

## **REMARQUE PRÉLIMINAIRE**

*La FEREB considère que chaque utilisateur de ce texte (architecte, ingénieur ou fonctionnaire habilité) s'est assuré, par un diagnostic préalable comme le stipule la norme EN 1504, que la dégradation est effectivement due à une action des chlorures (accompagnée ou non de carbonatation), et non à une autre cause comme RAS (Réaction Alkali Silice), sulfatation, surcharge, formation de fissures, attaque chimique, effet thermique, érosion, incendie, etc.*

*La FEREB considère également que chaque utilisateur mentionné ci-dessus s'est assuré qu'il n'y a aucun problème de stabilité lors de l'exécution de la réparation. Au moindre doute concernant les caractéristiques structurelles de la structure existante ou d'un élément de celle-ci, il est souhaitable de procéder à une étude de stabilité par une personne compétente.*

*Enfin, la FEREB considère qu'une réparation locale du béton carbonaté ou chloré devra être complétée, dans la plupart des cas, par l'application sur l'élément ou la construction d'un coating freinant globalement la carbonatation, si l'on désire éviter à terme d'autres dégradations du béton.  
(cfr le texte neutre de FEREB sur les réparations de béton carbonaté).*

*Le présent cahier des charges établi par FEREB est conforme à la norme EN 1504.*

*La FEREB met gratuitement ce cahier des charges à la disposition de chaque utilisateur mentionné ci-dessus, mais ne porte pour cela aucune responsabilité étant donné qu'elle n'a aucun contrôle quant à l'utilisation appropriée de ce texte.*

*Version I de avril 2011*

*Recommandations:*

*Le traitement des dommages  
dus aux chlorures*

*Avril 2011*

*Composition du groupe de travail :*

Guido Van der Borgh (FEREB)  
Bram Doods (CSTC)  
Josse Jacobs (CSTC)  
Benny Broekaert (BCCA)  
Dirk Peereман (BCCA)  
Ivan Kinne (SECO)  
Michèle Cuypers (SPW)  
Pascal Dekesel (MOW)  
Hugo Wildemeersch (ABG)  
Karen Verfaillie (ABG)

## SOMMAIRE

### **A RECOMMANDATION**

<b>I</b>	<b>SUJET</b>	<b>3</b>
<b>II</b>	<b>RISQUE DE DOMMAGES DUS AUX CHLORURES</b>	<b>3</b>
	1 ORIGINE DES CHLORURES	3
	2 DÉTERMINER LA PRÉSENCE DE CHLORURES	5
<b>III</b>	<b>TRAITEMENT DES DOMMAGES DUS AUX CHLORURES</b>	<b>7</b>
	1 EXAMEN PRÉLIMINAIRE	7
	2 TRAITEMENT	7
	3 REMARQUES COMPLÉMENTAIRES	9
<b>IV</b>	<b>CONCLUSIONS</b>	<b>11</b>
	1 EXAMEN PRÉLIMINAIRE	11
	2 MÉTHODE DE RÉPARATION EN FONCTION DE LA TENEUR EN CHLORURES	11
	3 COMMUNICATION	11

### **B ANNEXES**

#### **B.1 PHOTOS**

#### **B.2 EXAMEN DES DOMMAGES DUS AUX CHLORURES**

#### **B.3 TRAITEMENT DES DOMMAGES DUS AUX CHLORURES**

## I SUJET

Ces recommandations concernent les cas spécifiques de dommages dus aux chlorures sur les constructions en béton. Les chlorures peuvent être présents en concentrations différentes dans le béton. Ils peuvent s'introduire de diverses manières. Selon la quantité de chlorures présents et le contexte spécifique (environnement, durée de vie prévue, l'enrobage de béton,...), différentes méthodes de traitement sont recommandées.

Les dégâts occasionnés au béton par les chlorures exigent une approche spécifique, puisque ce type de détérioration diffère fortement d'une détérioration du béton due à la carbonatation. Les détériorations dues aux chlorures se caractérisent par une attaque locale (piqûres de corrosion aux armatures). Ces attaques locales importantes du ferrailage peuvent compromettre la stabilité à relativement court terme. Par ailleurs, cette attaque se caractérise par des dégâts peu visibles, avec le risque qu'on n'y prête pas l'attention que cette problématique mérite. Il peut déjà y avoir des dégâts internes considérables avant que ceux-ci ne se manifestent à la surface.

