IMGC

DIAGNOSTIC, SURVEILLANCE ET EVALUATION

Les Techniques d'investigations et de diagnostic corrosion

MARDI 31 MAI – 11h20 – 11h40

FNTP – 3 Rue de Berri, 75 008 PARIS

En collaboration avec le CEFRACOR

TECHNIQUES D'INVESTIGATIONS ET DE DIAGNOSTIC CORROSION

Le moment de la maturité ?

Christophe MICHAUX, Sixense Engineering

LA DEMARCHE

Diagnostiquer pour mieux prescrire

La corrosion est un phénomène complexe

*Elle se développe souvent de façon **cachée.***

L'éclatement du béton d'enrobage n'est que le **symptôme apparent** de la pathologie.

- **Nécessités :**

  Bien comprendre la ou les pathologies

  Définir les quantités et volumes à réparer

- **Objectif:**

  la prescription la mieux adaptée techniquement et économiquement

LA CORROSION DES ARMATURES DES BETONS ARMES

Christophe MICHAUX, Sixense Engineering

BESOIN DE COLLECTER LES DONNEES FONDAMENTALES

- Données de l'ouvrage (DOE)
- Diagnostic sur site

Christophe MICHAUX, Sixense Engineering

Les données fondamentales du diag.

Matrice béton: pollutions chimiques
- **Carbonatation (laboratoire)**
- **Profils en chlorures (laboratoire)**

Armatures:
- **Type**
- **Localisation**
- **Enrobages**
- **Statut réel**

Mesures électriques:
- **Continuité des armatures**
- **Cartographie de potentiels d'armatures**
- **Résistivité**
- **Vitesses de corrosion**

Autres analyses utiles:

- Dosage et Nature ciment
- PH
- Sulfates
- Alcalins

PATHOLOGIES - POLLUTIONS

- CO_2
- Chlorures

Christophe MICHAUX, Sixense Engineering

MATRICE BETON

Carbonatation – action du CO_2 ambiant

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \xrightarrow[pH \searrow]{H_2O,\ NaOH} CaCO_3 + H_2O$$

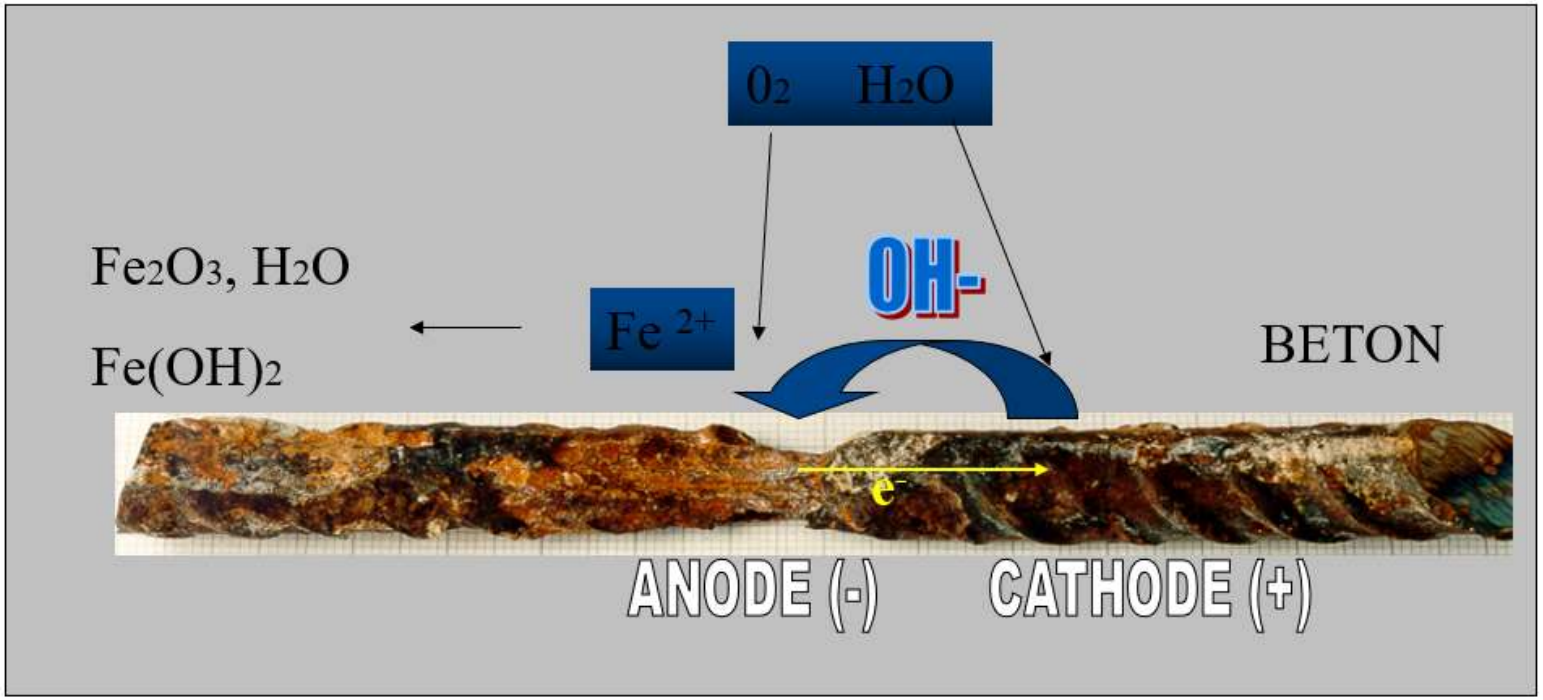
- Réduction du pH de 13 à 8-9 (réaction acide – base)
- Libération de chlorures liés chimiquement
- Destruction de la couche protectrice de passivation

