

Inhibiteurs de corrosion pour la protection des aciers dans le béton

Thierry Chaussadent

*Directeur de Recherche
Département Matériaux et Structures*

STRRES 18 avril 2016 Paris



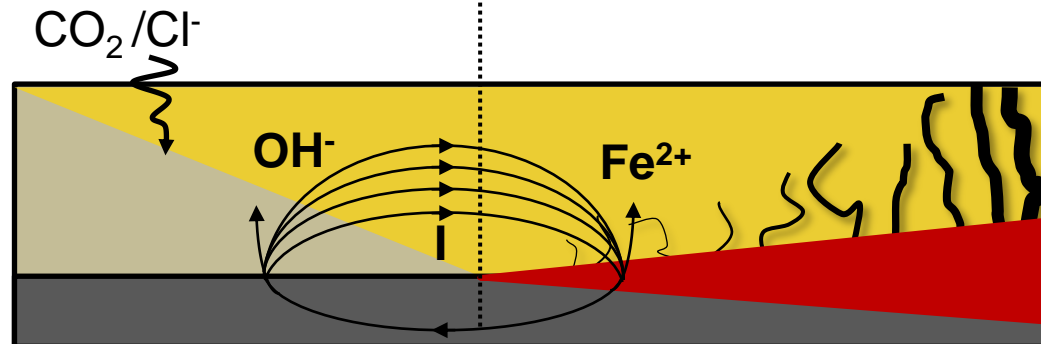
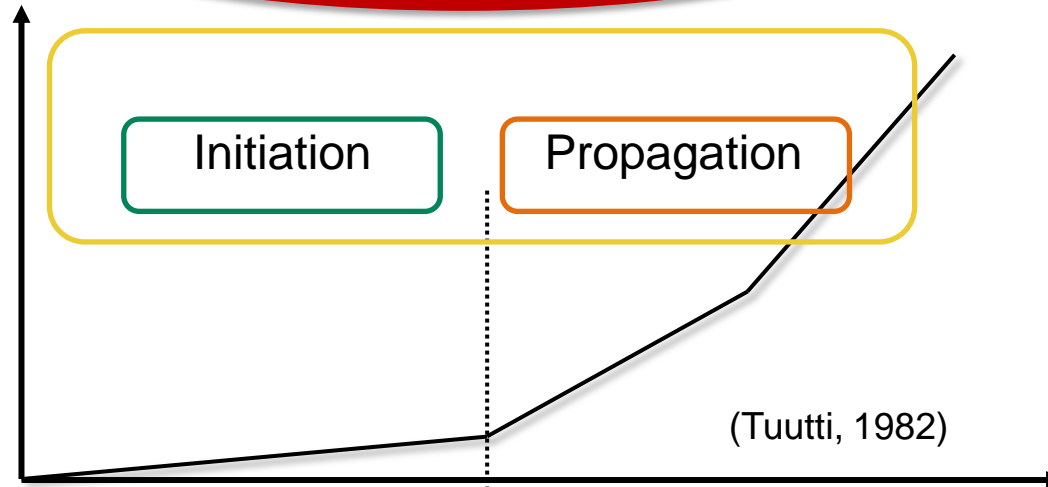
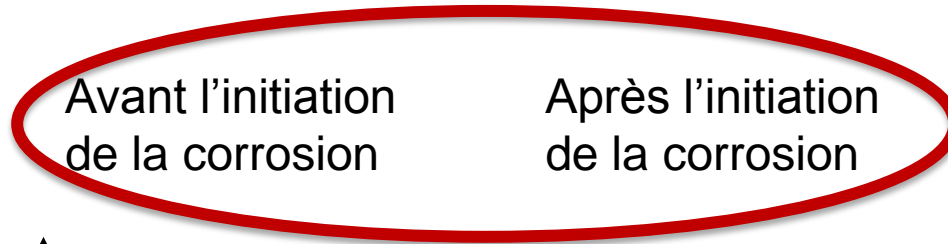
- Sujet traité
- Définition
- Analyse qualitative des recherches
- Travaux du CEFRACOR
- Problématique
- Questions toujours actuelles



Quand?