Dans la même construction, les concentrations en chlorures peuvent varier suite à une composition de béton et/ou un degré d'exposition différent (exemple la combinaison de préfabriqué / coulé sur place, fuites,...). On constate une série d'endroits préférentiels pour les chlorures, tels des éléments préfabriqués anciens (accélérateurs de prise), les zones proches des orifices d'évacuation d'eau ainsi que les endroits où se produit la condensation dans les conduits d'air (tirage naturel ou pulsé).

De plus, la présence d'oxygène et d'eau jouent un rôle important dans le processus de corrosion.

Enfin, on remarque que la présence de chlorures dans le béton peut entraîner des dommages récurrents, même après une remise en état approfondie et soignée du béton. Il est donc fortement recommandé de vérifier s'il y a un risque d'attaque par des chlorures afin d'éviter à terme des malentendus avec le maître d'œuvre.

## II RISQUE DE DOMMAGES DUS AUX CHLORURES

### 1. ORIGINE DES CHLORURES

L'origine des chlorures dans le béton peut se répartir en deux grandes catégories: les chlorures d'incorporation et les chlorures de migration.

#### *1.1 Chlorures d'incorporation*

Les chlorures peuvent être incorporés au béton par l'utilisation de matières premières polluées (extraites de la mer). Une deuxième cause dans les anciennes constructions en béton réside dans l'utilisation d'adjuvants à base de chlore (par ex.  $\text{CaCl}_2$  comme accélérateur de prise). Aujourd'hui, cette technique est cependant interdite par la norme européenne NBN EN 206-1 : 2001 et son complément belge NBN B15-001 : 2004.

Des valeurs limites sont imposées à la teneur en chlorures<sup>1</sup> du (nouveau) béton non carbonaté. La norme européenne NBN EN 206-1 prévoit deux catégories de chlorures pour le nouveau béton armé avec des valeurs maximales de teneur en chlorures de 0,2% et 0,4% par rapport à la masse de ciment. Par défaut, la norme complémentaire belge NBN B15-001 (2004) ne tient compte que d'une valeur limite: 0,4% par rapport à la masse de ciment (béton armé). La teneur en chlorures du béton non-armé peut atteindre 1% ( $m/m_{\text{ciment}}$ ). Pour le béton précontraint, la valeur limite s'élève à 0,2% ( $m/m_{\text{ciment}}$ ).

---

<sup>1</sup> Dans ce document le terme teneur en chlorures se réfère au pourcentage de chlorures par rapport à la masse de ciment ( $m/m_{\text{ciment}}$ ).

## 1.2 Chlorures de migration

Les chlorures peuvent également migrer de l'extérieur vers l'intérieur du béton. La pénétration des chlorures dépend de plusieurs facteurs: la qualité du béton (composition, exécution, post-traitement, ...), les conditions ambiantes, les mesures de protection éventuelles et la fréquence d'exposition.

La teneur en eau du béton est un facteur important de sa capacité d'absorption. Il en est tenu compte dans les différentes classes d'exposition qui seront examinées ci-dessous.

Une distinction peut être faite entre les différentes origines (NBN EN 206-1):

### 1. Constructions maritimes

Les constructions à proximité de la côte sont soumises à l'action des chlorures vu la teneur élevée en chlorures de l'eau de mer. Les chlorures peuvent être transportés aussi bien par l'eau de mer que par l'air marin.

La norme européenne NBN EN 206-1 ajoute encore une distinction aux classes environnementales entre les constructions en béton à la côte ou à proximité (sel dans l'air – XS1), les constructions maritimes sous eau (humides en permanence – XS2) et les constructions maritimes dans les zones de marées, de projections et d'embruns.(XS3)

### 2. Constructions autres que maritime

- Sels d'épandage (XD3)

L'eau projetée contenant du sel d'épandage peut entraîner des dégâts dus aux chlorures aux piles des ponts, aux points bas des tabliers de pont et aux piedroits et toits des tunnels. Les dégâts occasionnés aux piles se situent dans la zone de projection. En ce qui concerne les tabliers, les dégâts se produisent essentiellement à l'endroit des joints et / ou des orifices d'évacuation d'eau défectueux.

- Piscines (XD1 - XD2)

Pour des raisons d'hygiène, l'eau des piscines contient toujours une certaine quantité de chlore. Si l'étanchéité est défectueuse, les parois et/ou fond de la piscine peuvent être attaqués de manière significative par les chlorures. Les structures en béton qui ne sont pas directement en contact avec l'eau de piscine peuvent être altérées.

*Remarque:* cet effet est encore renforcé dans les piscines où l'on utilise de l'eau de mer, dans laquelle il y a déjà des chlorures.

