

# Diagnostics des ouvrages d'art et durabilité



**Frédéric BOINSKI**

**CETE IDF/LEM/UCMOA**

**Journée technique CoTITA**

**Gestion des ouvrages d'art en Ile-de-France**

**Etat des lieux et perspectives**

**CETE-IF**



Au 1<sup>er</sup> janvier 2014, les 8 Cete, le Setra, le Certu et le Cetmef fusionnent pour donner naissance au Cerema : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement.

Crédit photo : Arnaud Bouissou/MEDDE

Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement - Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie  
**CETE Ile-de-France**

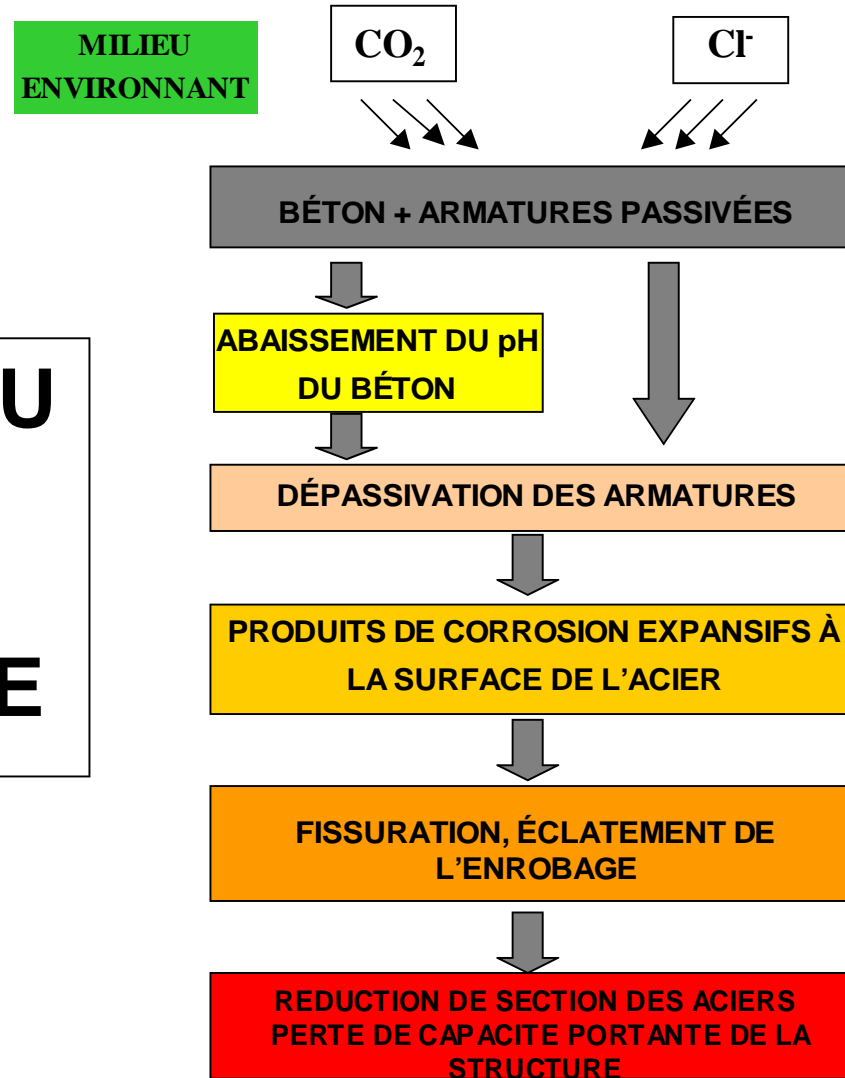
[www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)



Direction régionale  
et interdépartementale  
de l'Équipement  
et de l'Aménagement  
ILE-DE-FRANCE  
**CETE Ile-de-France**

# Introduction

## LOGIGRAMME DU PROCESSUS D'ALTERATION DU BETON ARME



# Les paramètres

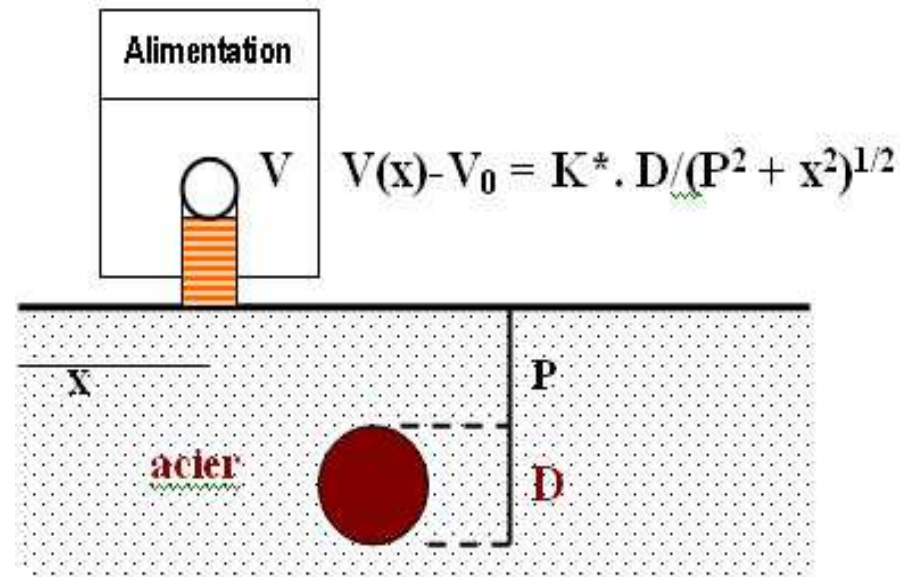
- Mesure de la profondeur d'enrobage et section des aciers
- Mesure de profondeur de carbonatation
- Détermination des profils de chlorures
- Evaluation de l'état de corrosion des aciers
- Perméabilité et résistivité de surface

# Principe de la mesure de profondeur d'enrobage

## Principe :

La mesure est basée sur le principe de détection électromagnétique. L'armature métallique perturbe le champ magnétique produit par un électroaimant alimenté en courant continu et dont la tension aux bornes est maximale à l'aplomb d'une armature.

