

# Predicor: Mesure en temps réel de la vitesse de corrosion

Liège, le 3 mai 2011



# Recherche RW Predicor

- ⌘ Monitoring in situ et prédiction à temps courts de la dégradation de matériaux métalliques (01/04/08 au 31/12/2010)
  - ⌘ Mise au point d'une méthode pour mesurer la vitesse de corrosion de matériaux métalliques (mesure électrochimique « instantanée »)
  - ⌘ Cibler les types de mesures qui fournissent les informations les plus pertinentes sur le comportement du métal
  - ⌘ Sélectionner et tester un capteur de corrosion industriel disponible dans le commerce

# CONDITIONS D'EXPOSITION

- ⌘ Corrosion uniforme des aciers de construction
  - ⌘ Circuits de refroidissement (différentes duretés)
  - ⌘ Circuits de refroidissement contenant des inhibiteurs de corrosion
- ⌘ Corrosion uniforme des aciers pour cylindres de laminoirs
  - ⌘ Eau de refroidissement traitée contre la prolifération de bactéries (détermination de vitesse de corrosion)

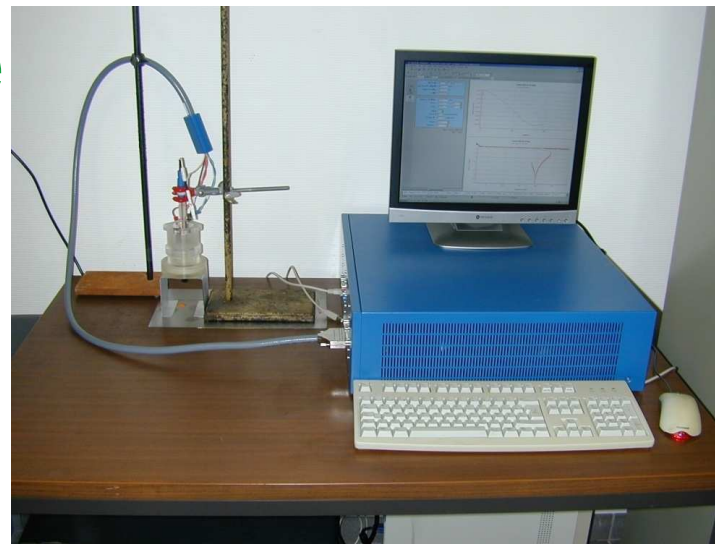
# CONDITIONS D'EXPOSITION

- ⌘ Corrosion localisée des aciers inoxydables
  - ⌘ Eau + NaCl (Tours de refroidissement)
  - ⌘ Milieux acides + Cl<sup>-</sup> (laveurs de fumées d'unités d'incinération de déchets ménagers)

# Equipements de mesure



Capteur industriel



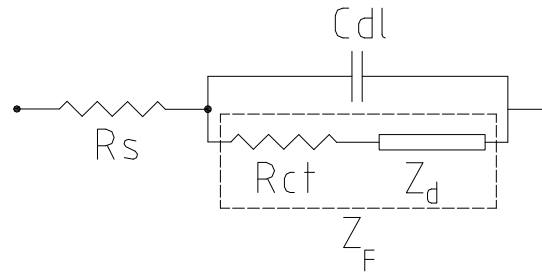
Potentiostat – Tests statiques



Simulateur de tuyauteries

©CRM Group - All rights reserved for all countries. Cannot be disclosed, used, or reproduced without prior written specific authorization of CRM Group - CONFIDENTIAL - Privileged Information - CRM Group proprietary information.

# Circuits équivalents



- Résistance de polarisation

$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I}$$

- Courant et vitesse de corrosion

$$i_{corr} = \frac{B}{R_p}$$

$$CR = k \cdot i_{corr}$$

$$B = ??$$

# Distorsion des harmoniques

## ⌘ Principe

- ⌘ Impose une évolution sinusoïdale au potentiel de l'échantillon testé  $\zeta = U_0/2 \cdot \sin(\omega t)$
- ⌘ Perturbation de faible amplitude pour éviter d'altérer la surface de l'échantillon
- ⌘ Perturbation de basse fréquence pour pouvoir négliger l'influence du comportement capacitif de la double couche d'Helmholtz (c'est la non linéarité de  $R_p$  qui induit les harmoniques)

# Distorsion des harmoniques

## ⌘ Réponse en courant

$$i(\omega \cdot t) = \underbrace{\frac{1}{2} \cdot i_{\text{corr}} \left( \frac{1}{\beta_c} + \frac{1}{\beta_a} \right)}_{H1} \cdot U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) + \underbrace{\frac{1}{4} \cdot i_{\text{corr}} \left[ \frac{-1}{(2\beta_c^2)} + \frac{1}{(2\beta_a^2)} \right]}_{H2} \cdot U_0^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)^2 + \underbrace{\frac{1}{8} \cdot i_{\text{corr}} \left[ \frac{1}{(6\beta_c^3)} + \frac{1}{(6\beta_a^3)} \right]}_{H3} \cdot U_0^3 \cdot \sin(\omega \cdot t)^3$$

## ⌘ Courant de corrosion

$$i_{\text{corr}} = \frac{H1^2}{\sqrt{48(2 \cdot H1 \cdot H3 - H2^2)}}$$

©CRM Group - All rights reserved for all countries. Cannot be disclosed, used or reproduced without prior written specific authorization of CRM Group - CONFIDENTIAL - Privileged Information - CRM Group proprietary information.