- Processus de production (XD2)

Le chlore est utilisé dans différents processus de production, notamment dans les processus de blanchiment (par ex. papier), de saumurage des aliments (par ex. le fromage), de traitement de l'eau industrielle (notamment l'eau de refroidissement des tours de refroidissement), etc.

La différence de concentration en chlorures à l'intérieur et à l'extérieur du béton peut déclencher une migration des chlorures dans le béton. Le même phénomène peut se manifester dans les installations de stockage en vrac.

- Produits de nettoyage (XD2)

En raison de son caractère désinfectant, le chlore est intégré dans plusieurs produits de nettoyage (notamment l'eau de Javel). Une utilisation intensive (dans le nettoyage industriel notamment) peut entraîner une pollution du béton par les chlorures.

## 2. DETERMINATION DE LA PRESENCE DE CHLORURES

### ***2.1 Description du processus de corrosion en présence de Cl***

Les dégâts dus aux chlorures se voient à peine à la surface. Cependant, il y a quelques signes qui peuvent indiquer une attaque de l'armature. Les dégâts visuels les plus importants sont les taches de rouille apparentes. Elles sont la conséquence de la corrosion par piqûres de l'armature, qui donne lieu à une diminution de section de l'acier. Ces taches de rouille apparentes ne doivent cependant pas être confondues avec les taches de rouille qui peuvent apparaître sur des éléments comprenant de la pyrite ou par des fils de ligatures—*voir Annexe B.1 Photos*—.

Des fissures avec dépôt de rouille indiquent une attaque par les chlorures.

Il y a une série d'endroits préférentiels pour les chlorures – *voir Annexe B1 Photos*—, tels des éléments préfabriqués anciens (accélérateurs de prise), les zones proches des orifices d'évacuation d'eau ainsi que les endroits où se produit la condensation dans les conduits d'air (tirage naturel ou pulsé).

Si l'armature peut être examinée, les dégâts dus aux chlorures se reconnaissent à une corrosion par piqûres. Il est possible que seule une partie de l'armature soit concernée par une attaque. Dans les cas graves, l'armature est complètement corrodée.

Il est important de savoir que la pollution par les chlorures peut se produire sur n'importe quelle partie de la construction. Même si une construction ne fait pas partie des zones à risques mentionnées ci-dessus, des tests de teneur en chlorures sont recommandés. Peut-être s'agit-il de chlorures pré-mélangés, ou y a-t-il eu une exposition aux chlorures dans le passé.

L'armature supérieure des dalles de balcon requiert une attention spécifique. Cette armature fonctionne comme armature de traction et assure par conséquent la stabilité de l'élément en béton. Toutefois, lors d'une attaque par les chlorures, ces dégâts seront souvent invisibles à cause du revêtement de surface.

En raison du risque précité et du fait que les dégâts internes restent longtemps invisibles (surtout avec un épais enrobage de béton), il est nécessaire de déterminer quantitativement la teneur en chlorures au moyen de tests en laboratoire.

Des essais devront être réalisés sur différents échantillons de béton, prélevés à différents endroits. Comme signalé avant, la pollution par les chlorures peut varier d'un élément à l'autre (selon la composition du béton et son degré d'exposition). De plus, la corrosion peut dans certains cas, être un phénomène local.

### ***2.2 Essais***

#### *Détermination de la teneur en chlorures*

La teneur en chlorures peut être déterminée de plusieurs manières : par photométrie, un titrage potentiométrique, mesure aux électrodes (RCT) ou estimée au moyen d'un kit de chantier. Les mesures se font sur des échantillons prélevés directement (par ex. forage) ou obtenus par écrasement de morceaux. Les échantillons prélevés doivent être représentatifs. Lors d'une prise d'échantillons par forage, la mèche doit avoir un diamètre de 20 mm au minimum. Pour être représentatif, chaque échantillon doit avoir un poids minimum de 20 g.

Lors du forage dans des éléments pré-contraints, il y a lieu de veiller à ne pas endommager l'armature. Le nombre d'essais, la localisation de ceux-ci et les profils escomptés de chlorures, font partie de l'analyse préliminaire.

La teneur en chlorures est surtout importante au niveau des armatures. En plus, il est important de la déterminer à différentes profondeurs pour pouvoir vérifier si les chlorures pénètrent ou non de l'extérieur.

Pour définir un profil de concentration en chlorures, on peut soit forer à différentes profondeurs, soit prélever une carotte que l'on scie en tranches. Cette dernière solution présente le risque d'une dispersion des sels (par l'eau de refroidissement).