  (voir diagramme de Pourbaix; on détruit la couche passivante et on oxyde)
- En présence de O_2 et H_2O, apparition de corrosion généralisée

MATRICE BETON

La corrosion initiée par le CO_2

- CARBONATATION

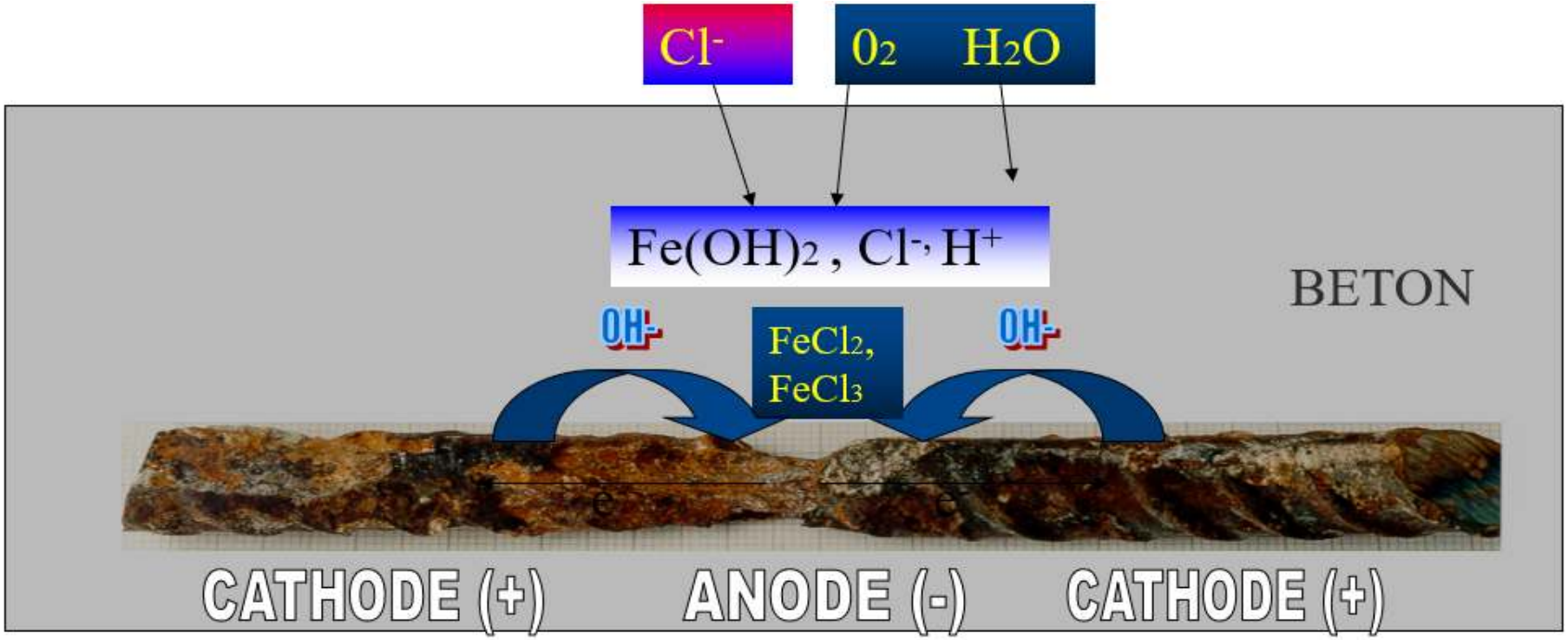


ANODE : Fe→ Fe^{2+} + 2 e^- CATHODE : H_2O + 1/2 O_2 → 2OH-

MATRICE BETON

La corrosion initiée par les chlorures

- ACTIONS DES CHLORURES



$$Fe + 3\,Cl^- \rightarrow FeCl_3 + 2\,e^-$$

$$FeCl_3 + 2\,OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 + 3\,Cl^-$$

ARMATURES

- Type
- Localisation
- Enrobage
- Continuité
- Statut et pertes de diamètre

Christophe MICHAUX, Sixense Engineering

Armatures

Localisation et enrobage – méthodes électromagnétiques

Basse Fréquence : pachomètre





Haute Fréquence : radar





Statistique et profils d'enrobages

ARMATURES

Continuité électrique



Mesure de résistance entre armatures distantes

Multimètre en position mesure de résistance

- La valeur ohmique mesurée doit être < 1Ω et stable.
- La même mesure est répétée en inversant les polarités de l'appareil (pince rouge sur masse et noir sur armature).
- La valeur ohmique mesurée doit être < 1Ω et stable.