Inhibiteurs appliqués à la surface du béton

Au Gâchage



Objectifs de l'Info-Flash STRRES sur les inhibiteurs

- Qu'est-ce qu'un inhibiteur, et quelle est sa fonction exacte ?
- Quels sont les différents produits existants sur le marchés et quelles sont leurs différences?
- Quelles précaution doit-on prendre avant de décider de leur application (en matière de diagnostic notamment)?
- Quelles sont les bonnes questions à se poser?
- Comment réagi l'inhibiteur en présence de carbonatation, de chlorures?
- Comment les applique-t-on?
- Quel est le retour d'expérience dont nous bénéficions aujourd'hui?

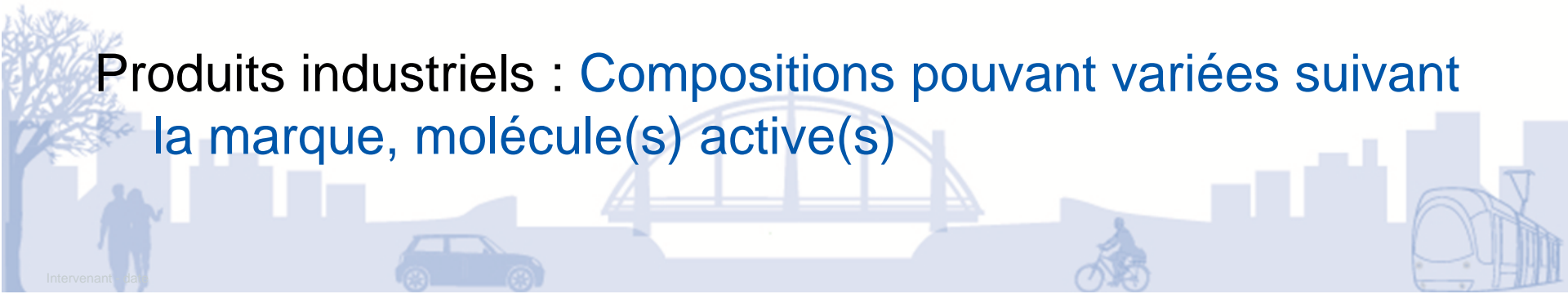


Quels produits

Plusieurs classes d'inhibiteurs peuvent être distinguées, selon :

- La formulation : organiques ou minéraux,
- La réaction partielle : anodiques, cathodiques, ou mixtes,
- Le mécanisme réactionnel : adsorption, formation de films tridimensionnels,
- Le domaine d'application : milieux acides, neutres, béton, phase gazeuse, etc.

Produits industriels : Compositions pouvant variées suivant la marque, molécule(s) active(s)



Définition et fonction d'un inhibiteur

- Norme ISO 8044 :

« Substance chimique ajoutée au système de corrosion à une concentration choisie pour son efficacité, et qui entraîne une diminution de la vitesse de corrosion sans modifier de manière significative la concentration d'aucun agent corrosif contenu dans le milieu agressif »