Les teneurs en chlorures peuvent varier sur les différentes parties de la construction (exemple préfabriquée / coulée sur place). Il est donc très important de répartir les prélèvements de manière judicieuse et de bien choisir les localisations.

Toutes les méthodes sus-mentionnées donnent pour résultat le pourcentage de chlorures par rapport à la masse de béton. Ces pourcentages peuvent être convertis en pourcentage par rapport à la masse de ciment, connaissant la masse volumique et la teneur en ciment du béton. Il est conseillé de déterminer le type de ciment (au moyen d'une analyse pétrographique) pour avoir une information complémentaire.

#### Critère d'évaluation

Sur base des prescriptions de la norme NBN EN 206-1 : 2001 et de la norme complémentaire belge NBN B15-001 (2004), on peut définir pour le béton armé un seuil de sécurité de 0,4% ( $m/m_{\text{ciment}}$ ) au niveau de l'armature. Le seuil est de 0,2% ( $m/m_{\text{ciment}}$ ) pour le béton précontraint.

En cas de dépassement de ces seuils, des analyses complémentaires sont nécessaires (origine, profil de chlorures,...).

Comme règle empirique, on peut signaler que dans le cas du béton armé pour des concentrations entre 0,4 et 1% ( $m/m_{\text{ciment}}$ ) une vigilance s'impose. Pour une concentration supérieure à 1% ( $m/m_{\text{ciment}}$ ) il y a un grand risque de corrosion.

### III TRAITEMENT DES DOMMAGES DUS AUX CHLORURES

#### 1. EXAMEN PRELIMINAIRE –voir *Annexe B.2 Examen des dommages dus aux chlorures*

Comme indiqué au point II, il est important de vérifier dans chaque projet de réhabilitation s'il y a risque de pollution par les chlorures. Un examen préalable des causes et du degré de gravité des dégâts du béton est indispensable. C'est ce que prévoit la norme NBN EN 1504-9.

Cet examen préalable implique le contrôle de la teneur en chlorures, étant donné que l'inspection visuelle peut être insuffisante pour évaluer les dégâts internes. En effet, des constructions en apparence intactes peuvent être gravement attaquées par les chlorures!

La méthode de traitement (voir point 2.2 Traitement) dépend fortement des mesures de la teneur en chlorures. Une fois que les dégâts dus aux chlorures sont constatés, il est donc indispensable de connaître les pourcentages en chlorures sur toute la construction, et en profondeur.

Par ailleurs, des essais supplémentaires peuvent être effectués, tels que les mesures de potentiel et de vitesse de corrosion, les mesures d'enrobage, les mesures de la profondeur de carbonatation et le contrôle destructif de l'état de l'armature. Afin de vérifier la vitesse de pénétration des chlorures, un essai de diffusion peut être exécuté sur des carottes (essai RCM). Les résultats de cet essai doivent être interprétés avec circonspection et forment un complément au diagnostic global.

L'examen comprend non seulement l'état de la construction, mais également les conditions ambiantes. L'important est, par exemple, de vérifier si les chlorures peuvent migrer de l'extérieur vers l'intérieur du béton ou s'il y a des différences en fonction de l'orientation de la construction, quels sont les profils de migration possibles, etc.

L'examen préalable doit être le plus objectif possible et exige de l'expérience pour éviter que des échantillons ne soient prélevés à des endroits non pertinents.

Il est dès lors recommandé de faire appel à un bureau d'étude et/ou un laboratoire indépendant.

#### 2. TRAITEMENT

##### **2.1 Principes NBN EN 1504 – 9**

La norme NBN EN 1504-9 comprend plusieurs principes relatifs à la réparation et à la protection du béton. Les principes 1 à 6 traitent des dégâts du béton dus à des actions mécaniques, chimiques, biologiques et physiques. Les principes 7 à 11 traitent des dégâts du béton suite à la corrosion de l'armature.

- Principe 1: protection contre la pénétration
- Principe 2: maîtrise de l'humidité
- Principe 3: réparation du béton
- Principe 4: renforcement structurel
- Principe 5: résistance physique
- Principe 6: résistance aux produits chimiques
- Principe 7: maintien ou restauration de la passivité
- Principe 8: augmentation de la capacité de résistance
- Principe 9: maîtrise des zones cathodiques
- Principe 10: protection cathodique
- Principe 11: maîtrise des zones anodiques



Les principes appliqués dépendent de la cause des dégâts du béton et de la gravité de l'attaque. Les principes applicables au traitement des dégâts du béton dus à une attaque par les chlorures sont décrits ci-dessous.