ARMATURES

Autopsie et statut réel











Aucune méthode non destructive ne permet de mesurer de façon fiable les pertes de diamètre des armatures corrodées; quid de l'évaluation des piqûres?

MESURES ELECTRIQUES

- Cartographies de Potentiels
- Mesure de la résistivité
- Mesure de la vitesse de corrosion

Christophe MICHAUX, Sixense Engineering

Mesurer un potentiel d'électrode

Produire des cartographie de potentiels électrochimiques

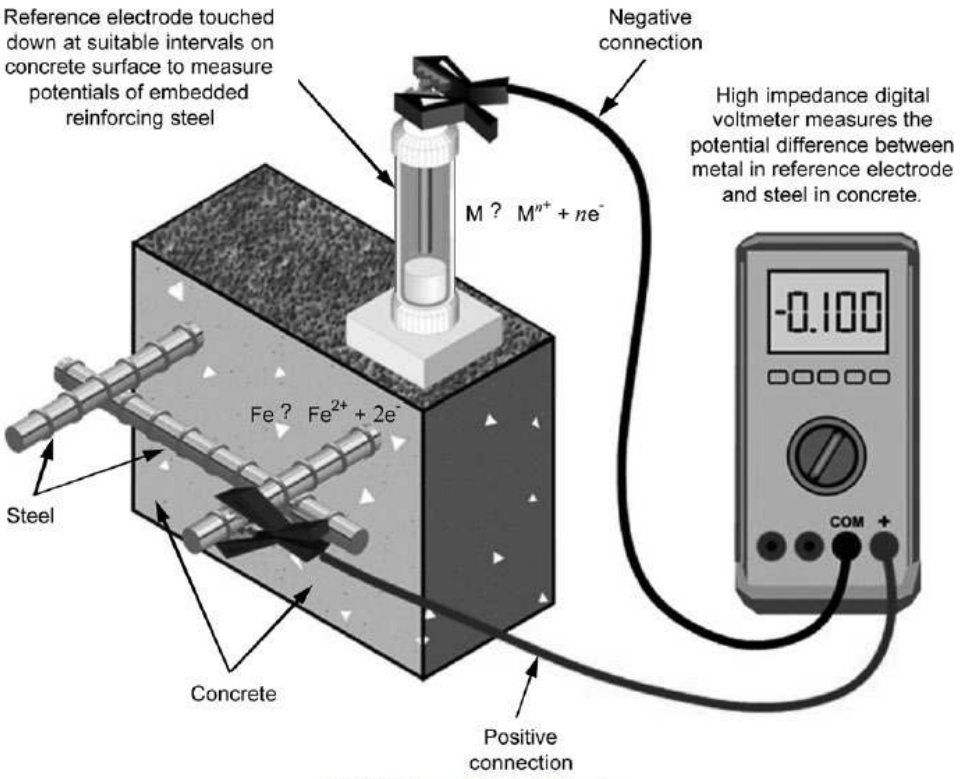
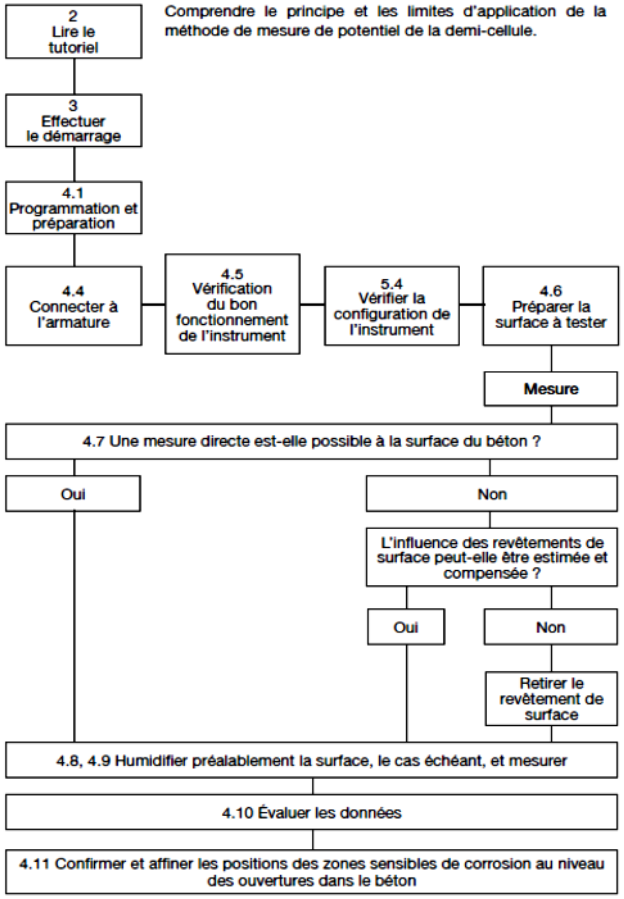