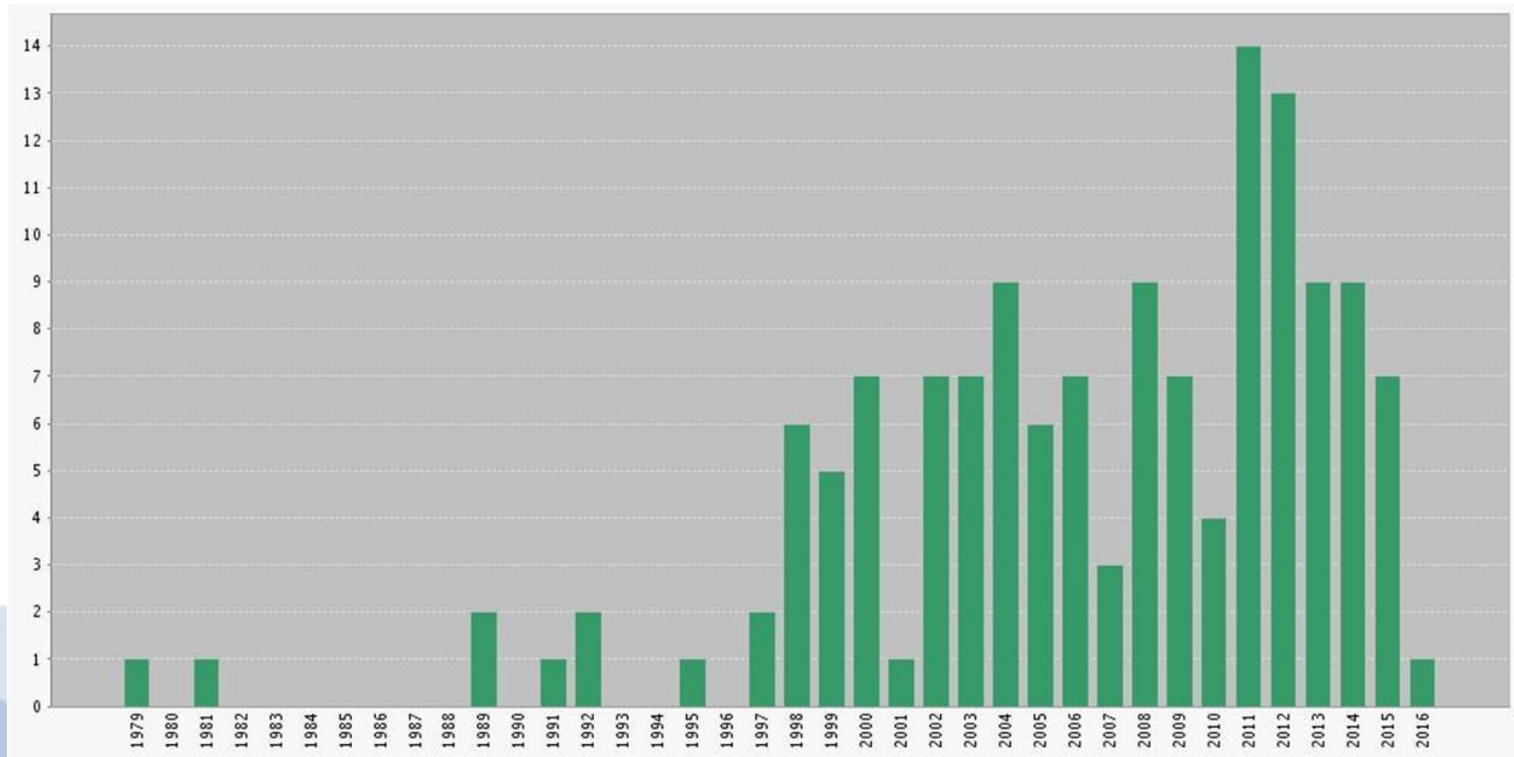


Web of Science

Mots clés titre article: Inhibitor+corrosion+concrete

Dates:1975 → 2016

→ 141 publications (pic en 2011-2012)