- position –direction
- enrobage (épaisseur)
- diamètre (barre isolée)



*Le signal V du capteur atteint un maximum à l'aplomb d'une armature.*

*Si son diamètre D est connu, on obtient l'enrobage P.*

*V<sub>0</sub> est une constante de l'appareil, K\* dépend de l'appareil et du béton*

# Matériel utilisé



Le ferroskan

# Le signal

## Réponse de l'indicateur fonction de la densité d'acier

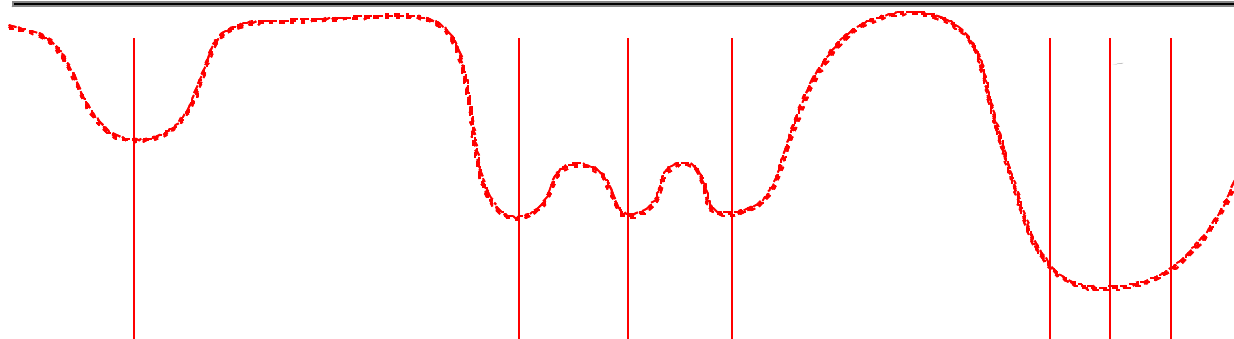
Appareil



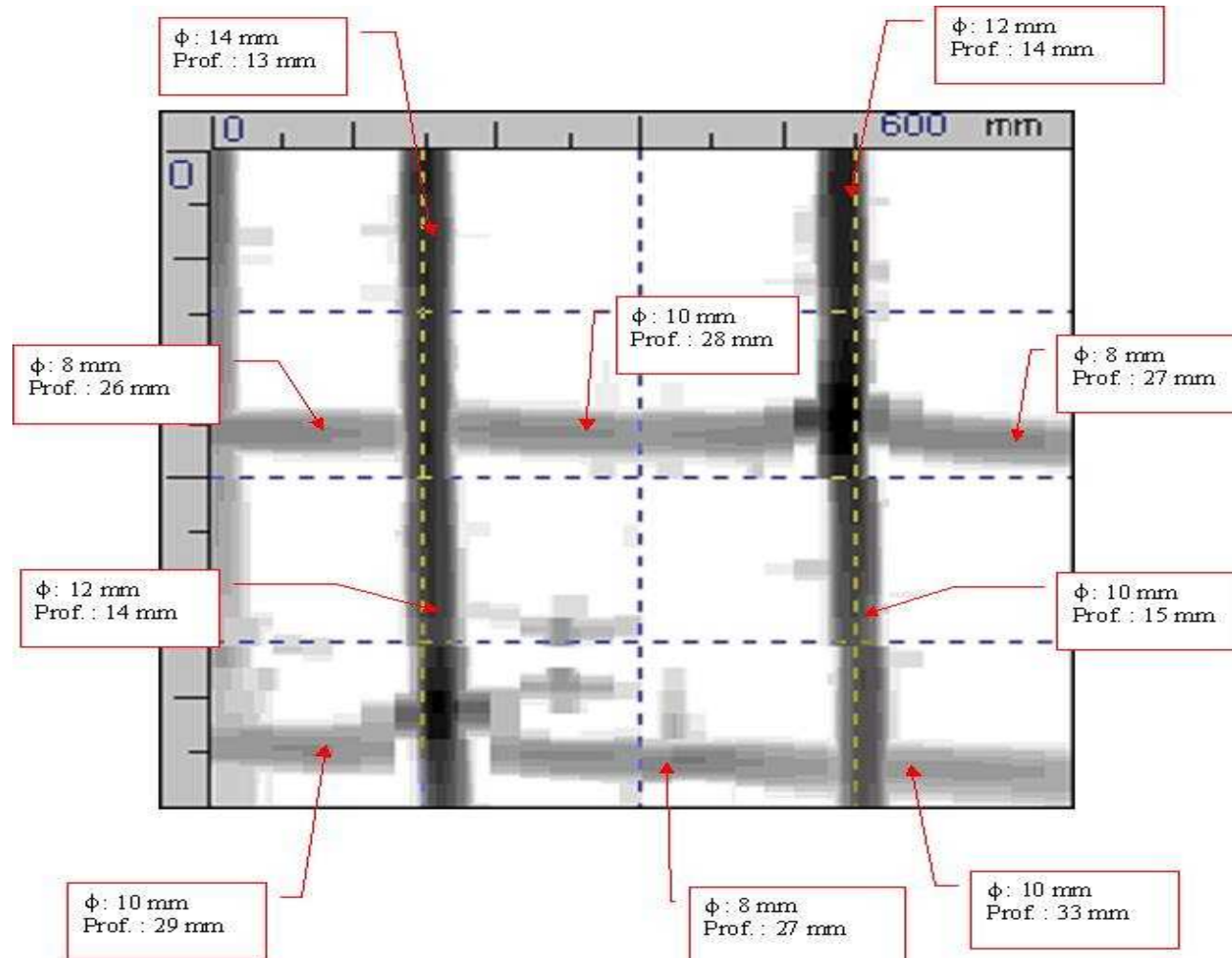
Aciers



Réponse

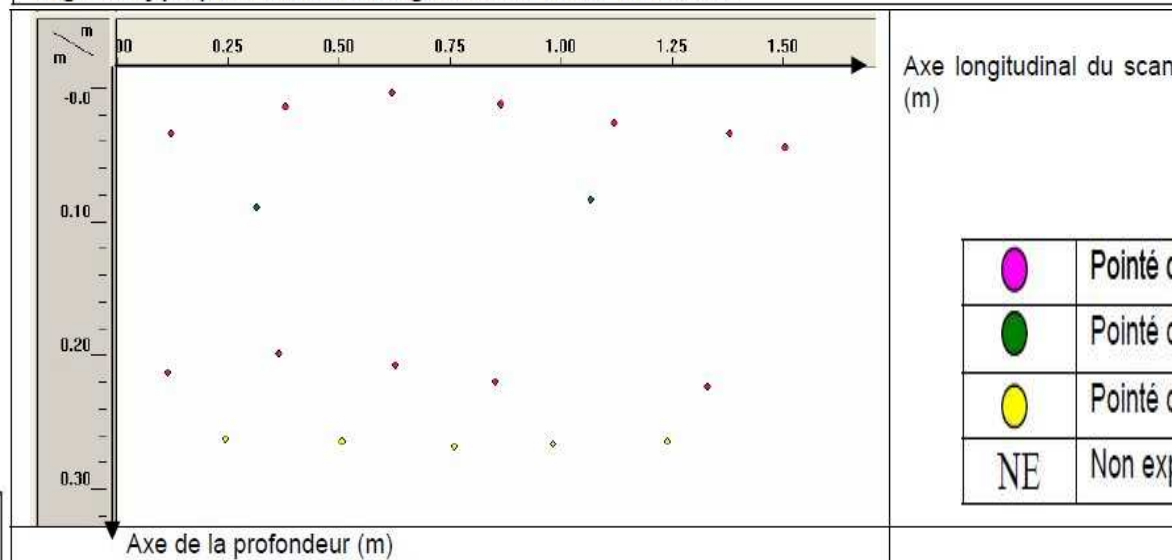
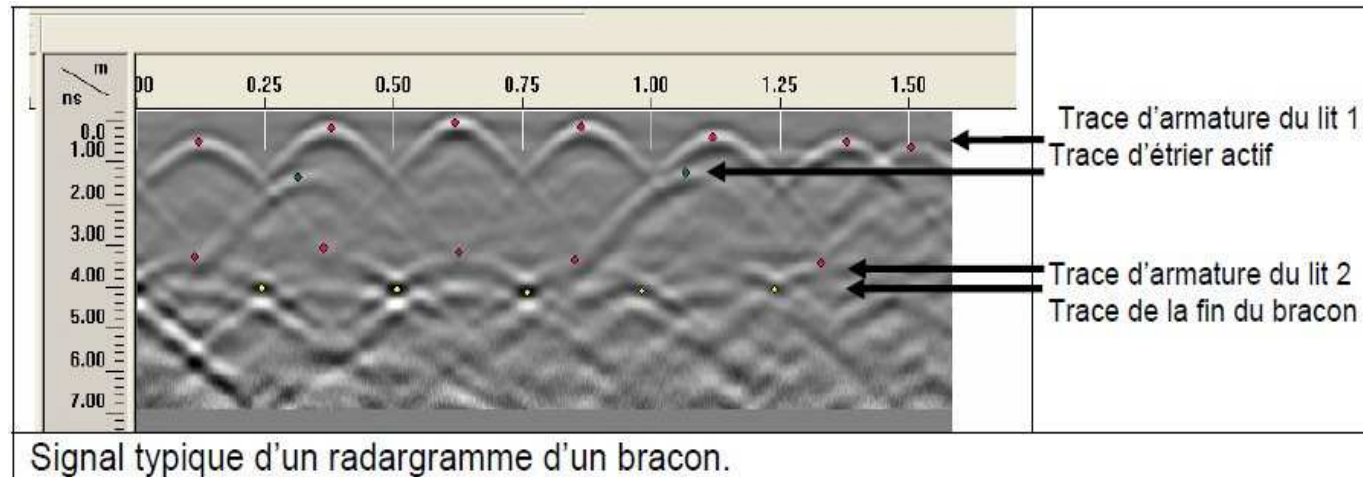


# Illustrations : Profondeur enrobage et diamètre des aciers



Exemple de cartographie obtenue avec le Ferroskan FS 10 - Zone de 60 cm x 60 cm (Doc LRPC Toulouse)

# La détection des aciers par le radar



	Pointé d'une armature
	Pointé d'un étrier actif (respectivement d'une gaine)
	Pointé de l'interface de fond (=épaisseur)
NE	Non exploitable

Légende

Zone de pointage des traces obtenues dans le radargramme

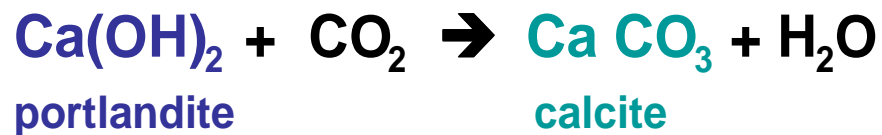


# La corrosion des aciers par carbonatation : Le phénomène

## Phénomène

Pénétration du CO<sub>2</sub> dans le béton

Transformation de la portlandite (chaux) en carbonate (en présence d'eau) :