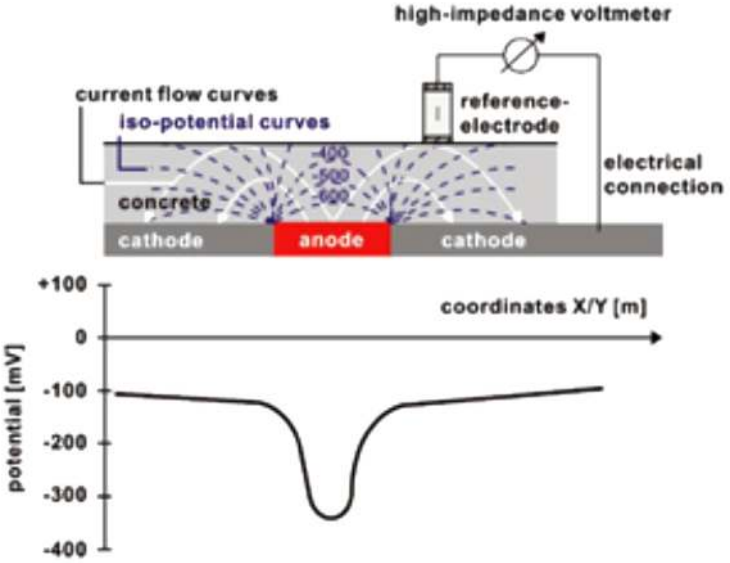
FIG. 1 Reference Electrode Circuitry

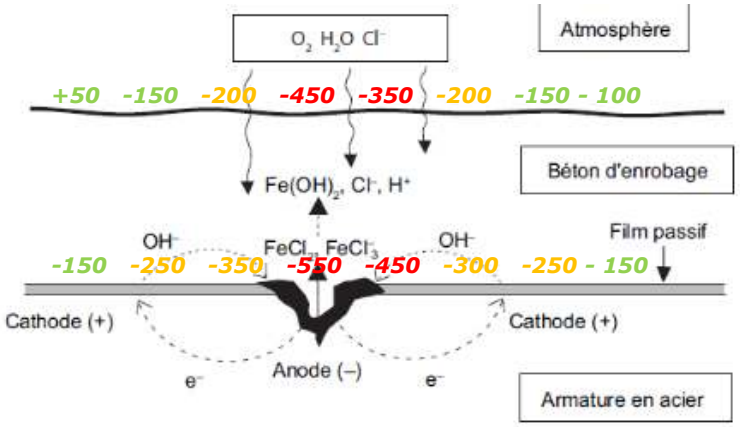


Mesurer un potentiel d'électrode

Produire des cartographies de potentiels électrochimiques

- Mesure de potentiel d'électrode: une électrode de référence est appliquée à la surface du béton pour mesurer la différence de potentiel (mV) entre l'armature et la surface du béton. Ces mesures indiquent l'endroit où la corrosion est susceptible d'être présente





Analyse des cartographies de PEC

Les recommandations; bases à l'analyse

- RILEM Technical Committee (TC) 154 – Electrochemical Techniques for Measuring Corrosion (EMC) Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion **Recommendations Half-cell potential measurements – Potential mapping on reinforced concrete structures** - 2003.

- COST 509
  Corrosion and protection of metals in contact with Concrete - 1997

- ASTM C876 - 09 Standard Test Method
  Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete – 2012

- Guide méthodologique de diagnostic (CEFRACOR) en cours de révision

→ Analyser les cartographies en valeurs absolues et en gradients

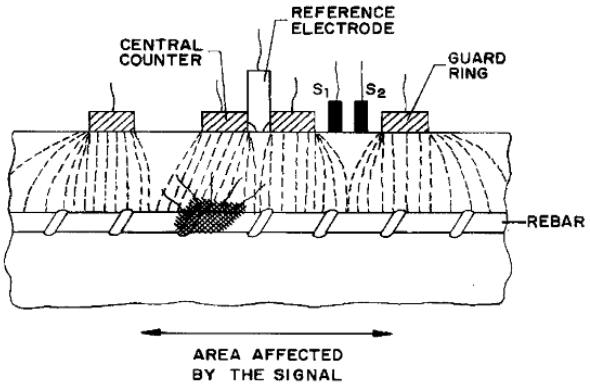
→ Croiser l'analyse avec les autopsies d'armatures dans les zones anodiques et cathodiques

→ Faire les premières évaluations croisées sur site

Autres mesures électriques

Vitesses de corrosion

- Les mesures de résistance de polarisation au **laboratoire** sont fiables et représentent un réel élément d'analyse
- Elles ne sont pas directement déclinables sur site
- Les mesures de vitesses de corrosion sur site sont sujettes à caution mais peuvent être vues comme une donnée complémentaire à croiser avec les mesures de potentiels d'électrodes.
- Si on décide de les utiliser, ne pas les considérer comme une donnée absolue, mais plutôt comme un complément dans l'analyse.







