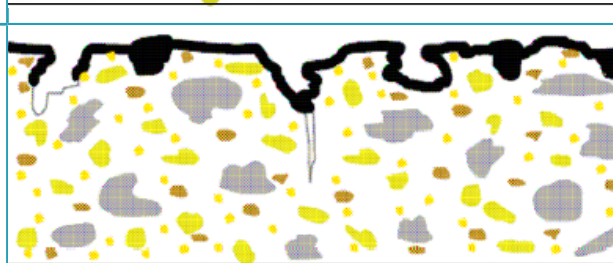
Les guides, normes et autres documents techniques distinguent plusieurs familles de produits :

Les **imprégnations hydrophobes** sont des produits invisibles appliqués à la surface du béton. Ils n'obturent pas les pores de la surface des substrats mais pénètrent plus ou moins profondément (en fonction des produits utilisés) et habillent les parois des pores d'un film protecteur qui abaisse la tension de surface. Ainsi, l'eau à l'état liquide forme des gouttelettes qui ne peuvent plus pénétrer dans les capillaires et sont, de ce fait, repoussées.

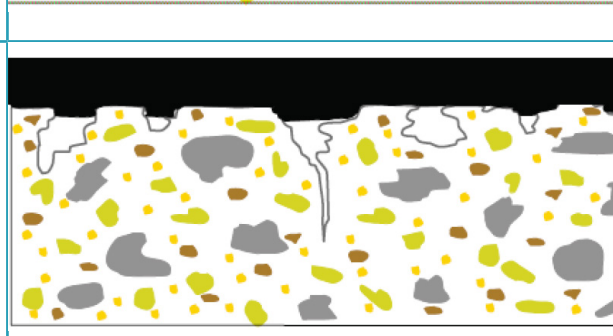


L'**imprégnation** est un traitement du béton destiné à réduire la porosité de surface et à renforcer la surface, les pores et capillaires étant partiellement ou complètement remplis. Ce traitement produit généralement un film mince discontinu à la surface du béton.

Les imprégnations ne sont pas utilisées dans les ouvrages de génie civil.



Un **revêtement de protection** est un produit ou un système qui forme un film continu à la surface du béton, d'épaisseur sèche comprise entre 0,1 et 5 mm. Il obture les pores du support et, selon le choix et les caractéristiques du produit ou système, il peut ponter les fissures fines. Certaines applications peuvent nécessiter une épaisseur de plus de 5 mm.





Les termes « peinture » et « revêtement » :

Le terme « revêtement » du référentiel normatif actuel regroupe dorénavant les appellations « peinture » et « revêtement » telles qu'elles étaient définies dans certains documents anciens. A titre indicatif, le guide [11] définissaient en 2002 les termes de la manière suivante :

- **Peinture** : Une peinture est composée d'un liant, de matières pulvérulentes (pigments, charges), d'additifs et d'un véhicule (solvant, eau, ou pas de solvant du tout). Les peintures permettent de réaliser des revêtements sous forme de « système de peinture », car il s'agit dans le cas général d'un ensemble de trois couches dans lequel chaque couche a sa fonction propre : impression, intermédiaire et finition. La couche d'impression permet au système de peinture de bien accrocher au support. A l'exception de l'impression qui parfois peut être non pigmentée, les peintures sont opaques et filmogènes.
- **Revêtement** : Sont concernés, des revêtements semi-épais, des revêtements plastiques épais (RPE) contenant des charges grossières et généralement à base de liant acrylique ou polyuréthane, des revêtements d'imperméabilité, souvent à base de résines acryliques et surtout utilisés dans le domaine du bâtiment, des revêtements divers à base de résines polyuréthanes, méthacryliques, ou encore de liant hydraulique modifié (LHM). Ces revêtements masquent le plus souvent complètement le support béton. Ils peuvent, pour certains, s'appliquer avec des spatules ou des machines de projection spécialisées. Ils nécessitent généralement une couche d'impression très fine pour bien accrocher au support (il s'agit toujours d'un « système »). Les épaisseurs déposées varient de plus de 300µm à 3mm (valeur limite considéré dans le guide).



Une protection de surface a une efficacité limitée dans le temps.

Il est nécessaire de prévoir son renouvellement tous les 10 à 15 ans en fonction de son vieillissement. Une attention particulière doit lui être portée notamment à l'occasion des actions de surveillance périodique des ouvrages (identification de signes de décollement, de blessure ou d'altération du produit).

Domaine d'application de la technique

L'utilisation de produits de protection de surface sur les ouvrages existants en milieu marin (zones aériennes et soumises au marnage uniquement) couvre principalement le domaine de la prévention ou de la protection des structures en béton armé vis-à-vis des risques de corrosion.

Dans ce cas, l'application d'une protection de surface peut constituer :

- une action de maintenance pour prévenir l'initiation de la corrosion en ralentissant / stoppant la pénétration des chlorures avant qu'ils n'atteignent les armatures en quantité trop importante,
- un complément à une réparation du béton armé lorsque :
 - les enrobages demeurent insuffisants après la réparation (cas de ragréages sur des zones de parements ayant des enrobages trop faibles par exemple),
 - des risques de formation de piles électrochimiques ont été identifiées entre des zones réparées saines et des zones non réparées polluées par les chlorures,
 - une fissuration de faible ouverture (< 0,3 mm) n'a pas pu être traitée.
- un renouvellement d'une protection existante dégradées ou en fin de vie.

L'application d'une protection de surface peut également être envisagée dans les cas suivants :

- protection / traitement d'éléments en béton atteints de gonflement interne (alcaliréaction, réaction sulfatique interne),
- protection d'éléments en béton contre l'abrasion,
- protection d'éléments en béton soumis à des attaques chimiques spécifiques.

Défauts, dégradations, contexte relevant du domaine d'application :

Vue en coupe



Avant travaux

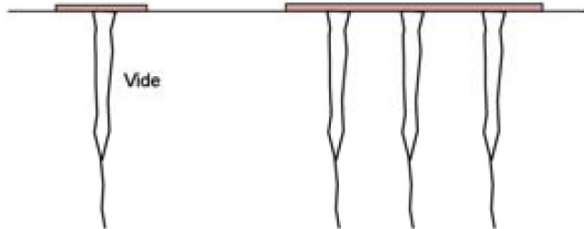


Avant travaux



Après reconstitution du béton d'enrobage et application d'une protection de surface

Protection de surface en complément d'une reconstitution du béton d'enrobage

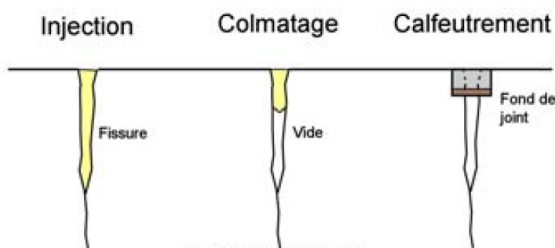


Fissures d'ouvertures < 0,3 mm



Fissuration due à une réaction de gonflement interne stabilisée

Défauts, dégradations exclus du domaine d'application :



Fissures d'ouvertures > 0,3 mm



Fissures dues à la corrosion

Domaine et limite d'emploi des différents produits :