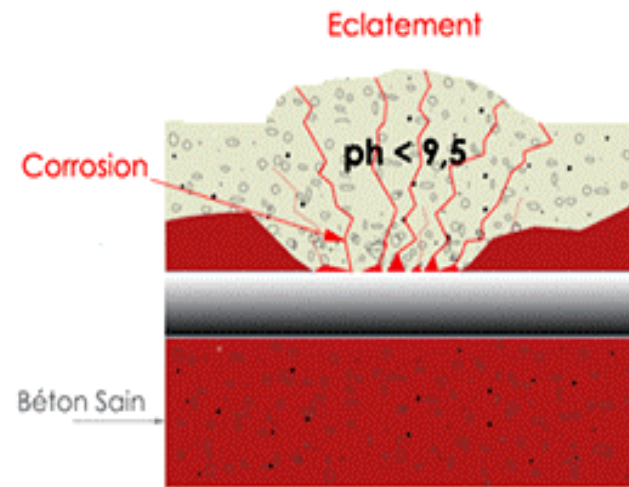
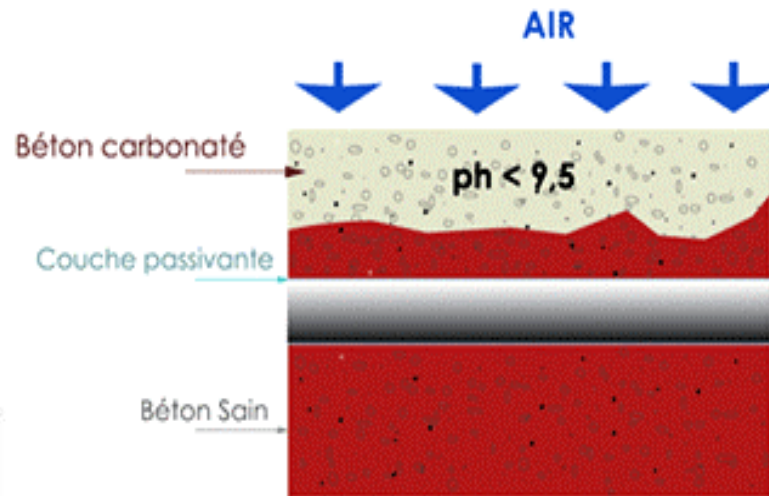
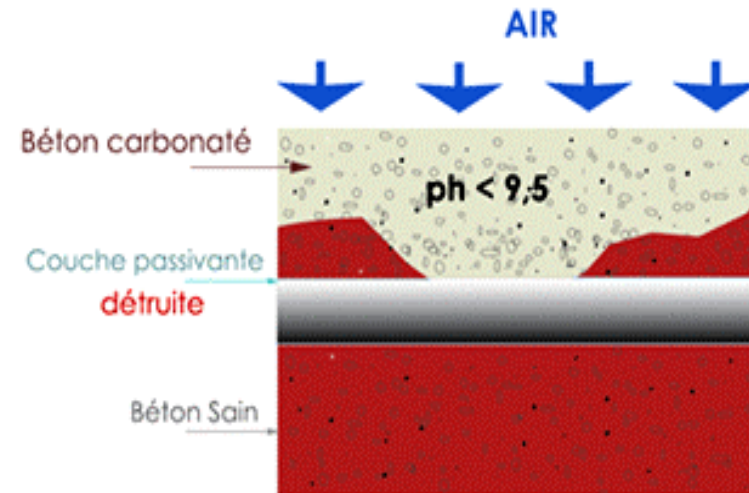
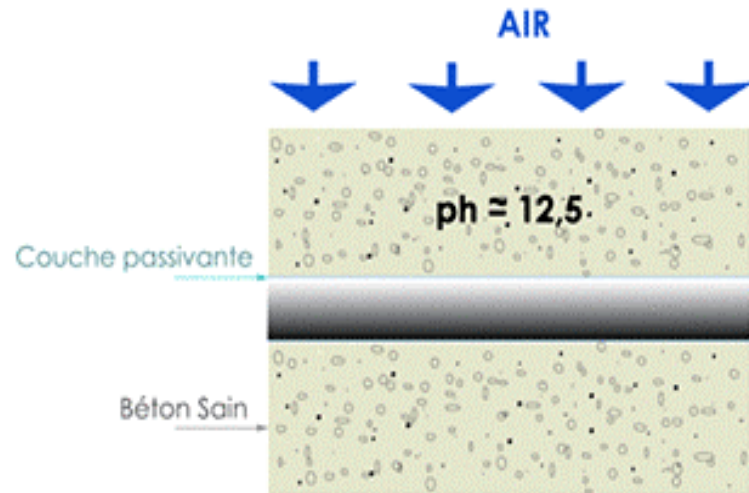
Abaissement du PH (13 → 9)

### **Conséquences :**

pas de problème pour le béton  
très néfaste pour les armatures :  
dépassivation et corrosion



# La corrosion des aciers par carbonatation : Le phénomène



# La corrosion des aciers par carbonatation : L'identification

## Moyens de diagnostic

### indicateur coloré (ex : Phénolphthaléine)

réactif coloré :