## 2.2 Traitement en fonction de la teneur en chlorures –voir Annexe B.3 Traitement des dommages dus aux chlorures

En premier lieu, il faut faire la distinction entre les chlorures d'incorporation et les chlorures de migration. Ensuite, une autre subdivision intervient selon le pourcentage de chlorures. Les principes ci-dessus peuvent se répartir selon la gravité de la pollution par les chlorures.

### 2.2.1 Chlorures d'incorporation

Teneur en chlorures (m/m <sub>ciment</sub> ) au niveau des armatures	Traitement <sup>2</sup>	Principes NBN EN1504-9
< 0,2% (précontraint)	Réparation classique du béton	Principe 3
< 0,4% (béton armé)	Applications préventives Peinture/coating élastique/imprégnation	Principes 1, 2, 6
0,4 – 1% (corrosion locale légère)	Réparation classique du béton Anodes sacrificielles locales  Applications préventives: Peinture/coating élastique/imprégnation Protection cathodique (globale)	Principe 3 Principe 10  Principes 1, 2, 6 Principe 10
1 – 2% (corrosion grave mais locale)	Réparation classique du béton comprenant : Béton projeté ou mortier projeté (protec. suppl.) Remplacement des zones trop attaquées Anodes sacrificielles (globales) Système de protection cathodique avec courant imposé  Applications préventives: Peinture/coating élastique/imprégnation	Principe 3 3.3 3.4 Principe 10 Principe 10  Principes 1, 2, 6
>2% (corrosion grave globale; risque pour la stabilité)	Système de protection cathodique global Avec courant imposé Avec des anodes sacrificielles <i>Ce type de système exige une conception adaptée et une exécution professionnelle. Le système ne peut être utilisé que lorsque la construction n'est pas encore trop fortement attaquée.</i>  Consolidation structurelle (en cas de problèmes de stabilité) Démolition	Principe 10      Principe 4 /

<sup>2</sup> Dans les principes de la norme NBN EN 1504-9 des inhibiteurs de corrosion sont mentionnés. Lors de la rédaction du présent document, il n'y a pas suffisamment de preuves que les inhibiteurs (appliqués en surface) s'introduisent d'une manière égale jusqu'à l'armature. Raison pour laquelle cette méthode ne peut, provisoirement, pas être certifiée.

### *2.2.2 Chlorures de migration*

En premier lieu il est nécessaire de vérifier quelle est l'origine des chlorures de migration et si possible l'éliminer. En cas d'impossibilité, il faut au minimum protéger le béton.

Les détériorations dues aux chlorures ne sont pas uniformes, mais provoquent des corrosions importantes (piqûres de corrosion). Pendant l'examen préliminaire, il faut inspecter spécialement les points critiques (tels que fissures microscopiques, raccords/reprises de bétonnage, descentes d'eau,..) et faire une estimation des risques pour la stabilité.

Si les chlorures ont atteint l'armature, on peut suivre le schéma repris sous le point 2.2.1. Si les chlorures n'ont pas encore atteint l'armature, se pose la question du risque d'une attaque par les chlorures dans le futur (profil des chlorures).

Pour évaluer les risques l'évolution des teneurs réelles en chlorures peut être suivie. Pour ce faire, des mesures régulières des teneurs en chlorures sont effectuées à des endroits représentatifs. Une autre possibilité consiste à suivre les potentiels de l'armature, qui constituent une mesure de la probabilité de corrosion (mesure manuelle périodique ou gérée en continu par ordinateur).

Si le risque est acceptable, on peut faire usage, si nécessaire, des techniques de réparation pour béton carbonaté. Comme le risque de dégâts perdure, une surveillance reste nécessaire.

Si ce risque n'est pas acceptable, on peut se référer au point 2.2.1. Il est conseillé de recourir à une protection cathodique préventive (principe 10).

## 3. REMARQUE COMPLEMENTAIRE

### ***3.1 Risque d'échec***

Plus la teneur en chlorures est élevée, plus le risque d'échec des réparations classiques du béton augmente (même dans le cas d'une exécution approfondie et soignée). Généralement, de nouveaux dégâts apparaissent (dans les 10 ans après la réparation), spécialement dans les zones limitrophes aux parties réparées.

Afin d'éviter des déceptions suivies de discussions avec le maître d'œuvre, il est recommandé d'expliquer clairement les risques. Ceux-ci sont propres au projet et dépendent des méthodes de traitement (voir schéma sous le point 2.2.1).