Produit	Domaine d'emploi	Limite et contrainte d'utilisation	Type de produit, mode d'application
Imprégnation hydrophobe	<ul style="list-style-type: none"> - Limitation de la teneur en eau du béton, de l'entrée d'agents agressifs (chlorures), des entrées d'eau au droit des fissures fines et donc limitation de la corrosion des armatures - Assèchement progressif de la peau du béton 	<ul style="list-style-type: none"> - Méthode seule non adaptée vis-à-vis de la protection contre la carbonatation - Méthode non adaptée aux parties soumises au marnage ou présentant une pente insuffisante pour permettre l'évacuation des eaux* 	Crème, gel ou liquide
Revêtement	<ul style="list-style-type: none"> - Limitation des entrées d'eau (y compris au droit des fissures fines), des agents agressifs (chlorures), de vapeur d'eau et de gaz (carbonatation) - Assèchement progressif de la peau du béton 	<ul style="list-style-type: none"> - Absence d'irrégularités du support en béton telles que bullage et forte rugosité (reprofilage préalable dans le cas contraire) - Inclinaison minimale des surfaces pour permettre l'évacuation de l'eau - Traitement particulier des points hauts pour éviter toute infiltration d'eau à l'arrière du revêtement 	<ul style="list-style-type: none"> - Systèmes de peinture en phase aqueuse ou en phase solvant (résines époxydiques, résines polyuréthanes, résines époxy-polyuréthanes, résines acryliques, etc.) - Liants hydrauliques modifiés comportant du ciment et un polymère (vinylique, acrylique, styrène-butadiène ou résine époxydique)
Duplex**	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la durée de vie du système de protection - Maintien d'une protection du béton par la présence de l'imprégnation hydrophobe en cas d'altération ou d'endommagement du revêtement (blessures, vieillissement par les UV par exemple) - Environnement agressif (marin notamment) 	Voir ci-dessus	Voir ci-dessus

* Les imprégnations hydrophobes sont applicables uniquement sur support sec ou légèrement humide (leur efficacité est maximale sur support sec). Les fiches techniques produits recommandent d'éviter une exposition à l'eau pendant une durée de l'ordre de 6 heures après l'application du produit (risque de lessivage).

** Combinaison d'une imprégnation hydrophobe et d'un revêtement, particulièrement bien adaptée aux structures en béton en milieu marin lorsque les conditions d'humidité du support sont propices

2 DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA TECHNIQUE

(Voir ref. [2, 3])

Traitements préalables

L'application d'une protection de surface consiste à pulvériser ou à appliquer un produit à la surface d'un béton préalablement préparé. Cette opération ne peut intervenir qu'après un traitement des défauts suivants :

- nids de cailloux (voir la fiche aide-mémoire « Ragréage »),
- épaufrures (voir la fiche aide-mémoire « Ragréage »),
- éclatements de béton dus à la corrosion des armatures (dans ce cas, il convient de prévoir au préalable des purges, une préparation des armatures et la reconstitution du béton d'enrobage dans les conditions présentées dans les fiches aide-mémoire « Ragréage » et « Béton projeté »),
- injection des fissures d'ouvertures trop importantes pour être traitées par un revêtement.

L'opération se décompose selon les opérations suivantes :

Préparation du support

- nettoyage préalable et décapage éventuel pour obtenir la texture requise (enlèvement de la laitance, des revêtements existants éventuels, des coquillages, purges des parties non adhérentes du béton, déglacage, etc.)

Nota : le choix du matériel de nettoyage (brossage, lessivage, ponçage, projection d'abrasif, projection d'eau) dépend de la nature des éléments à enlever (salissures grasses ou non grasses, micro-organismes, laitance, revêtement existant) et de rugosité attendue.

Méthodes	Enlèvement de :				Création de :
	Salissures non grasses	Salissures grasses	Micro-organismes	Laitance, revêtement existant	Rugosité
Brossage/dépoussiérage	Oui	Inefficace	Inefficace	Inefficace	Inefficace
Lessivage suivi d'un rinçage soigné	Oui	Oui	Oui avec ajout de biocides	Inefficace	Inefficace
Ponçage au disque diamanté	Oui	Oui	Oui	Oui	Inefficace
Projection d'abrasif à sec ou grenailage	Oui	Inefficace	Oui	Oui	Oui
Projection d'abrasif humide	Oui	Inefficace	Oui	Oui	Oui
Projection d'eau pour nettoyage (pression inférieure à 18 MPa)	Oui	Oui avec ajout de détergent	Oui avec ajout de biocides	Inefficace	A vérifier par un essai préalable
Projection d'eau pour décapage (pression jusqu'à 60 MPa)	Oui	Oui si enlèvement de béton	Oui	Oui	Oui si enlèvement de béton

Tableau 1: Domaine d'emploi des méthodes de nettoyage et de décapage, Extrait de [2]

- traitement des défauts locaux en saillie ou en creux, des nids de cailloux, etc.

Nota : les défauts en saillie peuvent être éliminés de différentes façons selon leur importance (ponçage, marteau burineur, bouchardage, rabotage, etc.). Les défauts en creux peuvent nécessiter la réalisation d'un enduit par ragréage avec une finition sur les bords dites « en queue de billard » afin d'éviter les biseaux défavorables à la tenue de l'enduit.

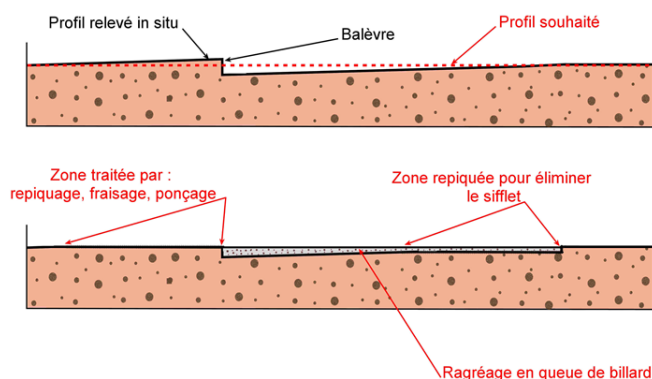


Illustration 1: Ragréage en queue de billard, Extrait de [2]

- travaux apprêt (application d'un bouche pores, surfacage, traitement éventuel du bullage, etc.),
- dépoussiérage et lavage à l'eau,

Nota : le tableau 32 du guide STRRES [3] donne les méthodes d'élimination du béton dégradé.

Préparation des produits

Les matériels ainsi que les temps de malaxage doivent permettre l'homogénéisation du mélange des composants.

Pour les produits monocomposants ou bi-composants sans charge ou faiblement chargés, le mélange se fait à l'aide d'agitateurs.

Pour les produits épais et consistants (micro-mortiers à base de liants hydrauliques par exemple), le mélange se fait dans des malaxeurs associés ou non à des machines à projeter.

La vitesse de rotation des agitateurs et des malaxeurs doit être faible pour éviter l'inclusion d'air dans le produit.



Illustration 2: Pompe à projection



Illustration 3: Mélange avec un agitateur

Application

Les produits sont mis en place par projection, pulvérisation ou manuellement (rouleau, brosse, taloche) selon la nature des produits et les surfaces à traiter et suivant les prescriptions du fabricant en tenant compte des quantités à mettre en œuvre.

REVÊTEMENTS

Revêtement à base de liants organiques	Revêtement à base de liants hydrauliques
<p>Application manuelle (brosse, taloche, rouleau) ou mécanique (adaptée aux grandes surfaces) :</p> <ul style="list-style-type: none">• pompes à haute pression pour la projection de produits pâteux,• pots à pression équipés de pistolets spéciaux possédant des buses de gros diamètre,• pistolets avec réservoir adapté fonctionnant par gravité,• etc.	<p>Application manuelle :</p> <ul style="list-style-type: none">• truelle «tyrolienne»,• brosse, taloche, rouleau pour les revêtements de type PCC. <p>Application mécanique (appareils pneumatiques en général) :</p> <ul style="list-style-type: none">• appareil de projection manuelle à air comprimé,• pot de pression avec pistolet adapté,• machines à projeter les mortiers par voie sèche ou mouillée.

