



**FREYSSINET**  
SUSTAINABLE TECHNOLOGY

# Traitements électrolytiques du béton

## « Extraction des chlores du béton armé »

STRRES en région Marseille 27 novembre 2013

THE SAFE WAY IS THE ONLY WAY

Solutions  
**Foreva**



Nom: Christian TOURNEUR  
Date: 27/11/2013

une société de  **SOLETANCHE FREYSSINET**

## La corrosion :

**un problème économiquement préoccupant !**

le coût de la corrosion sur **l'ensemble de la planète** est estimé à **2% du produit brut mondial (PBM)** soit environ **560 Milliard US \$ /an.**

**Chaque seconde 5 tonnes** d'acier sont transformés en oxyde de fer.

Corrosion = Retour du métal à son état naturel le plus stable (minéral), souvent des oxydes.

La corrosion est un processus électrochimique



Deux réactions électrochimiques concomitantes

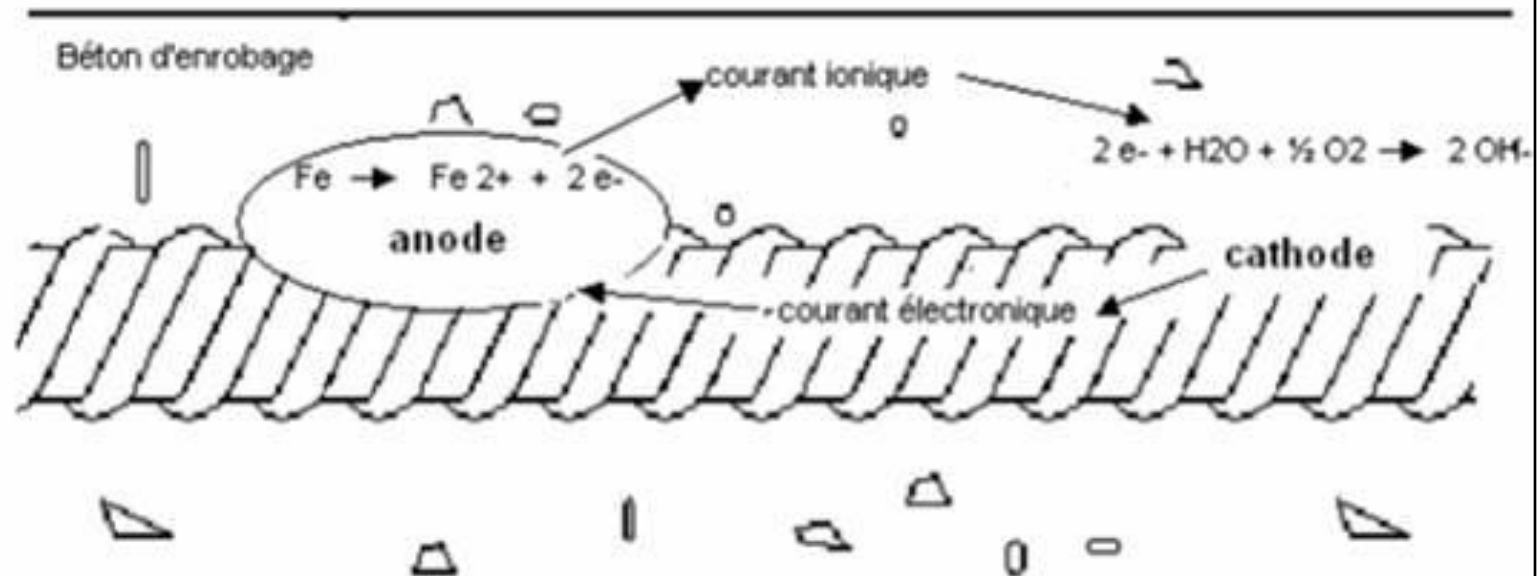
- Réaction anodique (ou dissolution)
- Réaction cathodique (ou de réduction)



# La corrosion dans le béton



Les réactions anodique et cathodique dans le cas du processus de corrosion d'une armature dans le béton.