### ***3.2 Extraction de chlorures (CEN/TS 14038-2)***

Une solution que l'on met souvent en avant dans le cas d'une pollution par les chlorures est la technique d'extraction des chlorures.

Ces traitements électrochimiques comportent des risques, comme par exemple l'introduction d'une réaction d'agrégat alcalin (ASR, ACR), la formation de gaz chloruré, la fragilisation par l'hydrogène,...

La porosité du béton de même que la fissuration doivent être surveillées. Il y a également la problématique des chlorures derrière l'armature.

L'application nécessite donc une analyse approfondie (analyse pétrographique, définition de la teneur alcaline,..).

### **3.3 Protection cathodique**

Lorsque la pollution par les chlorures est importante, un système de protection cathodique peut apporter une solution. Le principe de cette technique réside dans l'abaissement du potentiel de l'armature. Ceci a pour effet le ralentissement, voir l'arrêt, de la corrosion. L'abaissement du potentiel est réalisé en ajoutant artificiellement des électrons à l'armature.

Il existe deux types de protection cathodique : par anodes sacrificielles et par courant imposé (*EN 12696; guide d'agrément G0016*).

Dans le cas d'anodes sacrificielles on réalise une liaison entre l'armature et un métal moins noble (comme le zinc). Le métal moins noble se corrode au lieu de l'armature, il se « sacrifie ».

Dans le système à courant imposé, l'armature est reliée au pôle négatif d'une source électrique. On ajoute donc des électrons à l'armature. L'anode est constituée d'un métal insensible à la corrosion (comme le titane) qui est raccordé au pôle positif de la source électrique. Le système avec courant imposé est un système permanent, qui nécessite un contrôle périodique. En plus il doit répondre à une série de conditions (comme la continuité de l'armature) pour être applicable.

### **3.4 Béton précontraint**

Les directives précitées concernent le béton armé. Un seuil de 0,4% ( $m/m_{\text{ciment}}$ ) est fixé à ce propos. Pour le béton précontraint, il faut cependant tenir compte d'une valeur limite de 0,2% (norme NBN EN 206-1 et son complément NBN B15-001).

L'utilisation d'une protection cathodique pour le béton précontraint exige que l'on tienne compte de quelques consignes supplémentaires vu le risque de fragilisation par l'hydrogène dans le béton précontraint.

### **3.5 Fissures**

Le traitement des fissures n'est pas spécifiquement étudié dans ce qui précède. Il va de soi que les fissures forment des voies d'accès faciles à l'eau et aux chlorures. Il est dès lors recommandé de colmater les fissures existantes. Ce point est couvert par le principe 1 de la norme NBN EN 1504-9.

## IV CONCLUSIONS

### 1. EXAMEN PRELIMINAIRE

Comme l'impose la norme NBN EN 1504-9, il est nécessaire d'effectuer un examen préliminaire de chaque projet de réparation de béton. Cet examen préliminaire ne se limite pas à un simple contrôle visuel. Les dégâts du béton, notamment ceux dus à une attaque par les chlorures, peuvent évoluer à l'intérieur sans que cela ne se voit nécessairement à la surface. Ce phénomène est encore accentué par l'épaisseur de l'enrobage.

Il n'y a que des essais pointus, notamment les tests de teneur en chlorures, à des endroits cruciaux qui donneront une idée de l'origine des dégâts et de la gravité de l'attaque.

Il est préférable de s'adresser à un organisme indépendant pour effectuer un examen préalable objectif en toute connaissance de cause.

### 2. METHODE DE RÉPARATION EN FONCTION DE LA TENEUR EN CHLORURES

Il ne suffit pas de savoir qu'il se produit une détérioration du béton due aux chlorures. Les teneurs en chlorures à différentes profondeurs (profils de chlorures) sont d'une importance cruciale pour pouvoir évaluer la méthode de réparation appropriée et le risque d'échec.

Le seuil de dégradation du béton du aux chlorures fait l'objet de débats animés depuis des années au sein de la communauté scientifique. Il est impossible de donner une directive absolue, mais on s'accorde en général à dire qu'il y a un risque d'attaque par les chlorures à partir de 0,4% ( $m/m_{\text{ciment}}$ ) au niveau de l'armature du béton armé, comme le mentionne la norme européenne NBN EN 206-1 (béton non carbonaté).

Cependant, il n'y a pas que le pourcentage de chlorures à prendre en compte. La quantité d'armatures corrodées et le degré d'attaque de l'armature jouent aussi un rôle crucial (piqûre). Il faut toujours contrôler la stabilité. Dans certains cas il y a lieu de placer un renforcement externe (plat collé).