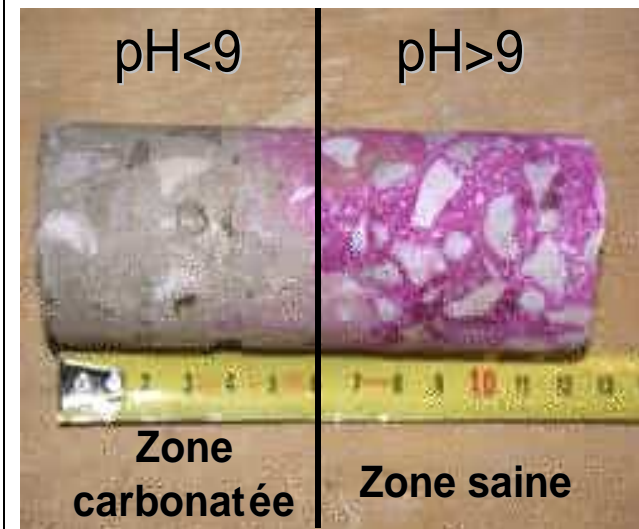
incolore sur béton carbonaté

rose sur béton sain

mesure sur une surface interne, fûche de béton

### en // mesure enrobage armatures

position du front de carbonatation => pronostic

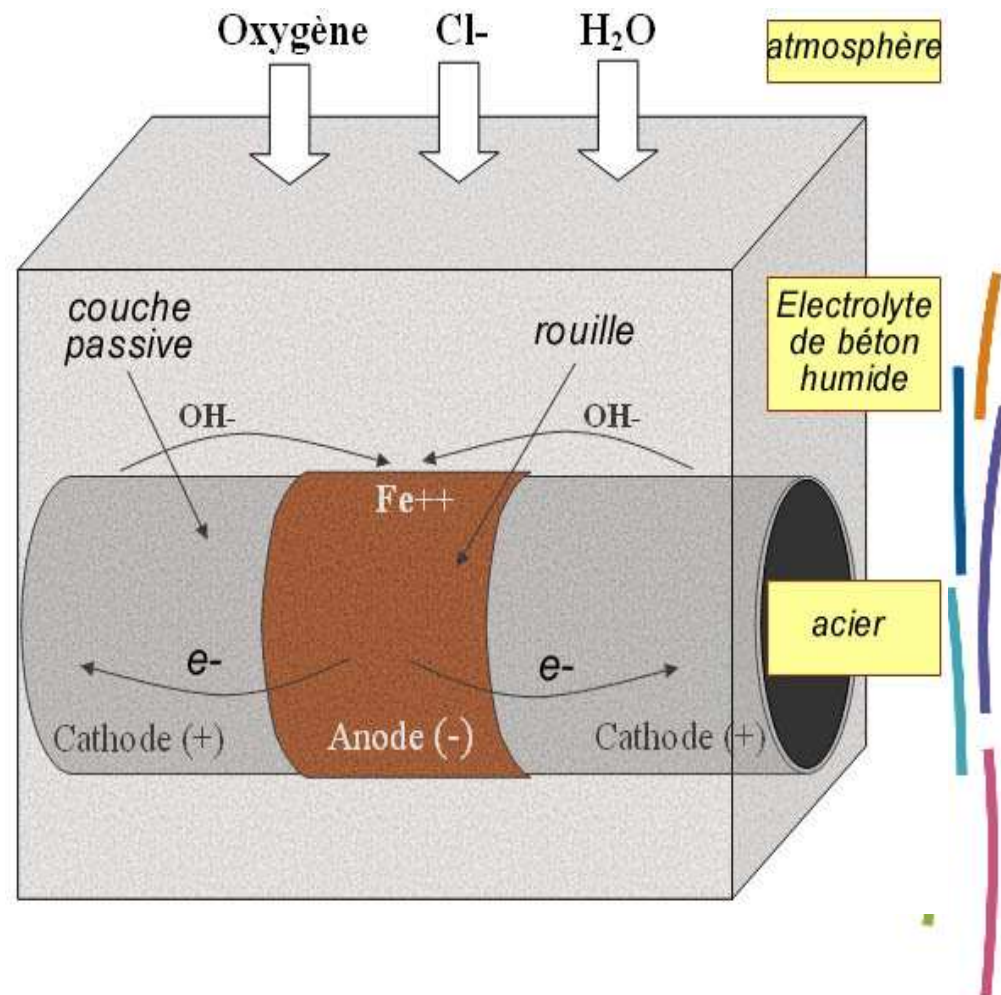


# La corrosion des aciers par les chlorures : Le phénomène

## Description du phénomène :

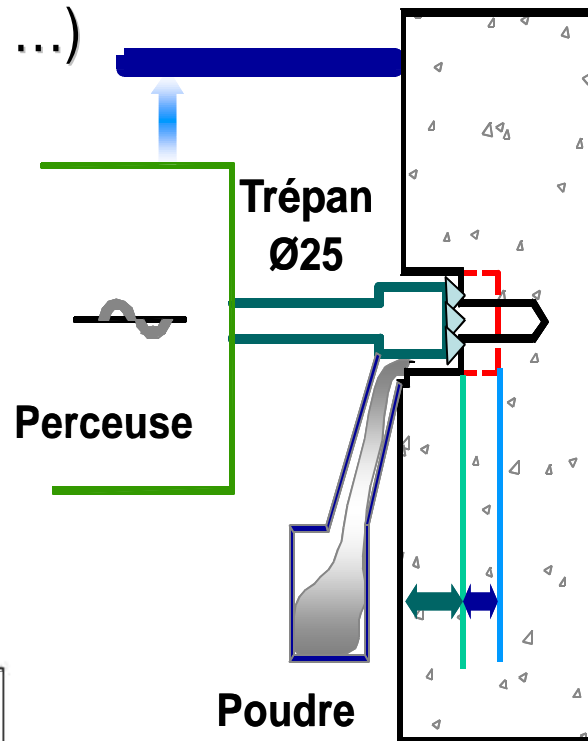
Au niveau du béton sain : Formation de produits protecteurs à la surface de l'acier.

- **Diffusion de chlorures** dans le béton
- Formation de produits instables : **dépassivation** et amorce corrosion
- **Diminution** progressive de la **section des aciers** .
- **Gonflement** des produits de corrosion
- **Eclatement du b éton** d'enrobage (réseau de fissures...)

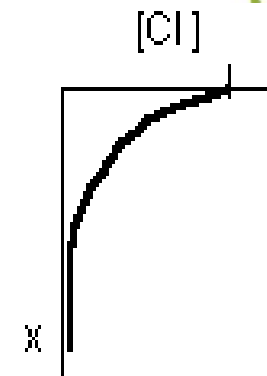
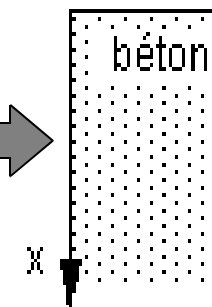


# La corrosion des aciers par les Cl : Le prélèvement

Dosage des Cl - dans des carottes ou poudres pr élevées au niveau de zones pertinentes de l'ouvrage (zones de coulures, ...)



