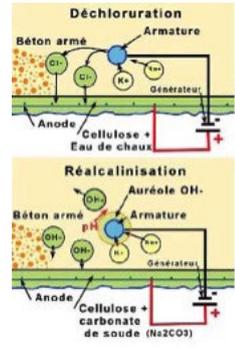
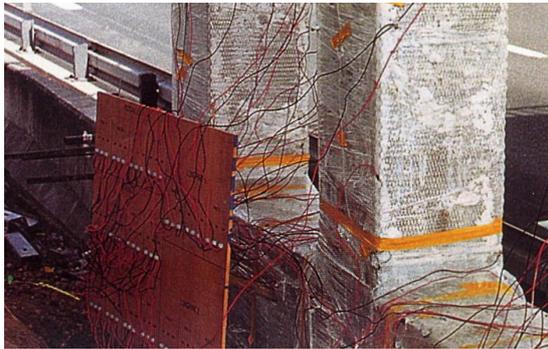


# Extraction du chlore et ré-alcalinisation électrochimique des bétons par courant imposé



## PRÉSENTATION

La durabilité des armatures du béton armé est assurée par leur enrobage de béton sain qui contient encore une réserve en chaux et alcalins assurant le maintien du milieu basique (pH ≈ 12 à 13).

Lorsque le béton se carbonate, le pH diminue et les aciers, n'étant plus protégés (pH < 9), la corrosion peut démarrer. Ce phénomène conduit au foisonnement des aciers qui provoque l'éclatement du béton.



Avec la participation de



## Extraction du chlore et ré-alkalinisation électrochimique des bétons par courant imposé

### La modification de l'environnement protecteur de l'acier se produit :

- par la carbonatation atmosphérique du béton ; le pH diminue et, les aciers n'étant plus protégés ( $\text{pH} < 9$ ), la corrosion peut démarrer ;
- par action de circulation de courants de corrosion susceptibles d'apparaître dans la structure entre les zones cathodiques et anodiques qui se succèdent le long d'une armature (corrosion galvanique) ;
- par action de contaminants corrosifs provenant de l'environnement extérieur (chlorures ou autres contaminants) ainsi que des additifs introduits au cours du malaxage des composants (par exemple le chlorure de calcium utilisé comme antigel). Dans le cas d'une contamination par les ions chlores, l'acier des armatures est directement attaqué et se transforme en chlorure ferrique. On parle de corrosion dissolvante.

Lorsque ces altérations font l'objet de réparations classiques par purge et ragréage, qui relèvent le pH de la zone réparée, l'armature est protégée localement mais, dans les parties adjacentes, le pH du béton peut être beaucoup plus faible ; il peut alors se développer une nouvelle pile de corrosion (anode induite par effet de bord). Quelques années après la réparation, apparaissent de nouveaux désordres. Une telle réparation n'est donc pas forcément pérenne.

**La technique d'extraction des chlorures et de ré-alkalinisation fait partie des dispositions à prendre pour limiter une réapparition trop rapide des phénomènes de corrosion. Cette méthode électrochimique est une variante de la technique par anode active.**

## RECOMMANDATIONS

### Modes opératoires

La déminéralisation électrochimique par courant imposé permet d'extraire les chlorures du béton et la ré-alkalinisation, par ce même procédé, a pour but d'augmenter le pH du béton. Ce traitement est temporaire, la durée d'application est de 4 à 5 semaines pour une déchloruration et de 2 ou 3 semaines pour une ré-alkalinisation.

Ces méthodes de traitement font l'objet de divers brevets.

L'expérience montre que la déminéralisation n'est jamais totale : seuls 50 à 80 % des chlorures peuvent être éliminés. C'est suffisant si le taux en chlorures passe en dessous du seuil critique [FABEM 1 - article 3.2.6.3.3.3].

## Extraction du chlore et ré-alcalinisation électrochimique des bétons par courant imposé

## RECOMMANDATIONS

Cette opération est réalisée au moyen d'un générateur électrique qui impose un courant circulant de l'anode vers l'armature (cathode). La déchloruration et la ré-alcalinisation sont effectuées l'une après l'autre en changeant la nature de l'électrolyte [FABEM 1 - articles 3.3.4.3.2 et 3.3.4.3.3].

Dans ce procédé, une couche de pâte imbibée d'une solution électrolyte adaptée est appliquée sur la surface de la pièce à traiter (elle doit être humidifiée périodiquement pour permettre la circulation du courant électrique). Une grille métallique en acier ou, de préférence, en titane est reliée aux armatures de la structure à traiter en passant par un générateur de courant continu. La capacité du générateur de courant (1 à 2 A/m<sup>2</sup> sous 50 V) est définie en fonction des dimensions des armatures (diamètres, longueurs) et des surfaces à traiter. Au préalable, les aciers présentant des délaminations auront été traités avec enlèvement de la calamine et de la rouille non adhérente. La continuité électrique de toutes les armatures de la zone à traiter doit être assurée, tous les objets métalliques électriquement isolés du circuit doivent être enlevés ou raccordés au circuit. Pendant les travaux, les tensions sont contrôlées et des échantillons de béton sont prélevés pour analyses de l'alcalinité et des teneurs en chlorures. En fin d'opération, la pâte imbibée est retirée par lavage HP et la grille métallique est déposée.