IMPRÉGNATIONS HYDROPHOBES

Application manuelle (brosse, rouleau) ou mécanique (adaptée aux grandes surfaces) :

- pulvérisateur (basse pression),
- pistolet sans air en particulier pour les produits visqueux et/ou les surfaces importantes, etc.



Illustration 4: Application d'un revêtement au rouleau

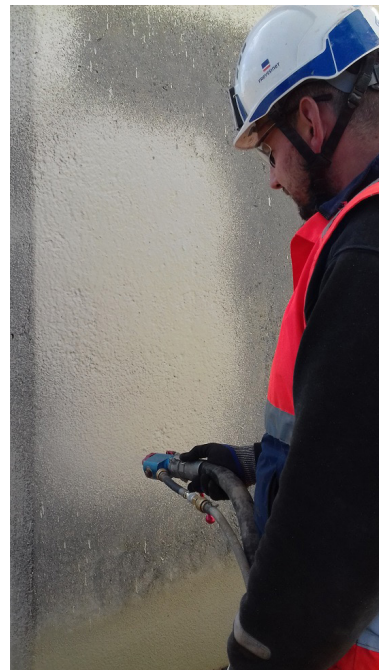
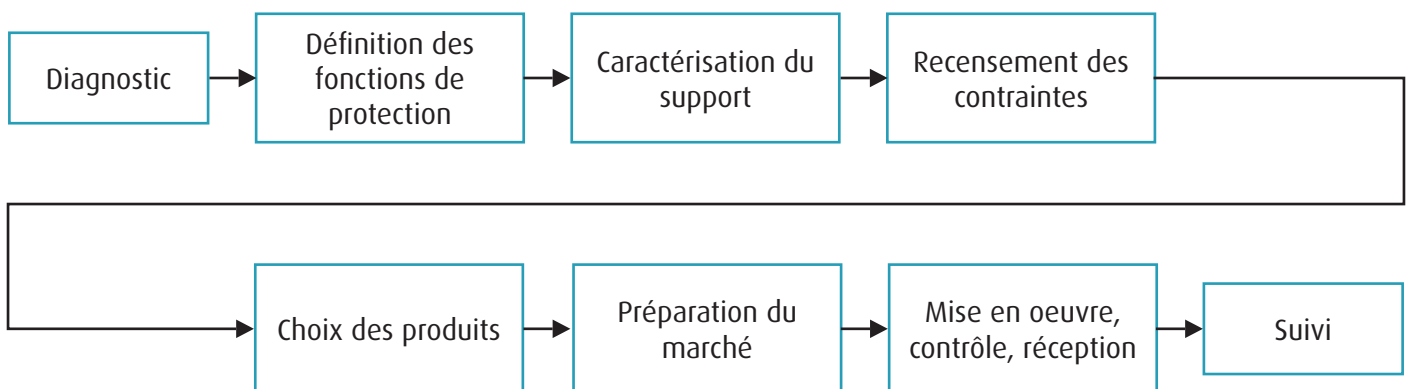


Illustration 5: Projection à la lance

Généralités

Le système de protection de surface doit être choisi à partir d'une évaluation spécifique selon un processus en plusieurs étapes :

- Évaluation des contraintes et des dégradations (réelles ou potentielles) du support
- Choix de la ou des fonctions auxquelles devra satisfaire le produit de protection de surface
- Sélection des produits appropriés permettant de satisfaire ces fonctions
- Définition des niveaux de performance attendue et des seuils correspondants



Recherche documentaire

La recherche documentaire est à 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, protection de surface existante, 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

L'évaluation visuelle est 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 [5]). Cet examen visuel est programmé lors de périodes propices à l'observation des désordres (horaires de marée permettant un examen rapproché des parements).

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 de l'opération d'entretien à réaliser.



L'évaluation visuelle doit permettre de s'assurer que la structure relève bien de travaux de protection de surface : absence de problème structurel, 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.

Si les désordres sont dus à des phénomènes mécaniques (chocs, abrasion), il pourra être nécessaire de compléter la réparation par la mise en place de protections (protection d'angles par cornière métallique, défenses par exemple).

En cas de désordres dus à un processus de corrosion avancé (éclatements de béton, armatures apparentes, fissuration le long des armatures), il convient de procéder à une reconstitution du béton d'enrobage (voir fiches aide-mémoire « Ragréage » et « Béton projeté ». Une protection de surface peut alors être envisagée en complément de réparation.

Diagnostic complémentaire

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

(Voir Article 2 et 3.1 Réf [1], [4])



Le diagnostic du support béton est un préalable obligatoire pour le choix d'un produit de protection de surface (détermination de diverses caractéristiques, listées ci-après)

Informations à disposer à l'issue du diagnostic :

• Porosité

La porosité favorise la présence d'humidité dans le béton ce qui peut être à l'origine de décollement ou de cloquage du produit. De plus, une porosité importante favorise l'absorption du produit au cours de son application et peut conduire (pour certains produits) à une réduction de son efficacité.

Porosité (%)	Produits
< 12	Toute famille possible, Vigilance sur la profondeur de pénétration des imprégnations hydrophobes
Entre 12 et 20	Imprégnation hydrophobe et/ou revêtement
> 20	Traitement préalable (couche de préparation, ragréage, injection)

• Taux d'humidité

Le taux d'humidité de la surface d'application a un effet défavorable sur l'adhérence du produit ainsi que sur sa tenue ultérieure (décollement, cloquage, effet du gel). Certains produits sont plus particulièrement adaptés à une mise en oeuvre sur support humide. Dans le cas des structures de génie civil en site maritime, la distinction doit donc être faite entre zones exposées aux embruns et zones de marnage (et d'éclaboussures).

• Alcalinité du support

Un pH élevé du béton support est défavorable à la bonne tenue dans le temps des produits de protection de surface. Un béton jeune (ou une réparation récente) présente en surface une forte alcalinité (pH de l'ordre de 13). Le pH diminue avec le temps sous l'effet de la carbonatation pour atteindre un pH de l'ordre de 9 en surface (valeur souhaitable en surface pour la bonne tenue des systèmes, tout particulièrement les peintures).

Réparation préalable du support	Age minimal du support avant application du produit de protection de surface
Béton traditionnel projeté ou coulé en place	1 à 2 mois
Béton ou mortier spécial de réparation au liant hydraulique modifié	1 à 3 semaines selon le produit de réparation

• Propreté du support

Les éventuelles huiles de décoffrage et produits de cure doivent être éliminés avant l'application du produit. Il en est de même des efflorescences, coulures de rouille et micro-organismes. Toutes ces souillures sont peu adhérentes à la surface et sont défavorables à la tenue dans le temps des produits.