Mise en solution des poudres puis titration par potentiométrie

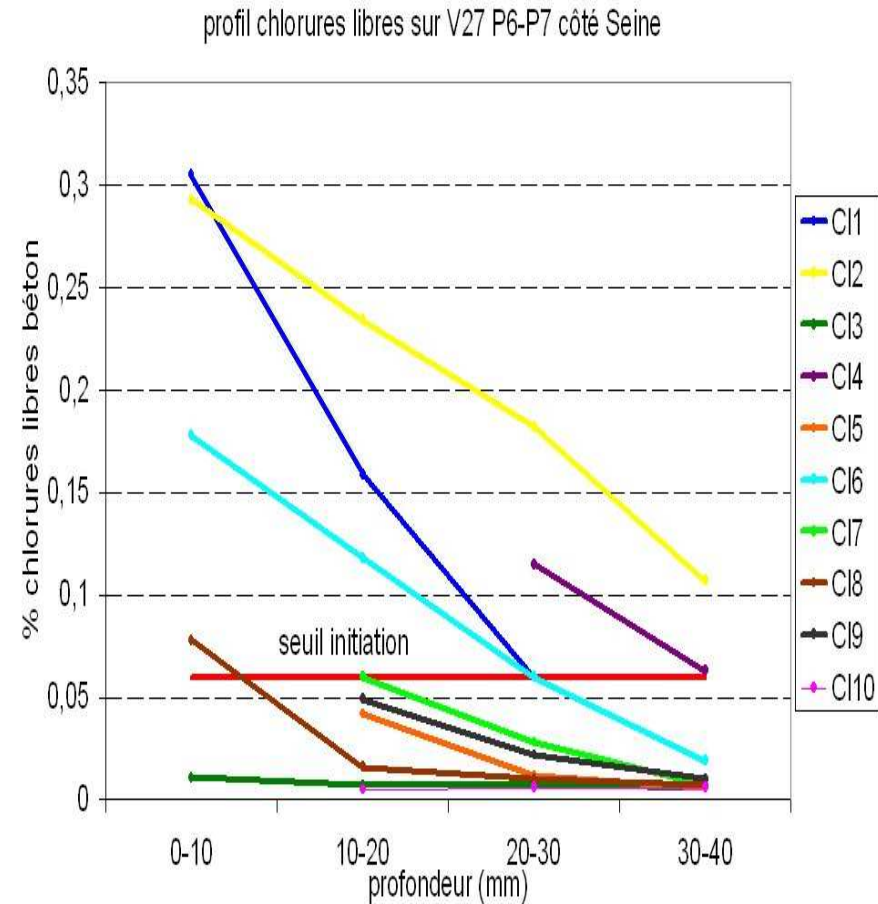


# La corrosion des aciers par les Cl : Les seuils

Si concentration en Cl<sup>-</sup> > 0,1 % du poids de béton (ou 0,4 % du poids de ciment), au niveau des armatures :

➤ *risque de corrosion*  
(cette valeur d'épends de la teneur en oxygène, pH du béton)

En // mesure enrobage armatures  
➤ *risque de corrosion*



# Observations de la corrosion

## *Moyens de diagnostic*

2 possibilités :

- Si armatures apparentes

→ Diagnostic immédiat....



- Pb : état des armatures dans les zones apparemment saines

→ **mesures de potentiel** des armatures

→ **mesures de vitesse** de corrosion  
(méthodes les plus courantes)

# Détermination de l'état de corrosion des armatures : le potentiel d'électrode

**Principe de la mesure :** le potentiel de corrosion de la demi-pile armature / béton est une tension mesurée par rapport à une électrode de référence placée en parement