Autres mesures électriques

Résistivité





Mesures type Méthode Wenner :

Autres méthodes:

A utiliser en analyse croisée en complément des mesures de potentiels

EVALUATION et ANALYSES CROISEES

Christophe MICHAUX, Sixense Engineering

EVALUATION

Analyses croisées de données de diagnostic

- Est-ce que la corrosion est possible?

  ➡ Croisement données carbonatation et chlorures versus enrobage

- Comment la corrosion se développe-t-elle; quelles sont les surfaces touchées ?

  ➡ Cartographie PEC versus /visuel /Cl-/CO_2/ enrobage/autopsies

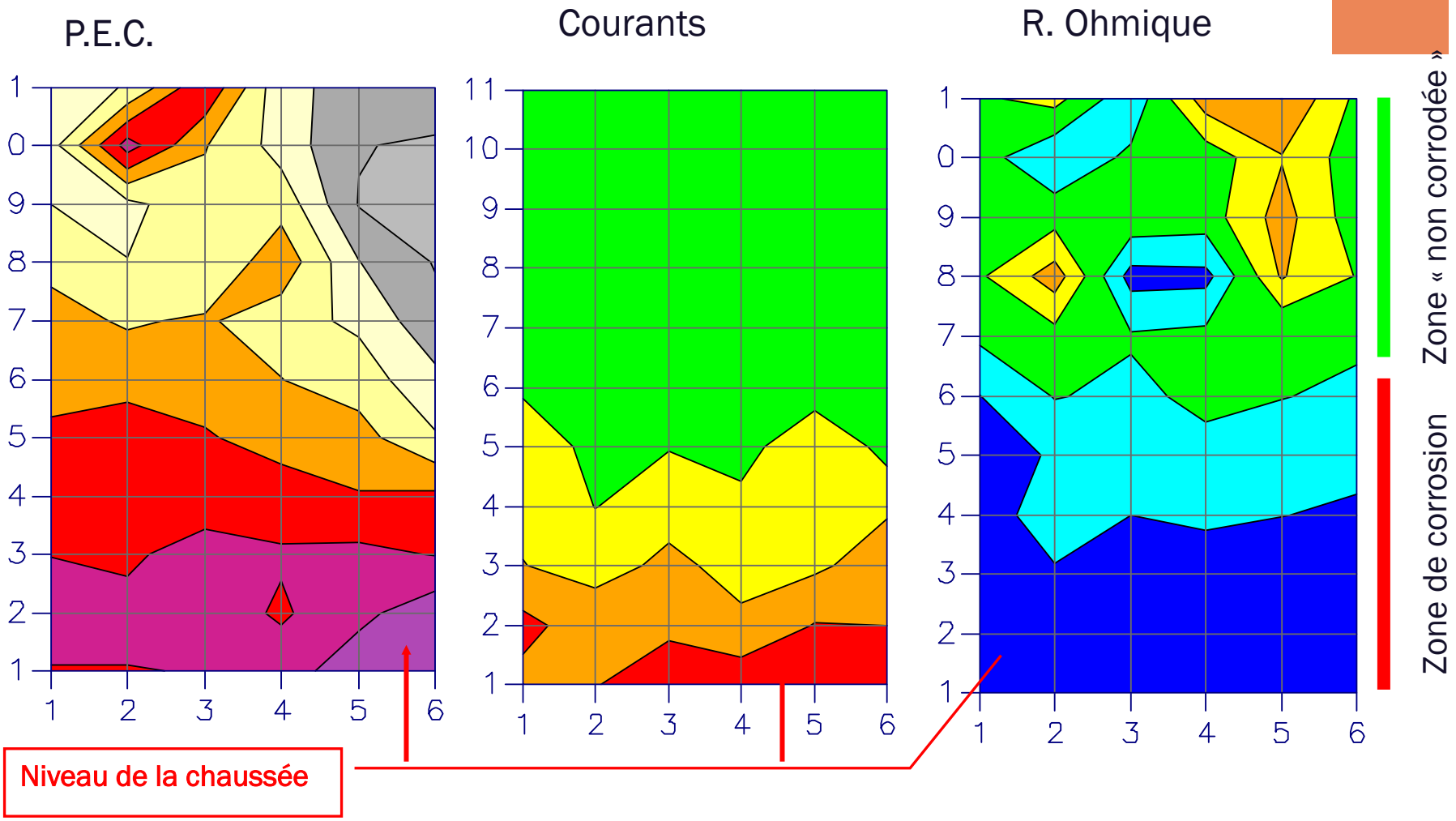
Constat avant mesure

Peu de désordres visibles



MESURES ELECTRIQUES