## Le béton assure :

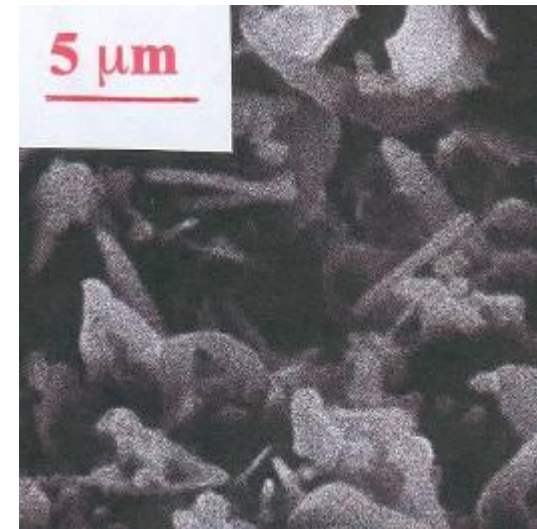
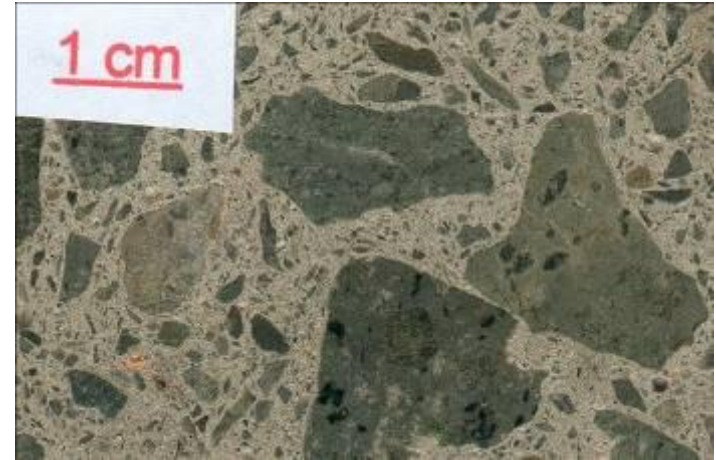
→ Une protection physique aux armatures  
car le béton d'enrobage constitue une  
barrière aux polluants

→ Une protection chimique



Une solution à pH élevé est retenue dans les pores qui séparent les grains de ciment (elle contient des ions majoritairement alcalins)

Cette alcalinité permet la passivité de l'acier





- Pendant la vie de l'ouvrage, des polluants peuvent pénétrer à travers les porosités du béton d'enrobage et atteindre les armatures
- En présence d'humidité et d'oxygène, cela conduit à la rupture de la couche passive et à l'initiation de la corrosion.
- Les deux causes de corrosion sont :

1- La carbonatation du béton d'enrobage

2- La présence de chlorures



- Pollution par les chlorures

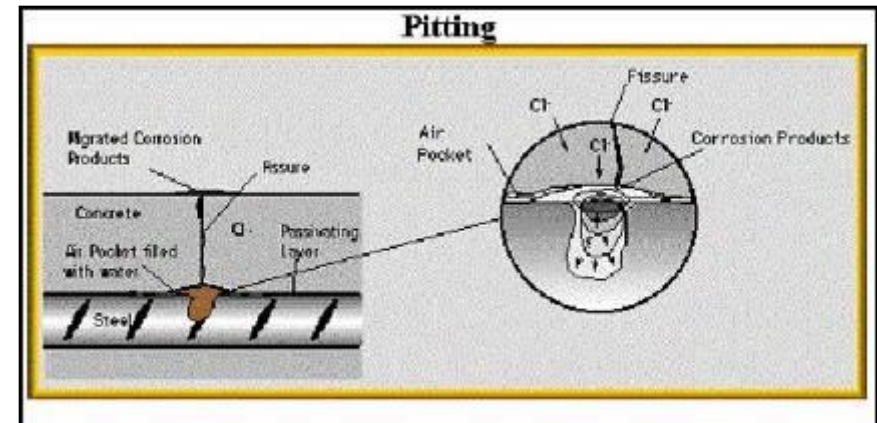
Elle est essentiellement occasionnée par le milieu marin, les sels de déverglaçages, les anciens accélérateurs de prise