En fonction de la teneur en chlorures constatée au niveau de l'armature ( $m/m_{\text{ciment}}$ ) plusieurs techniques de réparation ou protection sont proposées. Cela va du coating à la réparation classique du béton jusqu'à la protection cathodique.

En fonction de l'état de l'armature, il peut être nécessaire d'ajouter une armature supplémentaire ou de placer un renforcement extérieur. Dans le cas extrême, la démolition de l'élément pollué sera inévitable.

### 3. COMMUNICATION

La communication est le mot clef pour éviter les malentendus avec le maître d'œuvre. Même lors d'une réparation approfondie et soignée du béton, il existe toujours un risque de dégâts récurrents dans le cas d'une grave attaque par les chlorures. En informant le maître d'œuvre, on évitera bien des déceptions et discussions ultérieures.

La méthode de réparation à choisir dépend également fortement des attentes et du budget du maître d'œuvre. Quelle durée de vie vise-t-on? Préfère-t-on rénover de manière limitée en tenant compte des risques ou veut-on la sécurité à long terme?

Il importe d'accorder une attention aux désirs du maître d'œuvre, mais aussi d'expliquer clairement les risques associés aux mesures proposées.

En plus, en conformité avec la norme NBN EN 1504-9, l'entrepreneur a, par rapport au maître d'œuvre, un devoir d'information au sujet de l'entretien.



**PHOTO 1: dégât dû aux chlorures (climat maritime)**



**PHOTO 2: dégât dû aux chlorures (industrie)**



**PHOTO 3: dégât dû aux chlorures (piscine)**



**PHOTO 4: dégât (tour de refroidissement)**



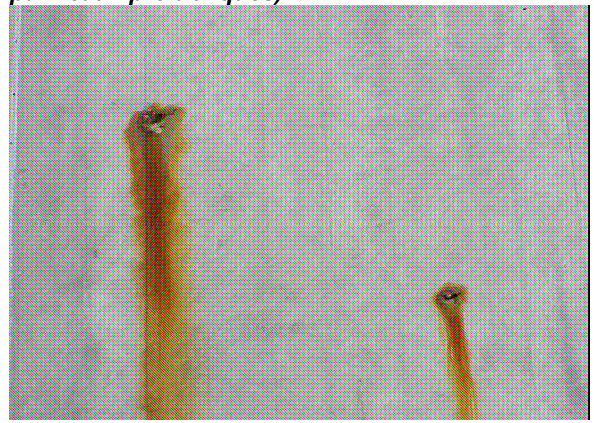
**PHOTO 5: dégât dû aux chlorures (viaduc joint fuyant)**