Image de la corrosion d'une face d'une pile



MESURES ELECTRIQUES

Analyse croisée PEC – Enrobage - Sondage

PI 3995 - Culée C5
Ech.: 1/50

HA Ø12, enr. 42 mm
Oxydation superficielle
Profondeur carbonisation de 9mm



- Photographie générale de la zone -



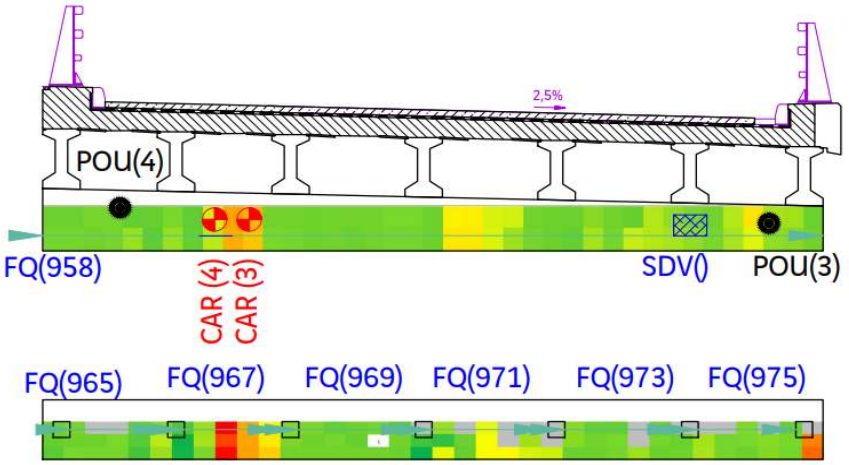
- Photographie du sondage -

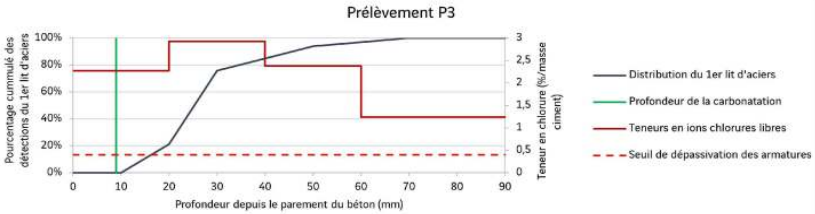


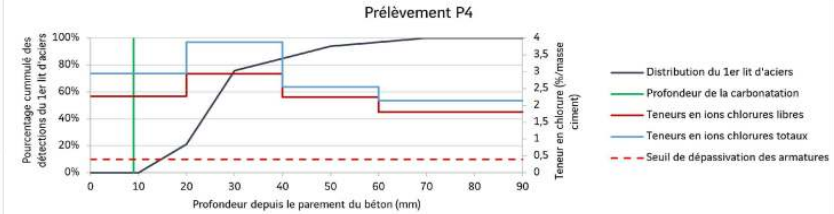
- Cartographie d'enrobage des aciers du premier lit -



- Cartographie de potentiels d'électrode -



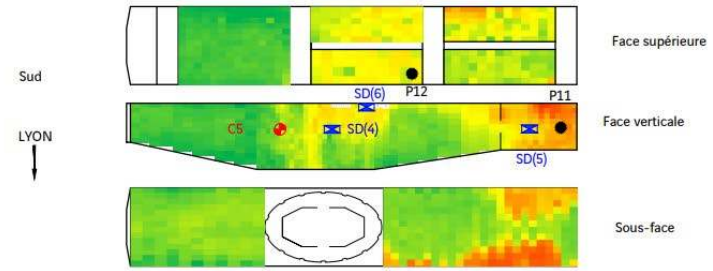




MESURES ELECTRIQUES

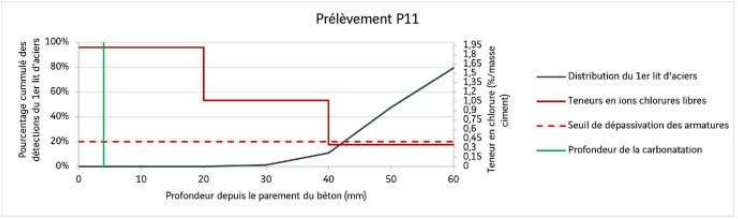
Analyse croisée PEC – Enrobage - Sondage