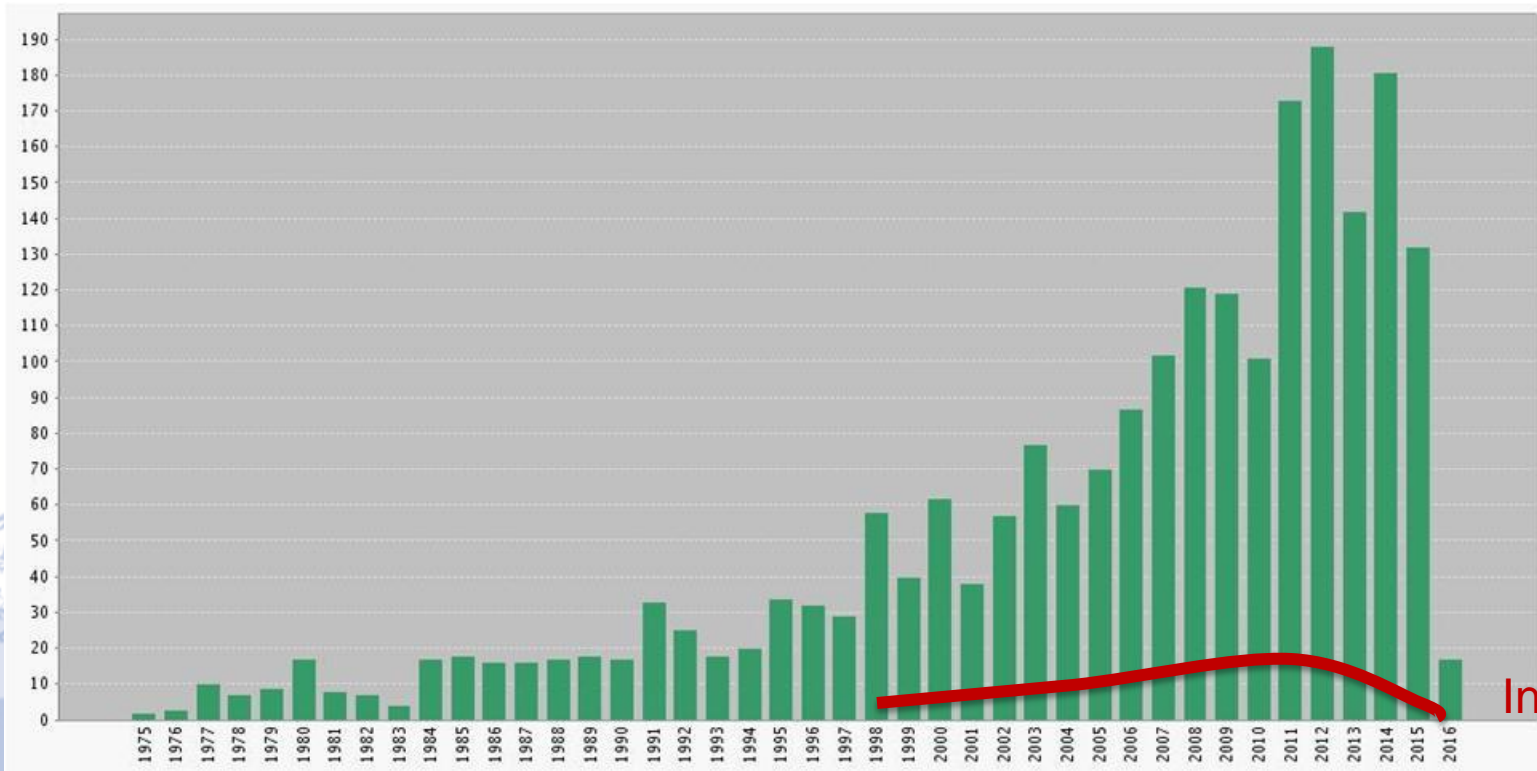


Web of Science

Mots clés titre article: ~~Inhibitor~~+corrosion+concrete

Dates:1975 → 2016

➔ 2202 publications



Inhibiteurs

Web of Science – Articles récents

[Aryl Aminoalcohols as Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in Chloride-Contaminated Simulated Concrete Pore Solution](#), Liu, J. Z.; Zhao, D.; Cai, J. S.; et al., INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTROCHEMICAL SCIENCE Volume: 11 Issue: 2 Pages: 1135-1151 Published: FEB 2016

Moins de corrosion par piqûres pour acier au carbone dans des solutions $\text{Ca}(\text{OH})_2$ avec $\text{Cl} = 0.3 \text{ M}$

[The effect of a tailored electro-migrating corrosion inhibitor on the corrosion performance of chloride-contaminated reinforced concrete](#), Fei, F. -L.; Hu, J.; Yu, Q. -J.; et al., MATERIALS AND CORROSION-WERKSTOFFE UND KORROSION Volume: 66 Issue: 10 Pages: 1039-1050 Published: OCT 2015

Electrochemically injected (ECI) imidazoline quaternary ammonium salt (IQS). ECI treatment significantly increased the corrosion resistance of the reinforcement. But also effectively extracted Cl ions out of concrete

[NATURAL CORROSION INHIBITORS FOR STEEL REINFORCEMENT IN CONCRETE - A REVIEW](#), Raja, Pandian Bothi; Ghoreishiamiri, Seyedmojtaba; Ismail, Mohammad, SURFACE REVIEW AND LETTERS Volume: 22 Issue: 3 Article Number: 1550040 Published: JUN 2015