**Matériel [FABEM 1 - chapitre 3.6.4.14]**

- les appareils de mesure permettant de connaître : la position et l'enrobage des armatures ainsi que leur continuité électrique, la profondeur de carbonatation, le courbe pénétration/dosage des chlorures, le voltage et l'ampérage développés et la durée du traitement ;
- les dispositifs nécessaires à l'étude des risques éventuels d'alcali-réaction ;
- l'anode, constituée d'une grille en acier ou en titane, qui permet le passage et la répartition du courant sur toute la surface à traiter ;
- la solution électrolytique alcaline et son support (cellulose sous forme de pâte à papier), qui permet le passage du courant et apporte les alcalins au béton (ré-alcalinisation). Le revêtement de cellulose doit avoir une humidité sensiblement constante, ce qui impose une protection contre les intempéries (vent, pluie et soleil) ;
- des câbles isolés de couleur qui sont reliés à l'anode et à la cathode ;
- une alimentation électrique fournissant un courant continu stable en voltage (50 V) et ampérage et une puissance suffisante. Le système doit être muni des disjoncteurs et fusibles nécessaires en cas de court-circuit (avec alarme).

Les méthodes de traitements électrochimiques du béton sont effectuées par des procédés d'entreprises qui sont brevetés. Les techniques à mettre en œuvre sont proposés par l'entrepreneur à l'acceptation du maître d'œuvre qui valide après analyse les résultats de l'épreuve de convenue.

## Extraction du chlore et ré-alcalinisation électrochimique des bétons par courant imposé

## RECOMMANDATIONS

**Points importants**

Les méthodes électrochimiques sont contre-indiquées pour les ouvrages précontraints dont les armatures peuvent être fragilisées par corrosion fissurante sous tension.

Par ailleurs, l'ajout d'alcalin lors du traitement impose une étude préalable sur les agrégats pour des risques éventuels d'alcali-réaction.

Comme pour le traitement par anode active, ce procédé ne s'applique que si la profondeur de carbonatation ou celle de pénétration des chlorures d'origine externe ne dépasse pas l'épaisseur de l'enrobage.

De plus, la déchloruration n'est pas possible si le béton est totalement saturé en sulfate car le procédé de ré-alcalinisation apporte du sodium (Na) qui peut se combiner aux sulfates en créant des composés expansifs.

Pour une déchloruration non suivie d'une ré-alcalinisation, il faut que le béton puisse sécher afin de permettre la restauration de la passivité des armatures. Pour cela, le degré d'humidité de l'atmosphère [HR] ne doit pas dépasser 50 %. La période de traitement doit donc être choisie pour être favorable à cet assèchement.

Après réparation, il est indispensable de protéger le béton par un revêtement afin d'éviter une nouvelle pénétration des agents agressifs dans le béton. Pour cela, il faut attendre environ un mois pour d'appliquer ce produit. En effet, pour éviter l'attaque du revêtement par les alcalins, la couche superficielle du béton être légèrement carbonatée.

Les normes NF EN12 696 et NF EN 15257 imposent et définissent les niveaux de compétences et les certifications du personnel réalisant ces travaux.

**Normes [FABEM 1 – Chap 3.2, 3.3 et 3.6]**

la ré-alcalinisation fait l'objet d'un fascicule de documentation européen **FD CEN/TS 14038-1**

**NF EN ISO 12 696 Avril 2012** Exigences de performance pour la protection cathodique de l'acier dans le béton à base de ciment, pour les structures nouvelles comme pour les structures existantes

**Norme déchloruration DD CEN/TS 14038- 2** Traitements électrochimiques de ré-alcalinisation et d'extraction de chlorures applicables au béton armé - **Partie 2 : Extraction de chlorures**

**EN 15-257** La certification de la compétence en Protection cathodique

## Extraction du chlore et ré-alkalinisation électrochimique des bétons par courant imposé

### PROPOSITION DE PLAN DE CONTRÔLE

Phases	Points de Contrôle	Moyens de contrôle
Préparation	Mesure de profondeur des aciers (enrobage)	Ferroskan si <9 cm Radar si >9cm/parement
Préparation	Contrôle de la sensibilité des agrégats à l'alcali réaction	Test de la lame mince en pétrographie sous lumière polarisante
Préparation	Qualité personnel	Qualification avec formation Niveau 1 (personnel chantier) conformément à la norme EN 15-257
Préparation	Mesure de la profondeur et du taux de carbonatation de bétons	Éprouvettes exclusivement carottées lg 2 cm derrière l'armature sans la couper Tests à la phénolphthaléine
Préparation	Mesures du taux d'ions chlorures selon la profondeur % en poids de béton	Éprouvettes carottées ou récupération de poudres de perçage Test en laboratoire
Préparation	Mesures du taux des sulfates selon la profondeur % en poids de béton	Éprouvettes carottées ou récupération de poudres de perçage Test en laboratoire
Préparation	Nettoyage des aciers oxydés	Visuel
Préparation	Vérification de la continuité électrique avec l'ensemble entre anode et l'ensemble de ferrailage	Appareils de mesure contrôle de potentiel norme NF EN 12696
Travaux	Contrôle de l'humidification du support et du revêtement cellulose	Suivi visuel
Travaux	Contrôle des paramètres électriques voltage et ampérage	Mesure des paramètres 2 fois par jour Personnel Niveau 1
Fin d'Opération	Mesure des taux de chlore résiduel Objectif <0,06 % du pds de béton ou 0,4 % pds ciment	Éprouvettes carottées ou récupération de poudres de perçage Test en laboratoire
Fin d'opération	Mesure de l'efficacité de la ré-alkalinisation pH > 10	Éprouvettes carottées devant l'armature sans la couper Tests à la phénolphthaléine : anneau rose violet 1cm autour de l'armature