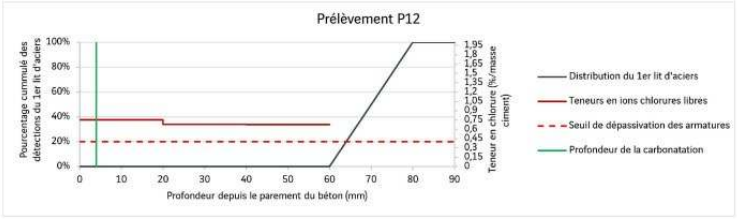
Chevêtre Pile P4 Sens 2
Ech.: 1/100





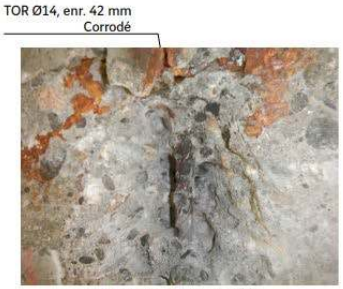
- Photographie générale de la zone -







- Photographie du sondage SD(4) -



- Photographie du sondage SD(5) -



- Photographie du sondage SD(6) -

UNE AFFAIRE DE SPECIALISTES

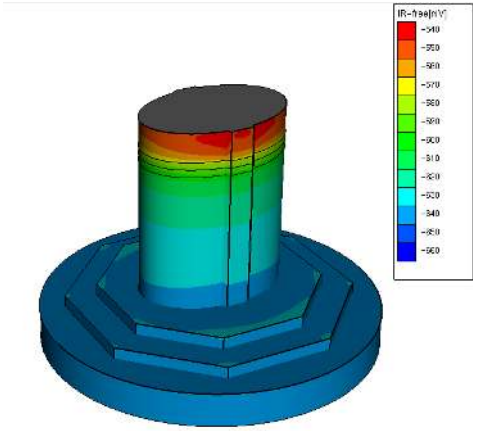
- Influence oxygène
- Corrosion bactérienne
- Courants vagabonds

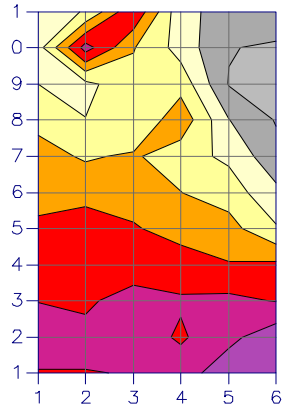
Christophe MICHAUX, Sixense Engineering

UNE AFFAIRE DE SPECIALISTES

Influence de l'oxygène

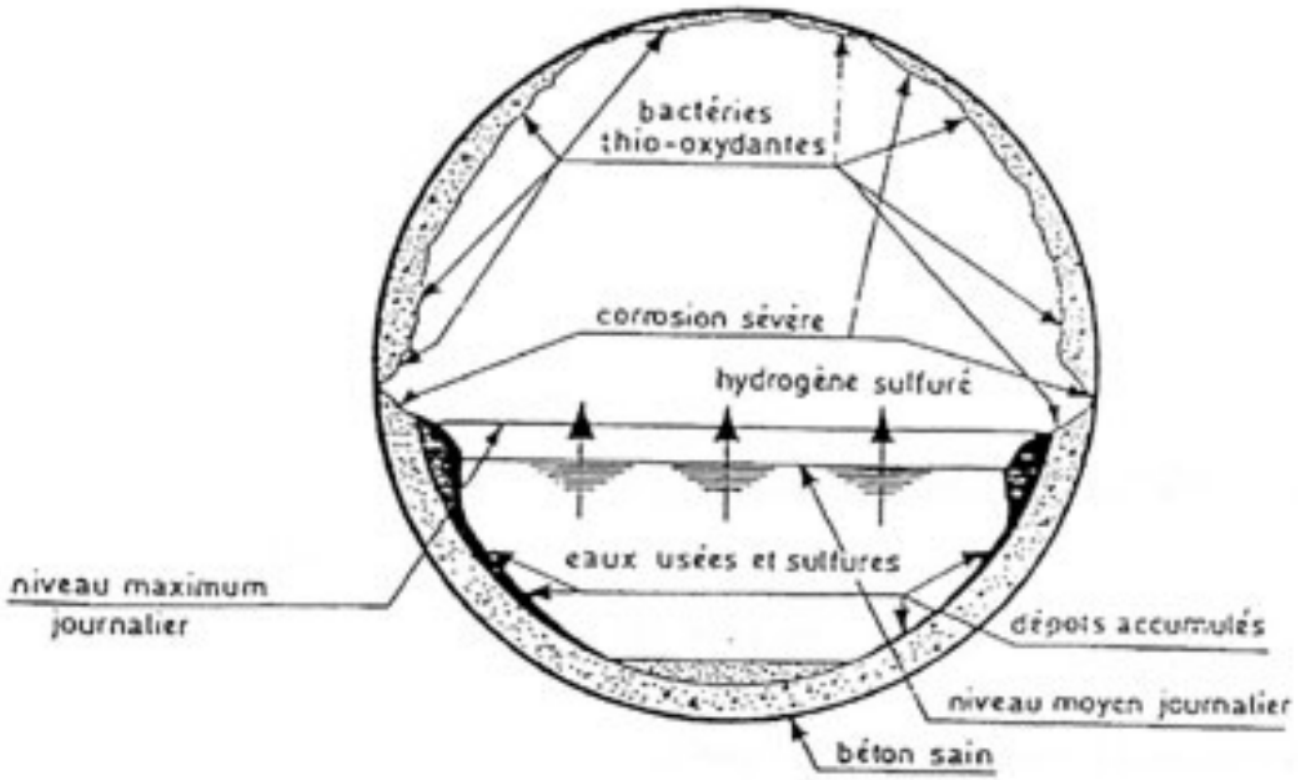
- La démarche telle que discutée prend pour base une corrosion « ionique ».
- Les effets « macro-cells », la concentration en oxygène, peuvent venir perturber l'analyse:
- Cas des piles en mer ou des pieds de pile humides