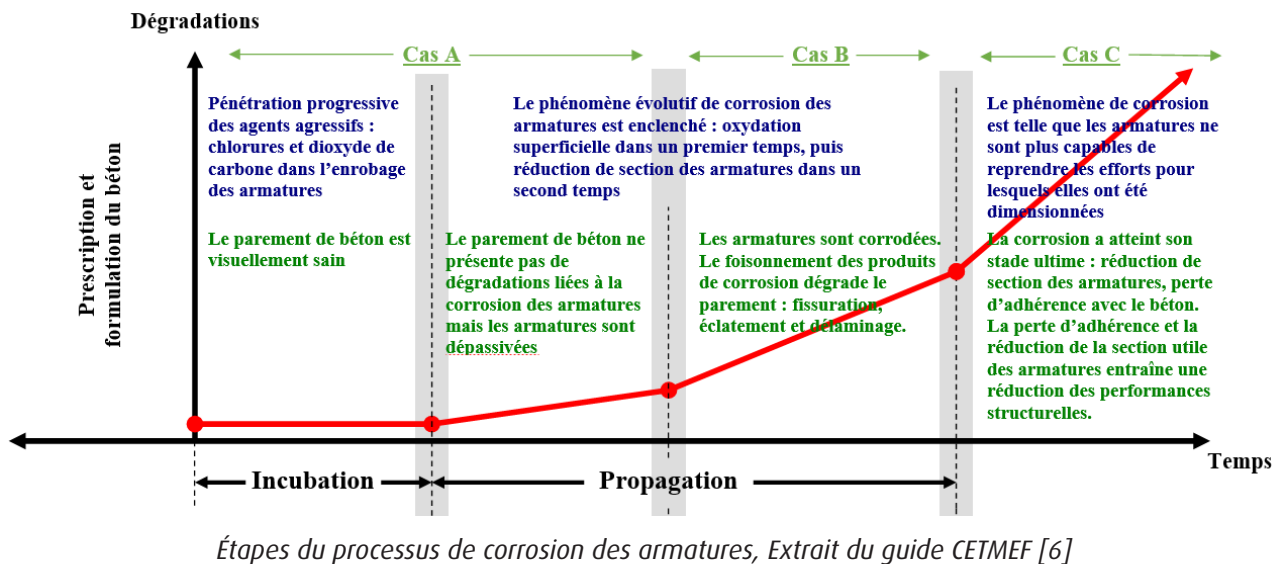
• Avancement du processus de corrosion

L'intérêt et la faisabilité de la mise en oeuvre d'un produit de protection de surface dépend de l'avancement du processus de corrosion. Dans le cas où la structure ne présente pas encore de désordres visibles de corrosion et que le gestionnaire souhaite étudier l'intérêt et la pertinence de l'application d'une protection de surface à titre préventif (limitation de la pénétration des chlorures avant qu'ils n'atteignent les armatures en quantité trop importante), la réalisation d'un diagnostic est indispensable.

Celui-ci permet de définir le stade d'avancement du processus de corrosion notamment en évaluant la pénétration des ions chlorures dans l'enrobage des armatures.

	Concentration en chlorures au niveau de la première nappe d'armatures (en % de chlorures par rapport au poids de béton)			Actions
	< 0,01 %	Entre 0,01 et 0,10 %	> 0,10 %	
Cas n°1	X			Aucune protection n'est nécessaire, sauf à titre préventif
Cas n°2		X		Ralentir la pénétration des chlorures supplémentaires à l'aide d'une protection de surface
Cas n°3			X	A étudier au cas par cas

L'application d'une protection de surface peut être pertinente dans le cas A (figure ci-après).



La situation du cas A (partie propagation) doit faire l'objet d'une attention particulière. En effet dans cette situation, la corrosion est possiblement amorcée. Il faut alors s'assurer que la protection de surface permettra bien de bloquer le processus de corrosion par assèchement progressif du béton d'enrobage et par limitation des entrées d'oxygène.

- Autres caractéristiques du support :
 - résistance à la compression,
 - cohésion de surface du béton,
 - planéité,
 - caractéristiques de la fissuration (activité, ouverture et souffle éventuel),
 - présence ou non d'un ancien revêtement,
 - pH de surface,
 - taux de bullage.
- Contraintes particulières :
 - conditions météo avant, pendant et après l'application,
 - conditions d'accès et de mise en œuvre,
 - orientation du parement (verticale ou horizontale),
 - en zone de marnage : plage de temps entre deux marées successives (immersion du produit peu de temps après son application), humidité du support.
- Pathologies particulières (alcali-réaction, réaction sulfatique interne, attaques chimiques, réaction sulfatique externe)

Un diagnostic particulier est à réaliser pour confirmer la pathologie et évaluer son intensité et son stade d'avancement. L'application d'une protection de surface peut ne pas être adaptée à la situation : efficacité limitée voire effet défavorable.

Choix de la protection de surface

L'offre commerciale pour les produits de protection de surface applicables sur béton en environnement maritime reste limitée aujourd'hui. Dans le panel des produits recensés, il ressort en grande majorité :

- des revêtements de type mortier hydraulique modifié par des polymères applicables en deux couches minimum. La plupart d'entre eux sont bi-composants. Ils sont applicables sur support humide (à refus) mais non ruisselant.

- dans une moindre mesure, des peintures époxydiques en phase aqueuse et des résines acryliques applicables sur support sec ou légèrement humide.
- de façon anecdotique, des imprégnations hydrophobes à base de polymères de type acryliques fluorés ou de résine silane/siloxane.

Exposition de la partie d'ouvrage à traiter, contexte	Produits à privilégier, recommandations, point de vigilance
Zone d'embruns et non exposées aux éclaboussures	Les produits de type imprégnation hydrophobe et revêtement peuvent convenir à une protection contre la pénétration des chlorures mais dans des plages d'efficacité très variable. Les revêtements sont à privilégier. Dans certains cas, des systèmes Duplex (imprégnation hydrophobe + revêtement) peuvent être envisagés.
Zone soumise à la condensation (sous-face de quais par exemple)	Les conditions de point de rosée peuvent conditionner le choix de certains produits. Les revêtements sont à privilégier.
Zone de marnage	Le choix d'un produit de protection de surface est plus délicat. En effet, les conditions d'humidité du support (humide à refus mais non ruisselant) orientent vers des produits de type revêtement (mortier hydraulique modifié par des polymères notamment). Cependant, la plupart de ces produits sont à appliquer en deux couches minimum et les délais de séchage et de recouvrement entre couches (fonction de la température et de l'humidité ambiante) peuvent être incompatibles avec le travail à la marée (selon les cas, ce délai peut être compris entre 2 et 48 heures).



A l'heure actuelle, compte-tenu de l'offre disparate, il convient dans la pratique, de mener une analyse au cas par cas pour sélectionner le produit approprié en fonction des critères suivants : conditions de températures et d'humidité de l'air, humidité du support, compatibilité des durées de séchage et de recouvrement avec le travail éventuel à la marée.

4 PRESCRIPTIONS À APPORTER AU CCTP

Chapitre 1 du CCTP : Consistance et description des travaux

(Voir PETRA – Réparation Réf [7])

Contexte climatique et environnemental

La classe d'exposition est une des données d'entrée pour spécifier un produit de protection de surface. Le CCTP indique donc les classes d'exposition XC et XS correspondantes à chacune des parties à traiter. Dans la plupart des cas, en milieu marin, on retient les classes XC4 et XS3.