Réactions localisées avec les hydroxydes de fer

- Conséquence

→ une dissolution de la couche passive

→ une corrosion localisée par piqûre



- Conditions d'amorçages de la corrosion par les chlorures

## La teneur en $\text{Cl}^-$ près de l'armature:

Elle doit être d'autant plus forte que le pH est élevé

→ Condition sur le ratio  $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$

→ Le seuil d'amorçage n'est pas encore connu (en discussions)

→ L'EN 206 fixe une limite à 0.4% du poids de ciment

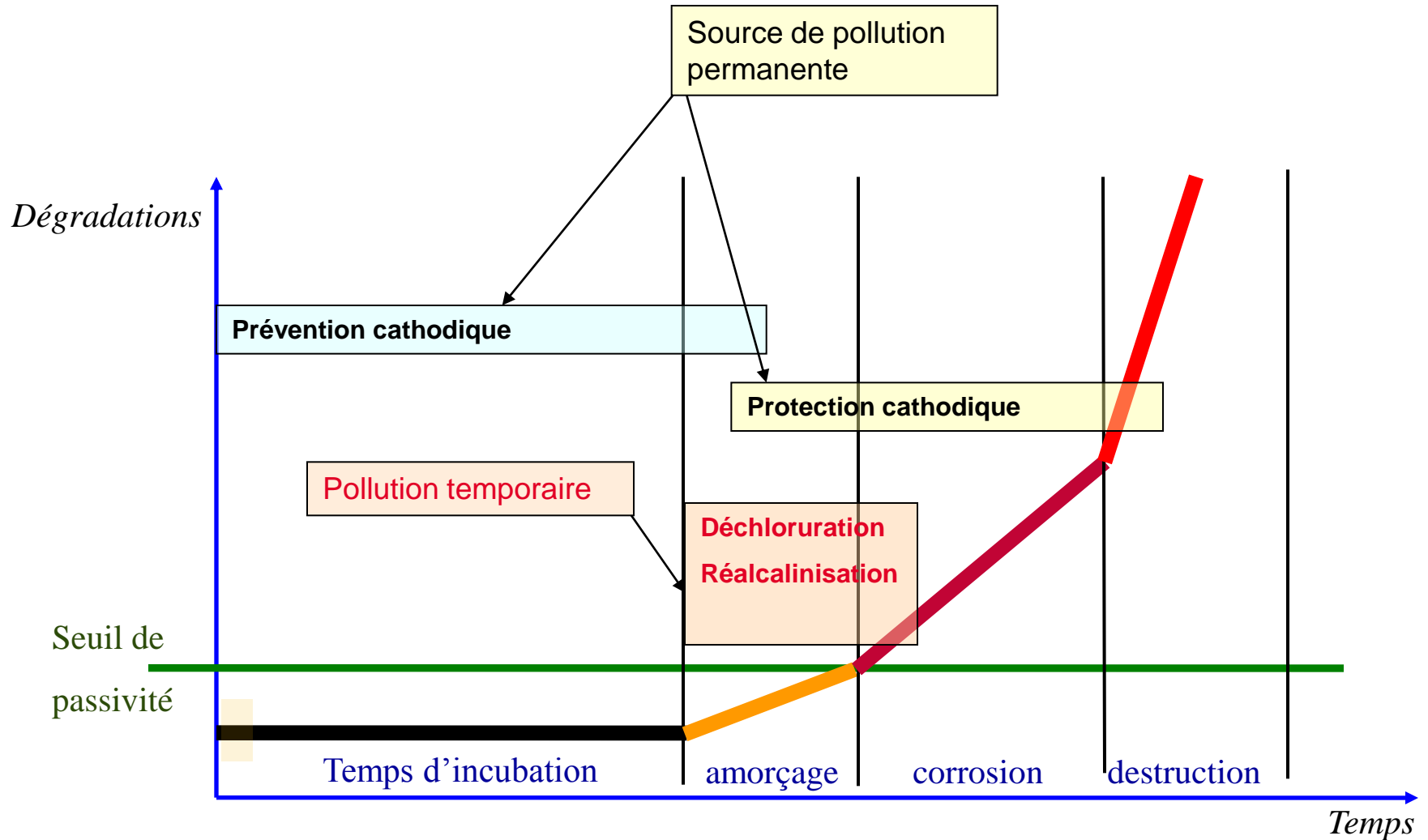
## La qualité de la liaison entre acier et le béton :