Pas d'informations dans le résumé

[Corrosion inhibitors for reinforced concrete: 15 years of experiments @PoliLaPP](#), Bolzoni, F.; Brenna, A.; Fumagalli, G.; et al., METALLURGIA ITALIANA Issue: 5 Pages: 53-60 Published: MAY 2015

Commercial migrating corrosion inhibitors (MCI) are able to delay time-to-corrosion of passive rebars in concrete subjected to chlorides ponding; this effect is mainly related to the reduction of chlorides diffusion coefficient. MCI can reduce the corrosion rate after corrosion initiation only in carbonated concrete, nevertheless efficiency is low and residual corrosion rate is not negligible

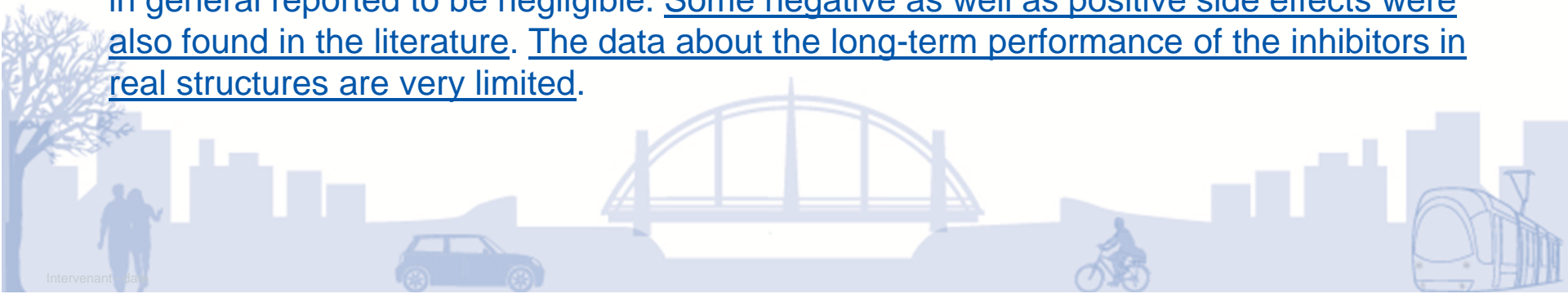
Web of Science – L'article le plus cité

T.A. Soylev , M.G. Richardson, Corrosion inhibitors for steel in concrete: State-of-the-art report, Construction and Building Materials 22 (2008) 609–622

Conclusions

Inhibitors when compared to the other corrosion protection methods have some advantages such as versatility and cost. Their use in concrete can help to delay the initiation of corrosion of the embedded steel exposed to chloride attack and carbonation. However, after the initiation of corrosion, their effectiveness was reported to be less significant despite some contradictory results. Therefore, there is need for more research on the parameters influencing effectiveness of new generation migrating corrosion inhibitors.

Beside the precorroded state of the steel, another significant issue for MCIs may be the difficulty of penetration. The side effects of the inhibitors on fresh and hardened were in general reported to be negligible. Some negative as well as positive side effects were also found in the literature. The data about the long-term performance of the inhibitors in real structures are very limited.



Autre état de l'art

B. Elsenier, Corrosion inhibitors for steel in concrete, 2011

Concluding Remarks

The use of corrosion inhibitors could be a promising technique in restoring reinforced concrete structures offering benefits as reduced costs and inconvenience of repairs. It has however to be taken into account that the use of corrosion inhibitors in repair systems is far less well-established than their applications as admixtures in new structures.

This paper presents the results and conclusions based on the available literature. As ten years ago [6] results are still contradictory in many points. A general agreement exists that mixed-in inhibitors with the correct dosage can strongly delay the onset of chloride-induced corrosion (by a factor 2 – 3 in time). Once corrosion has started no significant reduction in corrosion rate has been found.