Classes d'exposition de la norme NF EN 206/CN

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
XS3	Zones de marnage, zones soumises à des projections ou embruns. Éléments de structures marines
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
XC4	Alternance d'humidité et de séchage

Description de l'ouvrage

Le détail des structures faisant l'objet des travaux est à préciser :

- Nature de la structure (mur voile en béton armé, dalle en béton armé, mur poids en béton non armé ou faiblement armé, poutres sous dalle en béton armé, etc.)
- Divers : enrobage théorique, nature du béton, etc.
- En cas d'exposition au marnage : cotes marines caractéristiques (PHMA, PMVE, PMME, NM, BMME, BMVE, PBMA)
- Etat de la structure (mettre en annexe le rapport d'évaluation visuelle)
- Caractéristique du support (mettre en annexe le rapport de diagnostic)

Nature des travaux

Le CCTP précise l'objectif des travaux, avec les performances attendues des produits, en énumérant les principes retenus décrits par la NF EN 1504-2 [8]. Ces principes étant très génériques, il est aussi nécessaire de les compléter par les fonctions du guide d'application GA P18-902 [9] attendues.

Principes de la réparation :

Le CCTP précise les « principes » retenus, en fonction de la problématique considérée (corrosion des armatures, agression chimique, chocs/abrasion, gonflement interne).



Principes de réparation

L'application d'une protection de surface relève des « principes » 1, 2, 5, 6 et 8 définis dans la série des normes NF EN 1504 et plus particulièrement dans la norme NF EN 1504-9 [10] (voir tableau ci-après).

Principe de réparation	Méthode de réparation	Commentaires
Principes et méthodes relatifs aux défauts dans le béton		
Principe 1 – Protection contre toute pénétration	1.1 Imprégnation hydrophobe 1.3 Revêtements 1.4 Colmatage superficiel des fissures	Prévention contre les risques de corrosion des armatures
Principe 2 – Contrôle du taux d'humidité	2.1 Imprégnation hydrophobe 2.3 Revêtement	Prévention contre les risques de réactions de gonflement interne
Principe 5 – Augmentation de la résistance physique	5.1 Revêtement	Protection contre les chocs et abrasion
Principe 6 – Résistance aux produits chimiques	6.1 Revêtement	Protection contre les attaques chimiques (FD P18-011)
Principe et méthodes relatifs à la corrosion de l'armature		
Principe 8 – Augmentation de la résistivité	8.1 Imprégnation hydrophobe 8.3 Revêtement	Prévention contre les risques de corrosion des armatures

Tableau 1 - Principes et méthodes de réparation

Fonctions de la protection :

Le CCTP précise les fonctions et le niveau de performance attendus de la protection de surface en fonction de la problématique considérée.



Guide d'application GA P18-902 [9]

Il précise les modalités d'application de la norme NF EN 1504-2 [8] pour son utilisation dans le domaine de la protection des ouvrages de génie civil en béton. Il introduit la notion de « fonctions » (notamment la protection contre la pénétration des chlorures) qui complète la notion de « principes » très générique. Pour chaque fonction identifiée, le document spécifie les caractéristiques permettant de s'assurer de l'aptitude du produit à remplir sa fonction. Pour chacune de ces caractéristiques, le document précise les essais de caractérisation et les niveaux d'exigences recommandés.

Revêtements:

Fonctions		Description
Fonction principale de base	1	Protection contre la pénétration de l'eau, protection vis-à-vis de la vapeur d'eau, protection contre le gaz carbonique (carbonatation)
Fonctions principales optionnelles	2	Protection contre la pénétration des chlorures
	3	Protection contre l'écaillage de surface dû au gel/dégel + sel de déverglaçage.
	4	Résistance à la fissuration
	5	Résistance aux réactions de gonflement interne
Fonctions optionnelles complémentaires	6	Résistance au nettoyage à l'eau sous pression
	7	Résistance aux pressions d'eau

Imprégnations hydrophobes :

Fonctions		Description
Fonction principale	1	Protection contre la pénétration de l'eau liquide
Fonctions principales optionnelles	2	Protection contre l'écaillage de surface dû au gel/dégel + sel de déverglaçage.
	3	Protection contre la pénétration des chlorures

Quel que soit le produit et la problématique considérée, la fonction principale de base doit être satisfaite. Il convient tout de même de l'imposer dans le CCTP. Pour les ouvrages en milieu marin exposés à un risque de corrosion des armatures le CCTP impose en complément le respect de la fonction principale optionnelle « **Protection contre la pénétration des chlorures** ».

Selon le contexte et la présence éventuelle de fissuration ou de pathologies particulières (réaction de gonflement interne par exemple), le CCTP spécifie en complément des fonctions principales optionnelles « **Résistance à la fissuration** » et « Résistance aux réactions de gonflement interne ».

Suivant l'exploitation qui sera fait de l'ouvrage, la fonction optionnelle « **Résistance au nettoyage à l'eau sous pression** » est à spécifier si ce mode de nettoyage est envisagé.

Enfin, si des exigences esthétiques sont formulées par le gestionnaire, elles relèvent alors d'une « Fonction optionnelle complémentaire » à spécifier également dans le CCTP en précisant par exemple la couleur et la nuance attendue.

Niveau de performance :

Le CCTP fixe le niveau de performance attendue pour caractéristique du produit associée à la fonction attendue. Pour les ouvrages de génie civil en milieu marin, le niveau de performance est normalement **le niveau 2** (le plus élevé).

En milieu marin :

- Le phénomène de carbonatation est généralement limité. Il est donc légitime d'accepter un niveau 1 de performance pour la caractéristique « Perméabilité au CO₂ ».
- Compte-tenu de l'exposition, le béton est susceptible d'avoir une teneur en eau élevée. Il est donc recommandé de sélectionner un produit autorisant les échanges hydriques sous forme de vapeur. On privilégie donc une classe I ou II de perméabilité à la vapeur d'eau.
- Compte-tenu de la problématique de corrosion des armatures due à la pénétration des chlorures, un niveau 2 de performance vis-à-vis de la caractéristique « Diffusion des chlorures » doit être exigé.



Niveau de performance

Pour remplir ces fonctions, les produits doivent satisfaire différents essais pour vérifier :

- leur efficacité à s'opposer à la pénétration des agents agressifs (ici les chlorures) [**Performance du produit**],
- certaines de leurs caractéristiques indispensables (adhérence, résistance minimale à la fissuration, tenue au cloquage) pour qu'ils puissent remplir durablement leur fonction de protection [**Durabilité du produit**].

Pour chaque fonction et pour chaque propriété à caractériser, deux niveaux de performance sont définis :

- Niveau 1 : le moins élevé, correspond au niveau d'exigence de la norme NF EN 1504-2,
- Niveau 2 : le plus élevé), correspond au niveau d'exigence attendu pour les ouvrages de génie civil.

Pour chaque essai de caractérisation, des seuils de performance correspondants à ces deux niveaux sont spécifiés (voir ci-dessous).