La corrosion est favorisée dans les zones de rupture mécanique, de cavités, bulle d'air.





# A quel moment de la vie d'un ouvrage peut on appliquer les traitements électrochimiques ?



## Traitements curatifs

- Objectifs:  
Déplacer les ions négatifs (chlorures libres) depuis l'armature vers la surface du béton, et les extraire.
- Application de la technique :  
Brevets déposés, Publications scientifiques  
Plusieurs entreprises de réparation propose sa mise en œuvre

- Deux méthodes :

Par courant imposé



En cours de révision

Norme réalcalinisation DD CEN/TS 14038-1  
Norme déchloruration DD CEN/TS 14038- 2

Par anode « sacrificielle »



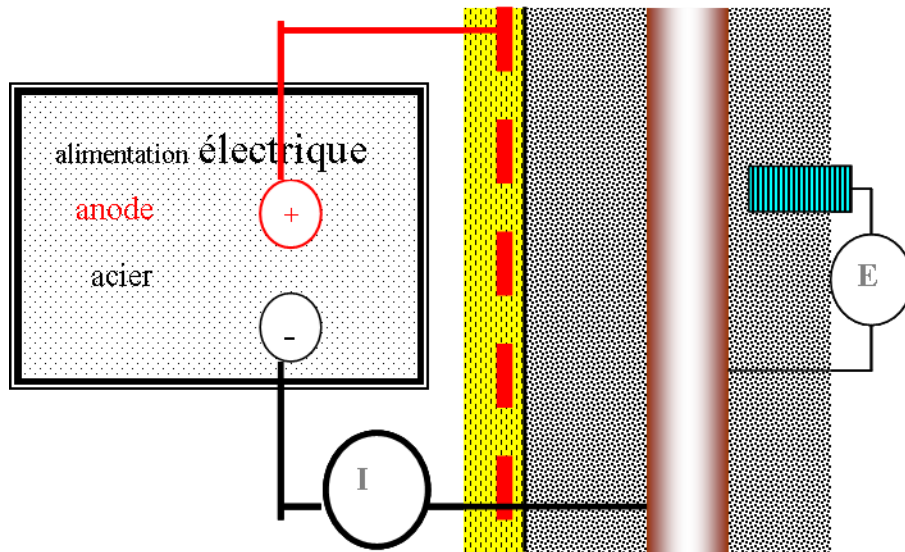
Pas de Norme en application

## Par courant imposé

→ A l'aide d'une alimentation électrique

→ Anode en Titane ou Acier

→ Électrolyte = fibre cellulose + solution alcaline (projetée)