UNE AFFAIRE DE SPECIALISTES

Corrosion bactérienne



UNE AFFAIRE DE SPECIALISTES

Courants vagabonds

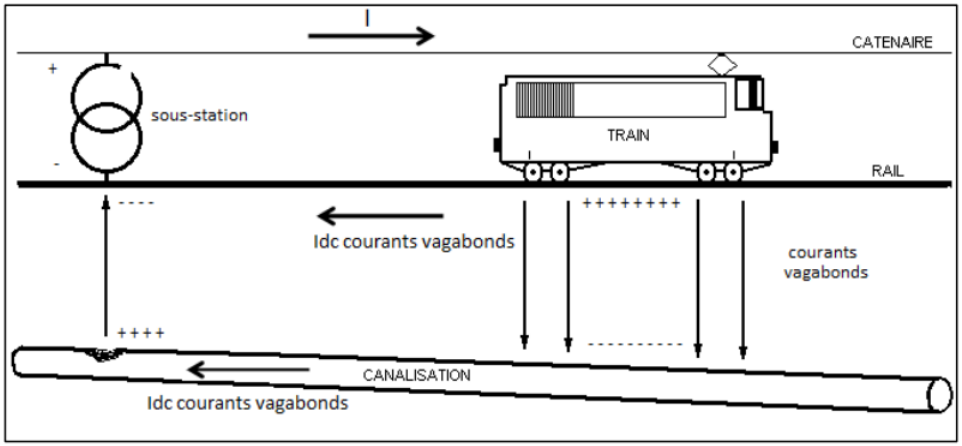


Figure 3 : Courants vagabonds DC

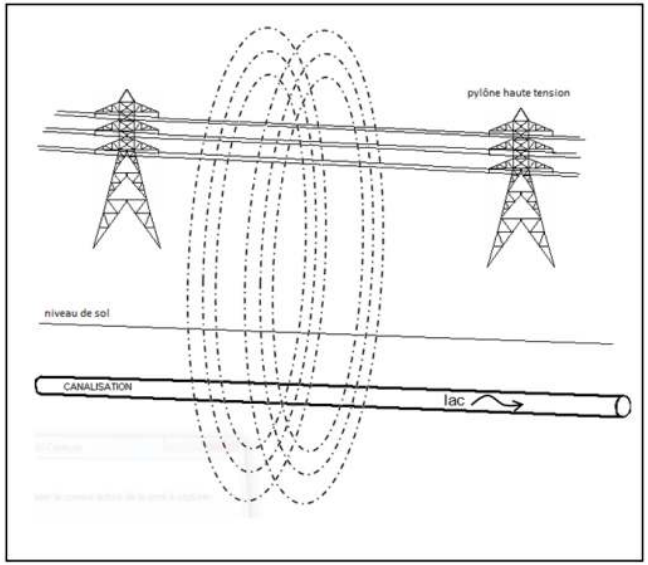


Figure 2 : Courant alternatif induit

LE POINT DE VUE « EUROPEEN »

Christophe MICHAUX, Sixense Engineering

LE POINT DE VUE « EUROPEEN »

- Le point de vue discuté ici semble faire consensus en Europe; deux échanges viennent étayer ce point. Tous deux insistent:
  - Statistique de test et représentativité du diagnostic?
  - Maturité technique: oui, peu de sauts technologiques attendus
  - Diffusion au niveau de toutes les parties prenantes ?
  - Besoin de mieux encadrer le diagnostic et la prescription

- Roberto Giorgini, CORPRE,

"The Dutch KB-Kenniscentrum "

- Torsten Eichler, CORR-LESS | Isecke & Eichler Consulting GmbH & Co. KG

"DGZfP Expert Committee for Non-Destructive Testing in Civil Engineering Subcommittee Corrosion Proof for Reinforced Concrete"