Caractéristique	Méthode d'essai	Niveau de performance 1	Niveau de performance 2	Statut essai
Perméabilité au CO ₂	NF EN1062-6	SD ⁴ >50m	SD>300m	Obligatoire
Perméabilité à la vapeur d'eau	NF EN ISO7783-1 NF EN ISO7783-2	Classe I : SD ⁵ <5m (perméable à la vapeur) Classe II : 5<SD<50m Classe III : SD>50m (non perméable à la vapeur) Les classes sont à choisir en fonction de l'objectif recherché, et selon l'âge et l'humidité probable interne du support : - recherche d'un système s'opposant le plus possible à la pénétration de la vapeur d'eau (cas d'un ouvrage atteint de réaction de gonflement interne par exemple) : classe II voire III - recherche d'un système permettant de laisser plus facilement "respirer" le béton en cas d'humidité interne élevée : classe II ou I		Obligatoire
Absorption capillaire et perméabilité à l'eau	NF EN1062-3	w ⁶ ≤ 0,1 kg/m ² x h ^{0,5}	w ≤ 0,01 kg/m ² x h ^{0,5}	Obligatoire

Tableau 2: Exemple de caractéristiques associées à la fonction principale de base, Extrait du GA P18-902 [9]

Cas particulier de la fonction « Protection contre la pénétration des chlorures :

Il n'existe pas essai spécifique de pénétration des chlorures associé à cette fonction. L'exigence porte donc sur le résultat de l'essai d'absorption capillaire et de perméabilité à l'eau utilisé pour la fonction principale de base :

« Tout produit dont le résultat de l'essai de perméabilité à l'eau est $w < 0,01 \text{ kg/m}^2/\text{h}^{0,5}$ est réputé qualifié vis-à-vis de la protection contre la pénétration des chlorures. »



Compromis sur le niveau de performance :

La spécification systématique du niveau 2 de performance peut générer des incompatibilités par exemple : exigence d'un niveau 2 pour la fonction « perméabilité au CO₂ » (S_D CO₂) ou pour la fonction « perméabilité à l'eau » (w), alors qu'il faut conserver une certaine perméabilité à la vapeur d'eau (S_{D eau}) pour permettre les échanges hydriques avec le milieu extérieur.

Il faut donc noter que le choix du produit peut dans certains cas résulter d'un compromis entre la volonté de limiter les entrées d'eau et de chlorures ou de CO₂ venant de l'extérieur et celle de favoriser la transmission de vapeur d'eau vers l'extérieur pour éviter l'accumulation d'humidité interne.

Contraintes particulières imposées au chantier

Le CCTP décrit les parties à traiter en précisant les conditions de marnage 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, activités, taux d'occupation, 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,
- 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,
- 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.



Exigences environnementales :

L'entreprise doit fournir un Plan de Respect de l'Environnement (PRE), détaillant notamment les dispositions mises en place pour récupérer et traiter les déchets. 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

(Ref. [2], [8] et [9])

Produits de protection

Les produits utilisés et les contrôles effectués doivent être conformes et répondre aux spécifications de la norme NF P95-103.

La norme NF EN 1504-2 est une norme harmonisée qui permet le marquage CE des produits. Le niveau du système d'attestation de conformité 2+ doit donc être demandé.

Nota : Il n'existe pas de marquage NF pour les produits de protection de surface.

Le CCTP rappelle les fonctions attendues du produit (fonction principale de base, fonctions principales optionnelles, fonctions optionnelles complémentaires).

Le CCTP spécifie le niveau de performance (1 ou 2) pour chaque caractéristique associée aux fonctions attendues.

Le cas échéant, le CCTP définit les seuils (ou la classe de propriété) à respecter pour certaine caractéristique.

Dans le cas d'un revêtement, le CCTP spécifie un produit applicable en 2 couches minimum. En complément et afin de pouvoir bénéficier d'une durée de garantie plus importante (voir ci-après), le CCTP spécifie un produit d'épaisseur finale supérieure à 300 µm.

Exemple de prescription d'un revêtement pour un parement de quai en zone de marnage avec une fissuration non active d'ouverture inférieure à 0,3 mm et ne présentant pas de venue d'eau :

Fonction	Caractéristique	Niveau de performance	Seuil
Fonction principale de base :			
Protection contre l'eau, la vapeur d'eau, le gaz carbonique	Perméabilité au CO ₂	1 ou 2 (*)	S _D > 50 m ou S _D > 300 m (*)
	Perméabilité à la vapeur d'eau	Classe I ou II (**)	S _D < 5 m ou S _D < 50 m (**)
	Absorption capillaire et perméabilité à l'eau	2	w < 0,01 kg/m ² /h ^{0,5}
	Adhérence et compatibilité thermique	2	> 1,5 Mpa Absence de cloquage, de fissuration et de décollement
Fonctions principales optionnelles :			
Protection contre la pénétration des chlorures	Diffusion des ions chlorures	2	w < 0,01 kg/m ² /h ^{0,5}
Fonctions optionnelles complémentaires :			
Résistance au nettoyage à l'eau sous pression	Résistance au nettoyage à l'eau sous pression	2	Pas de décollement, pas d'usure et résistance à l'essai d'adhérence

(*) L'utilisation d'un produit ayant un niveau de performance 2 peut limiter la diffusion de la vapeur d'eau vers l'extérieur

(**) En milieu marin, compte-tenu de l'humidité du support, il convient dans la plupart des cas de rechercher un produit permettant de laisser plus facilement « respirer » le béton. Un produit de classe III, en limitant la diffusion de la vapeur d'eau vers l'extérieur, risque d'enfermer de l'humidité au sein de la structure et de provoquer la formation de cloques.

Exemple de prescription d'une imprégnation hydrophobe pour un parement de quai en zone d'embruns sans fissuration (dans le cas d'un système « Duplex » par exemple) :

Fonction	Caractéristique	Niveau de performance	Seuil
Fonction principale de base :			
Protection contre l'eau, la vapeur d'eau, le gaz carbonique	Profondeur de pénétration	2	Classe II (> 10 mm)
	Absorption d'eau et résistance aux alcalis	2	Absorption < 7,5 % (comparaison avec éprouvette non traitée) Absorption < 10 % (après immersion dans une solution alcaline)
	Taux de dessiccation	2	Classe I (> 30%)
Fonctions principales optionnelles :			
Protection contre la pénétration des chlorures	Diffusion des ions chlorures	2	w < 0,01 kg/m ² /h ^{0,5}



Certification ACQPA « Revêtement par peinture des bétons de génie civil »

Le règlement particulier de la Marque ACQPA « Revêtement par peinture des bétons de génie civil » décrit les processus de certification et les dispositions particulières pour la maîtrise de la qualité en termes de production en usine, de suivi de conformité et de marquage associé.

Le référentiel se base sur :

- les spécifications de la norme NF EN 1504-2 relatives aux principes suivants :
 - Protection contre les risques de pénétration
 - Contrôle de l'humidité
 - Augmentation de la résistivité
- des exigences du guide d'application GA P18-902 (niveau de performance 2)

Cette certification s'applique notamment aux ouvrages maritimes (parties émergées et zones de marnage uniquement) en travaux neufs ou de maintenance en réfection complète.

Trois classes de certification sont définies en fonction des classes d'exposition de la norme EN 206 et des épaisseurs sèches nominales minimales des produits, selon le tableau ci-dessous :

Classes de certification	Classes d'exposition des structures en béton selon la norme NF EN 206	Épaisseurs sèches nominales minimales des systèmes de peinture (μm)
B-300	X0, XC1, XC3, XC4, XD1, XF1	300
B-500	XD2, XF2, XF3, XS1, XD3	500
B-1000	XF4, XS3	1000

Pour les ouvrages en environnement marin (XS3), les produits relèvent de la classe de certification B-1000 avec une épaisseur sèche nominale minimale de 1000 μm .

La certification est récente (2017) et très peu de produits sont certifiés à l'heure actuelle dans cette classe de certification.

Chapitre 4 du CCTP : Mode d'exécution des travaux

(Ref. NF P95-103 [2])

Préparation du support



Un relevé contradictoire de l'état du support doit être effectué en début de chantier.