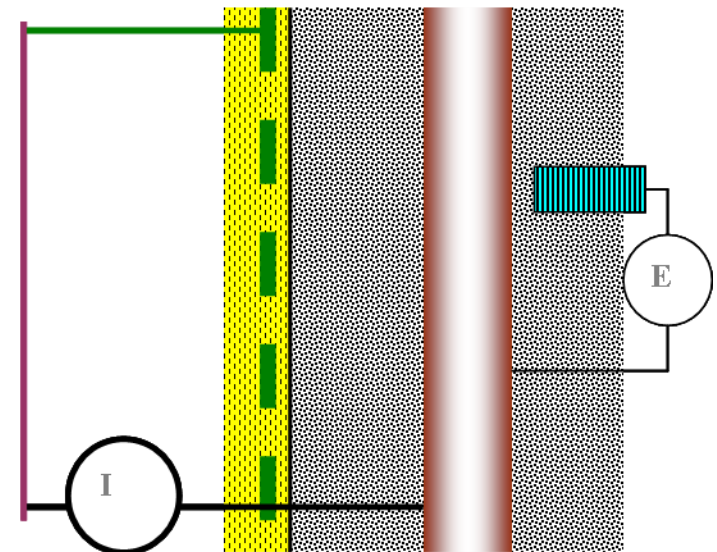


## Par anode « sacrificielle »

→ Utilise l'effet galvanique

→ Matériaux moins nobles que l'acier (Aluminium, Magnésium, etc)

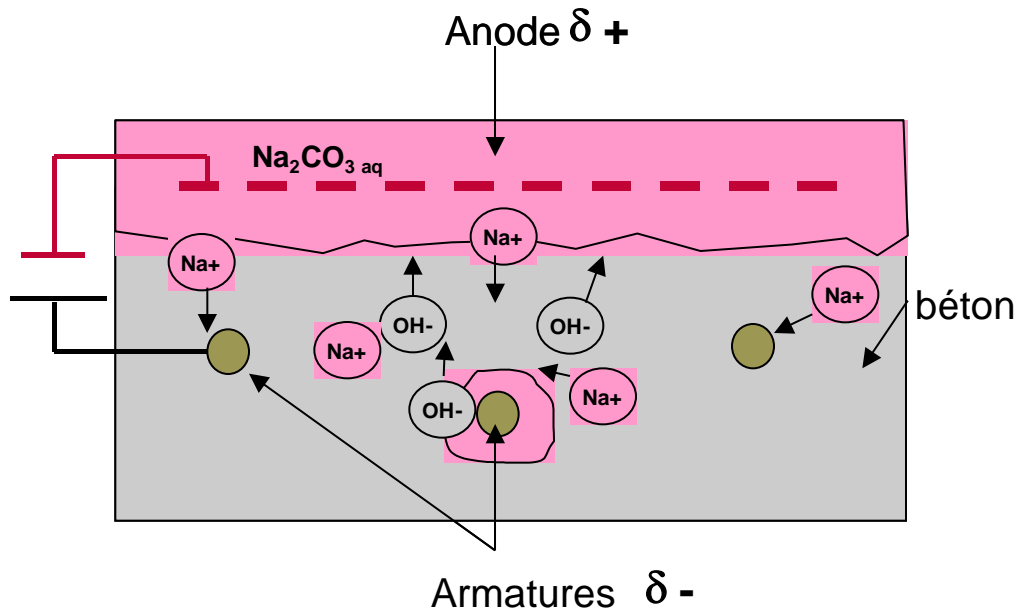
→ Électrolyte = pâte cellulose alcaline (prête à l'emploi)



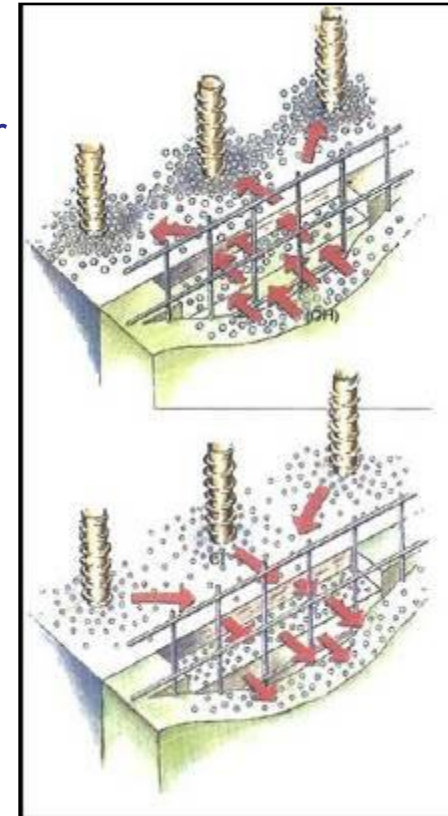
# La ré-alcalinisation et l'extraction des chlorures

→ La solution interne au béton sert d'électrolyte

→ L'anode est placée dans une solution pour assurer sa continuité « électrolytique » avec le béton



Principe de la réalcalinisation: Pate cellulosique avec un électrolyte alcalin.