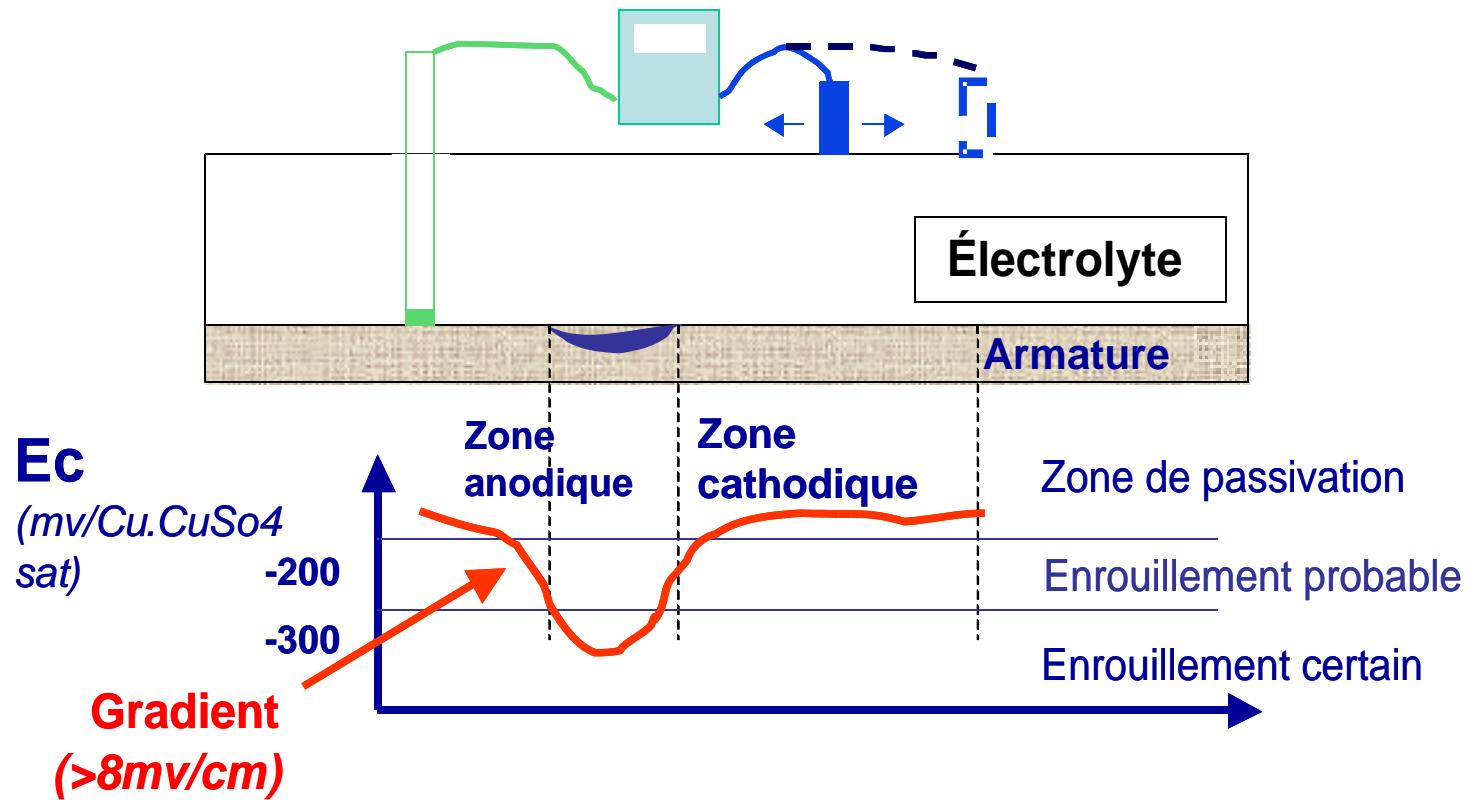


Photo G. Grimaldi



# Détermination de l'état de corrosion des armatures : le potentiel d'électrode

❑ Mesure du potentiel d'électrode : (interprétation qualitative des résultats)

(ASTM C876-91 avec électrode Cu/CuSO<sub>4</sub>)

si  $E > - 200 \text{ mV}$       Corrosion peu probable (Prob < 10%)

si  $-350 < E < - 200 \text{ mV}$       Corrosion possible (Prob = 50 %)

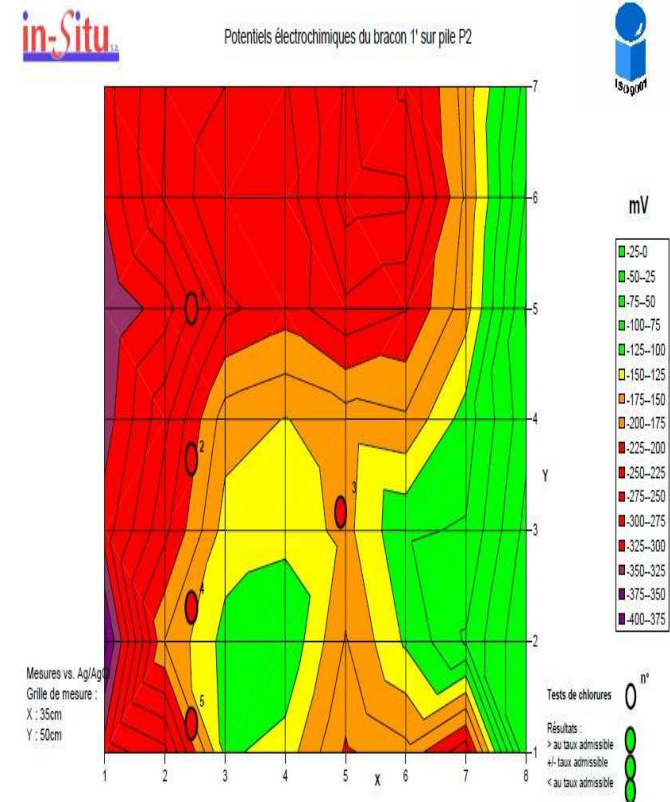
si  $E < - 350 \text{ mV}$       Corrosion très probable (Prob 50 à 90 %)

# Le potentiel d'électrode : Illustration

## Le Viaduc de Saint Cloud



Mesures de potentiels sur les parements du Viaduc de Saint Cloud



Cartographie de potentiels - Gradients -

# Le potentiel d'électrode : Les limites

## *Limites de la mesure :*

- Le ferrailage doit être **continu**
- Le béton doit être suffisamment **humide** pour assurer la conductivité
- pas de **revêtement** en surface pouvant agir comme **isolant**

## *Influence de certains paramètres sur les mesures:*

- L'hygrométrie en surface du béton modifie les mesures : une diminution de 100 mV peut être observée entre une mesure sur surface humide (après une forte pluie) et une mesure à l'état sec
- La carbonatation modifie la résistivité du béton : les potentiels sont plus positifs...
- La présence de chlorures augmente la conductivité de la solution : les potentiels deviennent alors plus négatifs