Les désordres structurels ou les désordres évolutifs concernant les matériaux (cas de la corrosion des armatures du béton armé par exemple) doivent avoir fait l'objet de réparations préalables (traitement de fissures, reconstitution de béton d'enrobage) (voir fiches aide-mémoire correspondantes).

Le CCTP exigera que la préparation des zones à traiter soit réalisée conformément à l'art 6.3.2.1 de la Norme NF P95-103, notamment :

- Nettoyage général pour enlever toutes les algues et mollusques,
- Identification par sondage au marteau et purge des zones décollées,
- Élimination de toute trace de laitance,
- Traitement des défauts locaux de forme en saillie ou en creux, des nids de cailloux et angles trop vifs,
- Suppression de tout suintement ou venue d'eau,
- Travaux d'apprêt (application de bouche pores, surfacage, etc) si nécessaire,
- Lavage à l'eau claire en zone de marnage et d'aspersion.

Matériel pour la préparation et la mise en œuvre des produits

Le CCTP peut imposer que les équipements de préparation des produits disposent de cuves de stockage et d'entretien pour éviter la décantation et permettre de respecter la durée de mûrissement des produits.

Les performances et la durabilité des revêtements sont directement liées au respect et à la maîtrise de l'épaisseur appliquée. Le CCTP peut donc spécifier une application par projection qui donne une épaisseur plus régulière que l'application au rouleau ou à la brosse.

Mise en œuvre

Imprégnation hydrophobe :	En cas de risque d'exposition au vent, le CCTP peut imposer l'utilisation de produits sous forme de crème plutôt que des produits sous forme liquide. Produits sous forme de crème : Application en une à deux couches selon la compacité du béton Produits sous forme liquide : Application en 2 à 4 passes selon la compacité du béton.
Revêtement :	Le CCTP doit imposer l'application en 2 couches minimum avec un rinçage à l'eau claire préalable à l'application des couches successives. Lorsque de l'eau (pluie, eau de mer) peut ruisseler sur un élément revêtu, le CCTP doit imposer la mise en place des dispositifs empêchant l'eau de contourner le revêtement et de s'infiltrer entre celui-ci et le support (larmier, couverture, etc).
Système Duplex (Imprégnation hydrophobe + revêtement) :	Les temps d'attente minimal et maximal entre l'application de l'imprégnation hydrophobe et celle du revêtement doivent évidemment être respectés. Au delà du délai maximal, une préparation du support supplémentaire doit être effectuée avant d'appliquer un revêtement de protection.



Il est impératif de respecter les dispositions des Fiches Techniques Produits (FTP) :

- stockages,
- mode de préparation,
- matériel et méthodes d'application,
- épaisseurs des couches,
- temps de séchage ou de durcissement entre les couches,
- températures et hygrométrie (support, ambiance) temps de séchage entre couches,
- Temps d'Utilisation du Produit (TUP).

Garanties

Les produits de protection de surface étant destinés à augmenter la durabilité des ouvrages (notamment vis-à-vis de la corrosion des armatures), le contrat doit inclure une garantie particulière spécifique.

(Ref. NF P95-103, Annexe D [2])

Pré-requis indispensables :

- avoir fixé dans le contrat les fonctions principales de base, les fonctions principales optionnelles et les fonctions optionnelles complémentaires à satisfaire ainsi que les niveaux de performance (2 dans la mesure du possible) et le niveau d'attestation de conformité (2+),
- avoir décrit de manière détaillée l'état de l'ouvrage et son évolution probable (par exemple : risque de corrosion des armatures due à la pénétration des chlorures) (importance du diagnostic préalable),
- avoir défini de manière contradictoire un état de référence de l'ouvrage (réalisation d'un point zéro sur des zones témoins représentatives (celles des épreuves de convenance par exemple) qui permettra de juger de l'efficacité des produits.

Dans ces conditions, la mise en jeu des garanties peut s'appuyer sur une démarche « performantielle » consistant à réaliser des mesures de suivi sur ces mêmes zones témoins et à les comparer aux mesures initiales pour contrôler le bon fonctionnement des protections vis-à-vis des fonctions exigées.

Cas des revêtements :

Le produit peut subir des dommages apparents (décollements, pelages, cloquages, écaillages ou fissures) faciles à constater visuellement. Il est donc possible d'introduire, en complément de la démarche « performantielle », des durées de garanties les concernant.

Cas des imprégnations hydrophobes :

L'éventuelle défaillance de la protection ne se traduit pas par des désordres de surface visibles.

Type de système de protection		Différentes composantes de la garantie				
		Fonction(s) principale(s) exigée(s)	Décollements, pelages, cloquage et écaillages	Résistance à la fissuration	Esthétique (fonction optionnelle complémentaire)	
			Ces phénomènes rendent la protection inapte à remplir les fonctions exigées		Uniformité de la couleur	Constance de la couleur
Imprégnation hydrophobe		10 ans	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Revêtements	Épaisseur inférieure à 150 µm	2 ans	2 ans	Sans objet	5 ans	3 ans
	Épaisseur comprise entre 150 µm et 300 µm	5 ans	5 ans	Sans objet	5 ans	3 ans
	Épaisseur supérieure à 300 µm	8 ans ou 10 ans	8 ans ou 10 ans	8 ans ou 10 ans	5 ans	3 ans

Tableau 3: Durées de garantie possibles, extrait de la norme NF EN 95-103 [2]

Procédures de contrôle pour la fonction « Protection contre la pénétration des chlorures » (revêtements, imprégnations et systèmes « Duplex ») :

La protection mise en œuvre doit empêcher toute augmentation significative de la teneur en chlorures dans l'épaisseur d'enrobage des armatures. Cette teneur en chlorures doit avoir été mesurée juste avant la mise en œuvre du produit de protection et doit être mesurée dans le temps pour s'assurer que la protection reste efficace. La démarche s'appuie sur la réalisation de profils de pénétration des chlorures à partir de prélèvements effectués dans la structure dans des zones représentatives et saines.

L'efficacité de la protection apportée par le produit de protection appliqué s'apprécie en comparant les quantités cumulées de chlorures de chaque profil avant son application et au moment du contrôle de son efficacité.



Les exigences en termes de garanties sont à indiquer dans le CCAP (Cahier des Clauses Administratives Particulières).

5 CONTRÔLES DES TRAVAUX

Généralités

Le marché précise les dispositions particulières propres au chantier qui viennent en complément des exigences de l'art. 7 de la norme NF P95-103 pour les essais et contrôles à réaliser lors des phases suivantes :

- épreuve d'étude,
- réception des produits,
- épreuves de convenue,
- contrôles d'exécution des travaux,
- réception des travaux.

Le Plan Qualité de l'entreprise (PAQ) précise pour chaque phase :

- ce qui relève des contrôles intérieurs (internes, externes) et extérieurs,
- les essais et contrôles à réaliser (nature, fréquence, référentiel),
- les moyens et méthodes de contrôle,
- les conditions d'acceptation des contrôles et des épreuves,
- la liste des points critiques et d'arrêt.

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

- Validation du PAQ, du PRE, de l'épreuve d'étude et des procédures d'exécution => Autorisation de procéder à l'épreuve de convenue
- Validation de l'épreuve de convenue (vérification de l'adéquation des moyens mis en œuvre par l'entreprise pour exécuter l'ensemble de l'opération : qualification, produits, matériels, fabrication, techniques, qualité de parement)
- Validation, réception du support => Autorisation de mettre en œuvre le produit
- Réception des travaux

Épreuves d'études

Les produits conformes aux normes de la série des normes NF EN 1504 ne font normalement pas l'objet d'une épreuve d'étude, sauf s'ils sont mis en œuvre dans des conditions ou soumis à des milieux agressifs particuliers qui ne correspondent pas à ceux fixés par les normes.