Schémas extraits de la « Revue Scientifique et Technique des Monuments Historiques » N°16 1997

## Protection de la surface du béton

### La Norme NF P 95 103 s'applique

Rappel des principes de la norme NF EN 1504-2 :

Principe 1 : protection contre les risques de pénétrations ;

Principe 2 : contrôle du taux d'humidité du béton ;

Principe 5 : résistance aux actions physiques – amélioration de la surface ;

Principe 6 : résistance aux produits chimiques ;

Principe 8 : augmentation de la résistivité par limitation de la teneur en eau.

Note : le Guide GA P 18-902 (Recommandations pour la sélection des systèmes de protection de surface des bétons destinés aux ouvrages de génie civil) a introduit la notion de fonction (par exemple, la protection contre le gaz carbonique -carbonatation-) qui complète la notion de principe très générique.

Ces principes et méthodes à mettre en œuvre sont schématisés dans la figure suivante et se trouvent dans le tableau 1 de la norme NF EN 1504-9, reproduit ci-après avec quelques commentaires.



Imprégnation hydrophobe



Imprégnation



Revêtement

Figure 2 : Protection généralisée



# Norme extraction des chlorures



Version française non disponible chez NF

DD CEN/TS 14038-2:2011



BSI Standards Publication

## Electrochemical re-alkalization and chloride extraction treatments for rein-forced concrete

Part 2: Chloride extraction

# Spécification technique extraction des chlorures



Les principaux chapitres et recommandations de **DD CEN TS 14038-2 2011**

Draft for Development

**Quelques imprécisions dans le texte, des densités de courant et des critères d'arrêt de cure ne satisfont pas entièrement le groupe miroir du CEFRAFOR.**

## § 5) Diagnostique et réparation de la structure

*Le texte se réfère bien à la norme EN 1504-9 pour les produits de réparation, mais cette norme ne fixe aucun critère de conductivité électrique pour ces produits et la CEN TS 14038-2 ne donne pas de spécification particulière.*

## § 6) Matériels et équipements

**La zone anode doit être limitée à une surface de 30 m<sup>2</sup> ou à une densité de courant de 100A**

*Si la densité d'armature est de 0.5 le courant applicable serait de **6.7A / m<sup>2</sup>***

- On peut parfaitement extraire les Cl- avec de plus faibles courants. (Les retours d'expérience sont nombreux)*
- La US NACE préconise des courants de 0.5 à 1A/m<sup>2</sup> (valeurs basées sur des retours d'expériences publiés)*

# Spécification technique extraction des chlorures



L'alimentation électrique doit être limitée à 40 V avec des variations < 100mV et fréquence mini 100Hz.

**Au § 7.9 "installation électrique" partie (g) de la norme ISO 12696 il est dit :**

*"les ensembles anodiques pour lesquels il n'existe aucun recouvrement ni aucune barrière électrique pour éviter tout contact humain ou animal direct, par exemple revêtement conducteur, doivent être limités à une tension d'alimentation de 24 V en courant continu avec un taux d'ondulation efficace maximal de 100 mV RMS (100 mV efficace)."*

## § 8) Fin du traitement

La fin du traitement est basée sur un critère indirecte : il faut justifier de l'application de 1000 à 2000 Ah/m<sup>2</sup>.

*C'est seulement un critère indirecte donc une indication qui permet de procéder à une analyse du béton traité. Seul le taux de Cl<sup>-</sup> issu d'un résultat d'analyse sera accepté par nos clients.*

**Dans la note 2 qui suit c'est encore moins clair:** dans certains cas de pénétration limitée de Cl<sup>-</sup> une charge inférieure jusqu'à 200Ah/m<sup>2</sup> peut être appropriée.