**PHOTO 6: dégât dû aux chlorures (maritime panneaux préfabriqués)**



**PHOTO 7: dégât dû aux chlorures (sels d'épandage)**



**PHOTO 8: pas de dégât dû aux chlorures (gravier pyrite)**

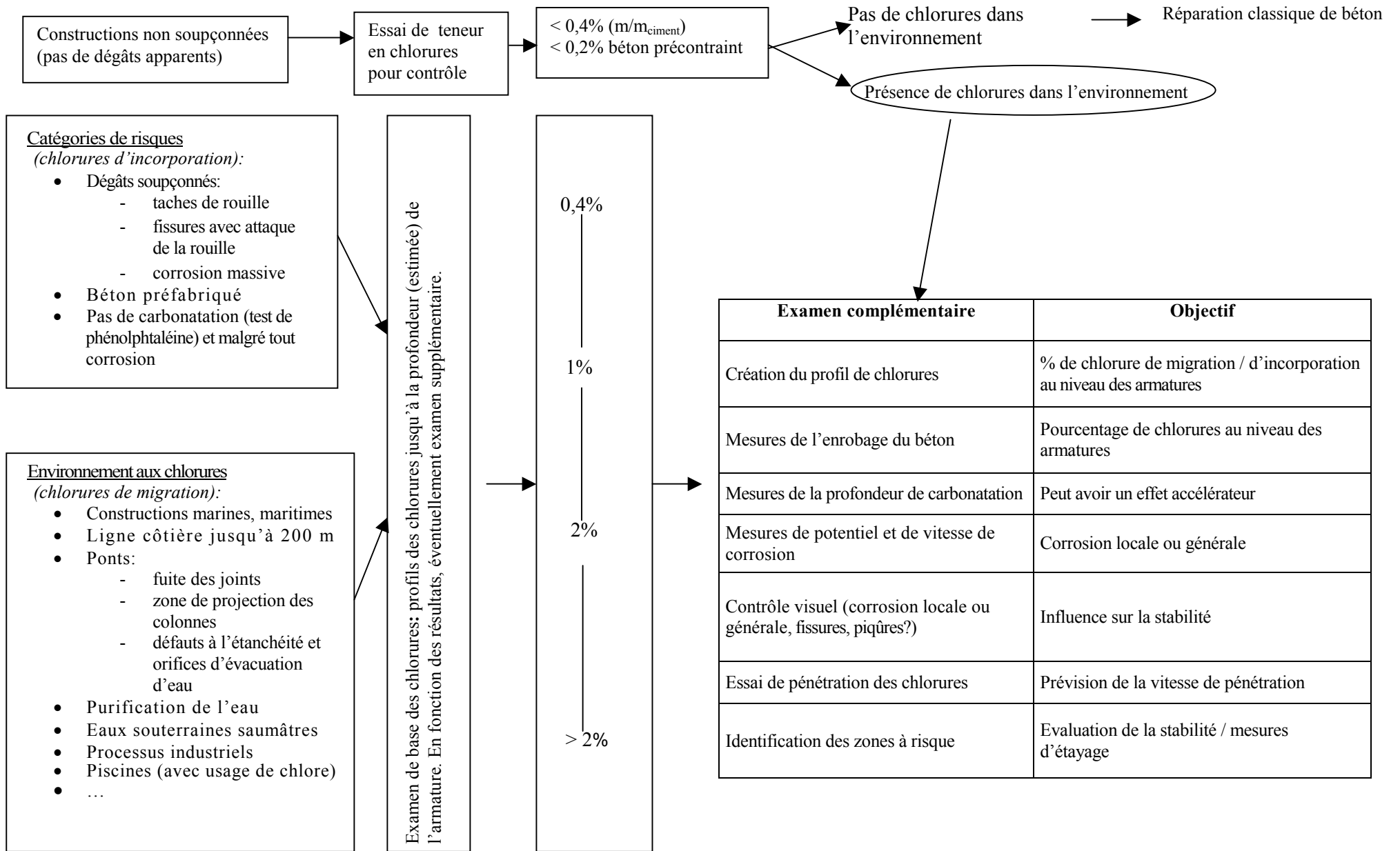


**PHOTO 9: dégât (région maritime piqûre)**



**PHOTO 10: pas de dégât dû aux chlorures (ligature)**

ANNEXE B.2 EXAMEN DES DEGATS DUS AUX CHLORURES



<b>1 EXAMEN PRÉLIMINAIRE</b> y compris la détermination des teneurs/profils en chlorure			
<b>2 TRAITEMENT</b> sur base des résultats de l'examen préalable			
Teneur en chlorure (m/m <sub>ciment</sub> ) au niveau des armatures	Traitement	Principes NBN EN 1504-9	Remarques
< 0,2% (béton pré-contraint) < 0,4% (béton armé)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réparation classique du béton:</li> <li>▪ Mesures préventives: Peinture/couche élastique/imprégnation</li> </ul>	Principe 3  Principes 1, 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le colmatage des fissures fait partie du principe 1 (voir texte point 3.5).</li> </ul>
0,4 – 1%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réparation classique du béton</li> <li>▪ Anodes sacrificielles locales</li> <li>▪ Applications préventives: Couche élastique/imprégnation Protection cathodique (globale)</li> </ul>	Principe 3 Principe 10  Principes 1, 2, 6 Principe 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'augmentation de la teneur en chlorure augmente le risque d'échec lors de l'application des techniques de réparation d'un béton carbonaté</li> <li>▪ Risque de l'effet anodique en anneau</li> <li>▪ Risques dépendent du mode de traitement choisi</li> </ul> <p>→ Communiquer les risques au maître d'œuvre!</p>
1 – 2%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réparation classique du béton avec : béton projeté ou mortier projeté (protec.sup.) remplacement des zones trop abîmées</li> <li>▪ Anodes sacrificielles</li> <li>▪ Protection cathodique avec courant imposé</li> <li>▪ Applications préventives: Couche élastique/imprégnation</li> </ul>	Principe 3 3.3 3.4 Principe 10 Principe 10  Principes 1, 2, 6	
>2%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Système de protection cathodique global avec courant imposé avec anodes sacrificielles</li> <li>▪ Consolidation structurelle (problèmes de stabilité)</li> <li>▪ Démolition</li> </ul>	Principe 10   Principe 4  /	
<b>3 STRATÉGIE DÉFINITIVE EN CONCERTATION</b> avec le maître d'œuvre			