Épreuves de convenances

Le marché fixe le contenu des épreuves de convenances à réaliser afin de valider le choix des produits, la préparation du support, la fabrication des produits, leur mise en œuvre et la qualification du personnel.



L'épreuve de convenance doit faire l'objet d'un programme détaillé dans le cadre de la procédure d'exécution établie par l'entreprise.

Les essais réalisés sont effectués :

- sur une zone représentative (accessibilité, exposition, état du support) et de surface appropriée pour pouvoir servir de référence par la suite,
- dans des conditions météorologiques représentatives par rapport à celles qui seront rencontrées pendant les travaux,
- dans des conditions d'accessibilité et d'exécution comparables à celles des futurs travaux (travail à la marée notamment),
- avec le matériel et le personnel qualifié du chantier.

Le CCTP doit imposer d'une manière générale que, lors de ces épreuves, soient vérifiés l'approvisionnement et le stockage des produits, le matériel de préparation et d'application, la qualification du personnel désigné par l'entreprise, la fabrication, la préparation du support, la mise en œuvre et l'enregistrement des conditions météorologiques.

Cas des revêtements :

Lors des épreuves de convenance, les points suivants sont vérifiés :

- l'absence ou la présence d'humidité (selon la nature du produit, voir FTP),
- l'adéquation des conditions météorologiques pendant l'application et le séchage du produit :
 - Température du support : $> T(\text{point rosée}) + 3^{\circ}\text{C}$, comprise dans les limites d'utilisation du produit (voir FTP),
 - Température de l'atmosphère ambiante comprise dans les limites d'utilisation du produit (en général entre 5 et 30°C, voir FTP),
 - Hygrométrie relative comprise dans les limites d'utilisation du produit (voir FTP),
- le respect du protocole de fabrication (dosage et ordre d'incorporation des constituants, temps de malaxage, etc.), l'homogénéité des produits mélangés,
- le respect du mode de mise en œuvre : nombre de couches, temps d'attente entre couches, consommation par m², épaisseurs de couches humide (utilisation de jauge à peigne ou de roue dentée définies dans la norme NF T 30-125),
- la validation des paramètres de la machine de projection éventuelle (pression, type de diamètre de la buse, débit, etc.),
- la bonne tenue du produit frais suivant l'orientation des surfaces (couleur sur parement vertical par exemple),
- les caractéristiques du produit après séchage ou durcissement :
 - dureté shore D (NF EN ISO 868) pour les produits polymérisables,
 - adhérence au support et cohésion entre couches (essai de traction direct (NF EN 1542) ou de quadrillage (NF EN ISO 2808) (validation du mode de rupture et de la valeur d'adhérence),
 - épaisseur du feuil sec (plusieurs méthodes possibles),

- La compatibilité des différents produits en cas d'utilisation préalable d'une imprégnation hydrophobe (cas des systèmes « Duplex » (par la réalisation d'essais d'adhérence par exemple).

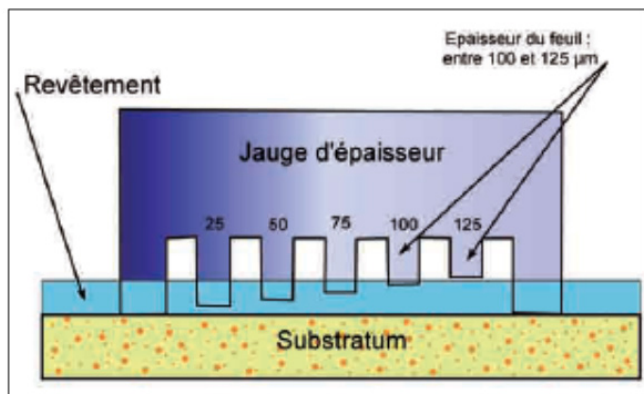


Illustration 6: jauge à peigne pour la mesure d'épaisseur humide



Illustration 7: Dynamomètre pour la mesure de l'adhérence

Cas des imprégnations hydrophobes :

Lors des épreuves de convenance, les points suivants sont vérifiés :

- Le respect du mode de mise en œuvre manuelle, projection, etc,
- la consommation par m²,
- le nombre de passes ou de couches pour obtenir une profondeur de pénétration suffisante,
- la profondeur de pénétration.



Profondeur de pénétration d'une imprégnation hydrophobe

La profondeur de pénétration dépend des caractéristiques du béton support (porosité, saturation en eau, etc.), de la classe du produit d'imprégnation hydrophobe (classe I ou II) ainsi que de la quantité appliquée en tenant compte du nombre de passes.

Environnement de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage	Profondeur de pénétration mesurée sur béton in-situ	Classification de la profondeur de pénétration de l'imprégnation hydrophobe en fonction de la norme NF EN 1504-2
Zone de marnage	≥ 6mm	Classe II
Ambiance maritime Surfaces soumises à des projections Gel dégel avec sels de déverglaçage	≥ 5mm	Classe II
Autres environnements	≥ 3mm	Classe I ou II

Tableau 4: Profondeur minimale à atteindre pour des bétons de classes de résistance inférieures à C40/50, Extrait du GA P18-902

La mesure de profondeur de pénétration est effectuée sur des échantillons prélevés par carottage. L'essai est réalisé environ 28 jours après l'application du produit d'imprégnation hydrophobe. Il consiste à asperger d'eau le faciès de rupture d'une carotte fendue. L'épaisseur de zone sèche est considérée comme étant la profondeur effective d'imprégnation.



Les zones traitées lors des épreuves de convenue doivent être conservées pour servir de référence dans le cadre du suivi de chantier et des garanties contractuelles. Elles pourront également faire l'objet d'un suivi particulier dans le cadre de la gestion de l'ouvrage (évaluation de l'impact de la protection de surface sur la pénétration des chlorures par exemple dans le cas d'une problématique de corrosion des armatures).

Dans le cadre des garanties contractuelles et de l'éventuel suivi ultérieur, les épreuves de convenue doivent être complétées par la réalisation de profils de pénétration des chlorures avant l'application du produit.

Réception des produits

Elle relève du contrôle interne de l'entreprise. Son but est de vérifier que :

- les produits livrés sont conformes au produit agréé par le maître d'œuvre,
- les conditions de transport et de stockage sont conformes aux indications du fabricant (voir FTP).

Le CCTP doit prévoir la réalisation de prélèvements conservatoires (essais d'identification rapide et de performance en cas de doute ou de problème de chantier).

Contrôles d'exécution

Ils comprennent à la fois :

- 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.

Les contrôles d'exécution sont sélectionnés de façon pertinente parmi ceux effectués lors de l'épreuve de convenue. Le plan de contrôle contractuel fixe la teneur et les fréquences des contrôles.

Lexique

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

Subjectile : Surface sur laquelle l'applicateur met en œuvre une couche de protection.

TUP : Durée pendant laquelle le produit est applicable conformément aux prescriptions du fabricant, dans les conditions du chantier

Contacts Cerema Ouest

Agence de Saint-Brieuc

- Michel Menguy - Groupe Ouvrages d'Art et Maritimes - michel.menguy@cerema.fr
- Benoit Thauvin - Groupe Ouvrages d'Art et Maritimes - benoit.thauvin@cerema.fr



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