On the basis of laboratory and also field tests the overall performance of surface applied organic and inorganic corrosion inhibitors intended to stop or at least reduce ongoing chloride induced corrosion cannot be considered positive. A successful treatment (best scenario) with surface applied inhibitors can be expected for low chloride contents ($< 0.5\%$) and low corrosion rates ($< 5 \mu\text{m}/\text{y}$) with inhibitor used as part of a proactive preventive maintenance strategy. For chloride contents above 1% and corroded reinforcement the inhibitor dosage has to be increased and a satisfactory result of the treatment can usually not be expected. For the case of corrosion due to carbonation there remain at least some doubts.

Conclusion sur les recherches

Diminution du nombre de publications depuis 2011

Pas de conclusions définitives

Peu d'études de longues durées

Peu de thèses sur le sujet en France

Pas de financement de recherche

Développement de nouveaux inhibiteurs naturels



Groupe de travail CEFRACOR

Commission Construction Bâtiment

Les inhibiteurs de corrosion pour le béton armé

Avis de la Commission Construction Bâtiment

V05 Novembre 2006

Rédaction inachevée – Consensus à trouver
(pas de diffusion publique de ce document)



CEFRACOR – Quelques généralités

Les fonctions et propriétés essentielles d'un inhibiteur sont les suivantes [*Les inhibiteurs de corrosion*, Francis MORAN Rencontre Cefracor 14 octobre 2004]:

- Abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico chimiques de ce dernier,
- Etre stable en présence des autres constituants du milieu en particulier vis-à-vis des oxydants,
- Ne pas modifier la stabilité des espèces contenues dans le milieu,
- Etre stable à la température d'utilisation,
- Etre efficace à faible concentration,
- Etre compatible avec les normes de sécurité,
- Etre peu onéreux.

Comme la propriété essentielle d'un inhibiteur est de diminuer la vitesse de corrosion d'un métal, son efficacité est résumée par la relation :

$$\text{Efficacité (\%)} = \frac{V_{1_{corr}} - V_{i_{corr}}}{V_{1_{corr}}}$$

- Avec $V_{1_{corr}}$ = vitesse de corrosion sans inhibiteur
- et $V_{i_{corr}}$ = vitesse de corrosion avec inhibiteur



CEFRACOR - Quelques recommandations

- Conditions de services et d'application: les recommandations des fournisseurs doivent être prises en considération
- Degré de saturation en eau du béton: L'absorption et la diffusion des inhibiteurs dans le béton dépendant du niveau de saturation en eau de celui-ci, l'application d'inhibiteur en zone de marnage par exemple n'est pas recommandée.
- Niveau de chlorures: L'efficacité des inhibiteurs dépend essentiellement du ratio chlorures – inhibiteur, tant au moment de la réparation que dans le temps. Un taux en dessous de 1% de chlorures libres par poids du ciment au droit de l'acier est généralement recommandé comme une limite permettant d'envisager l'utilisation de cette technologie, ce taux étant variable d'un produit à un autre.

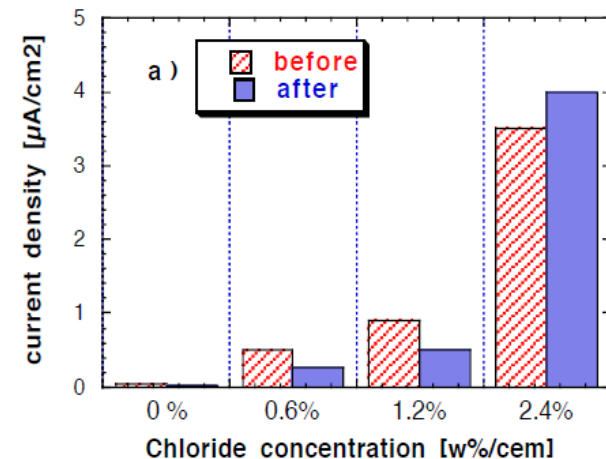
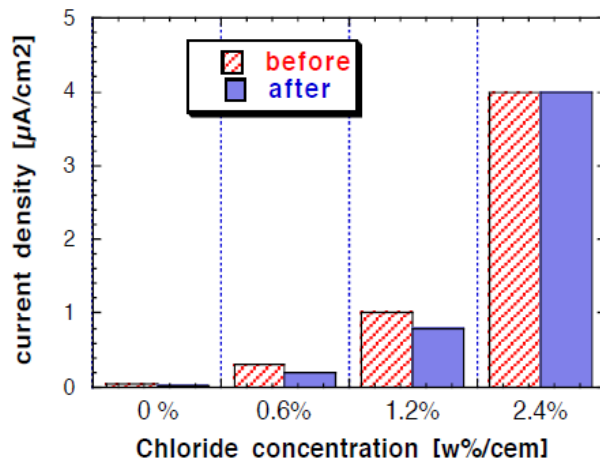