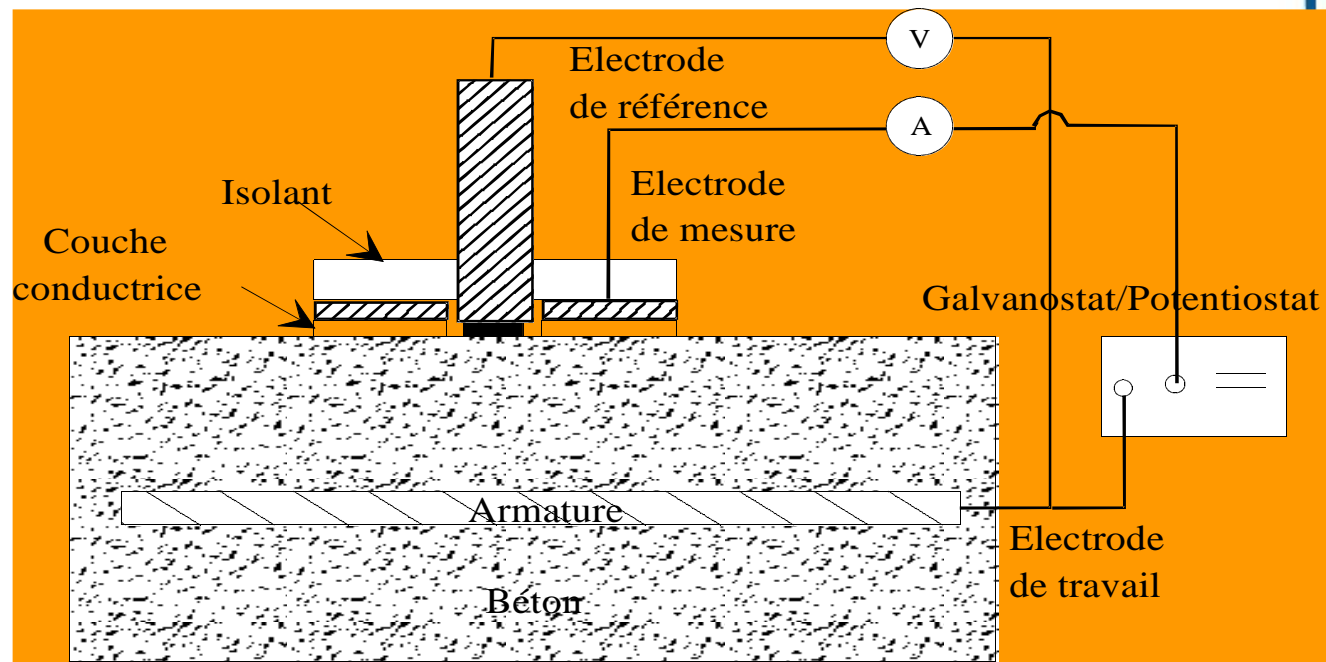


Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

# Détermination de l'état de corrosion des armatures : la vitesse de corrosion

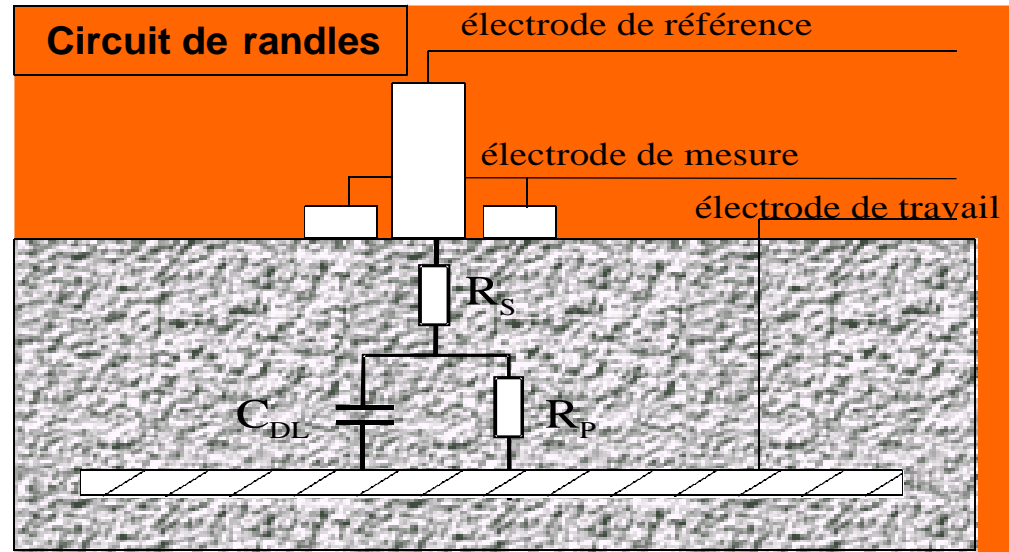
- ❑ Elle fournit une grandeur quantitative de l'état instantané de corrosion d'une armature
- ❑ Principe de la mesure : mesure de la réponse du système acier/béton à une perturbation électrique de faible amplitude ; elle fait appel à 3 électrodes :

- une électrode de référence
- Une électrode de travail reliée à l'armature
- Une électrode de mesure disposée en anneau autour de l'électrode de référence



# La vitesse de corrosion

0. Application d'un potentiel de faible amplitude dans l'armature et mesure du courant généré



1. Détermination de la résistance de polarisation  $R_p$ 
  - $R_p = \text{variation de potentiel imposée} / \text{courant mesuré}$
2. Détermination de  $I_{corr}$ 
  - $I_{corr} = B / R_p$  où  $B = cte$
3. Interprétation des mesures du courant de corrosion ( $\mu A/cm^2$ )
  - $I_{corr}$  inférieure à 0,1 : négligeable
  - comprise entre 0,1 et 0,5 : faible
  - comprise entre 0,5 et 1 : modéré
  - $I_{corr} > 1$  : élevé

$$1 \mu A/cm^2 = 10 \mu m/an$$

# La vitesse de corrosion : Les limites

## ☐ Limites :

- le ferrailage doit être continu
- pas de revêtement en surface pouvant agir comme isolant
- le béton doit être suffisamment humide pour assurer la conductivité

## ☐ Biais possibles

- l'estimation de l'aire de métal polarisée est difficile
- l'humidité du béton modifie les mesures (pas de loi simple ...)
- la température influe sur la mesure (pas de loi simple ...)
- les diverses lois utilisées reflètent partiellement la réalité
- la présence de chlorures perturbe les résultats ...

☐ **EN CONCLUSION : une méthode qui manque de référentiel et qui est affaire d'expert...**

# Conclusion

Récapitulatif des essais les plus couramment utilisés pour établir un diagnostic corrosion du béton armé :

- Mesure de profondeur d'enrobage des aciers
- Mesure de la profondeur de carbonatation
- Prélèvement pour détermination des profils en chlorures
- Mesure de potentiel d'électrodes

Moins couramment :

- Mesures de vitesse de corrosion
- Mesure de résistivité du béton
- Mesure de perméabilité à l'air du béton de surface

# FIN