Figure 5: Corrosion rate of rebars in mortar (w/c 0.65) prior and after treatment with inhibitor. Left: MFP, right: proprietary alkanolamine based inhibitor, after Page et al. [5, 33, 34].

CEFRACOR - Quelques recommandations

- Etat de corrosion des aciers dans les zones de béton encore sain: Cet état a une influence importante sur les chances de succès de l'inhibiteur. Si la corrosion des aciers est déjà dans un état très avancée (sans avoir encore provoqué de dégâts apparents), il sera plus difficile pour l'inhibiteur de former un film protecteur homogène. Cette évaluation peut se faire d'une part avec une cartographie de potentiel par exemple, et d'autre part par une vérification du taux de chlorures dans les zones à risques.
- Caractéristiques de porosité/de densité du béton, en particulier du béton carbonaté: L'inhibiteur pour être actif, doit pouvoir pénétrer dans le béton et migrer jusqu'aux aciers. Il est donc évident que cette caractéristique doit être étudiée avant d'envisager l'utilisation des inhibiteurs – la pénétration et la migration de l'inhibiteur devant être validé par des essais de convenance sur site.
- Les considérations écologiques: L'étude initiale doit prendre en compte les contraintes d'hygiène et de sécurité ainsi que l'impact de l'utilisation du produit envisagé sur l'environnement



Groupe de travail CEFRACOR

Commission Construction Bâtiment

Plan expérimental : Détermination de l'efficacité des inhibiteurs de corrosion par essai in situ sur béton carbonaté

V04 Juin 2010

(la recherche d'un site avec béton carbonaté et accessible n'a pas aboutie)



Inhibiteurs de corrosion - Problématique



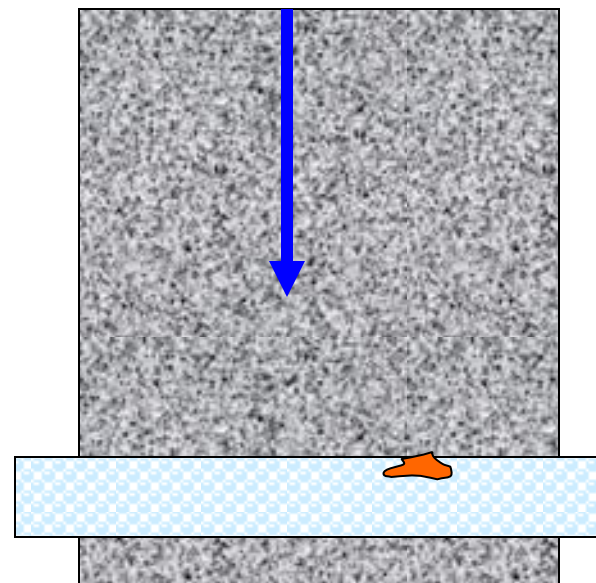
Pénétration dans le béton

- interactions
- mécanismes



Efficacité sur l'acier

- mécanismes
- teneur efficace



Préventif Curatif

Questions liées à l'utilisation d'inhibiteurs

- ✓ *Pénétration de l'inhibiteur dans le béton ?*
- ✓ Concentration nécessaire au niveau de l'acier pour que l'inhibiteur soit efficace ?
- ✓ Méthodes de mesure de l'efficacité?
- ✓ Arrêt ou au moins retardement de la corrosion ?
- ✓ Durée d'efficacité de l'inhibiteur au niveau de l'acier ?
- ✓ Effets à long terme : bénéfiques ou néfastes ?
- ✓ Comment juger de l'efficacité et quel intérêt des inhibiteurs quand plusieurs protections concomitantes ?

Merci pour votre attention