# Du courant de corrosion à la vitesse de corrosion

$$CR = K1 \cdot \frac{i_{corr}}{\rho} \cdot EW$$

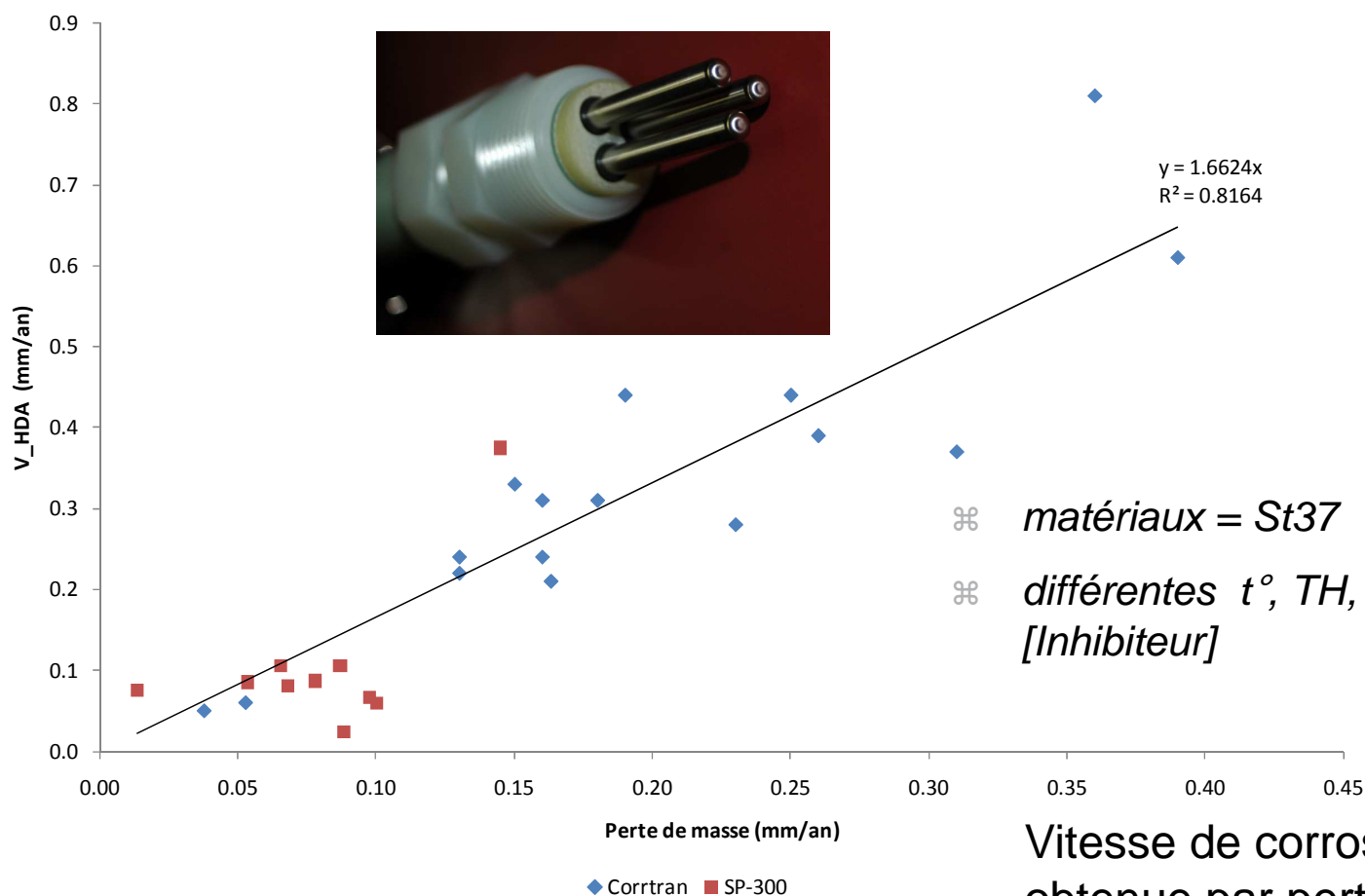
- ⌘ -  $i_{corr}$  est la densité de courant de corrosion (mA/cm<sup>2</sup>)
- ⌘ - CR est la vitesse de corrosion en mm/an,
- ⌘ - K1 est le coefficient de Faraday qui dépend des unités utilisées,
- ⌘ - EW est le poids équivalent qui définit la perte de masse induite par le passage d'une unité de courant,
- ⌘ -  $\rho$  est la masse volumique du matériau métallique.

# Techniques utilisées (Corrosion uniforme)

- ⌘ PC - courbes de polarisation (analyse qualitative de la corrosion, méthode destructive)
- ⌘ T - méthode de Tafel (détermination directe du courant de corrosion, méthode destructive)
- ⌘ LP - polarisation linéaire (détermination de la résistance de polarisation, méthode non destructive)
- ⌘ HDA - analyse de la distorsion des harmoniques (détermination directe du courant de corrosion, méthode non destructive)
- ⌘ EIS - spectrométrie d'impédance (détermination de la résistance de polarisation et analyse qualitative de la corrosion, méthode non destructive (film étanche/poreux, diffusion, ...))

# Principaux résultats : corrosion uniforme

Vitesse de corrosion déterminée à partir des mesures électrochimiques HDA (mm/an)

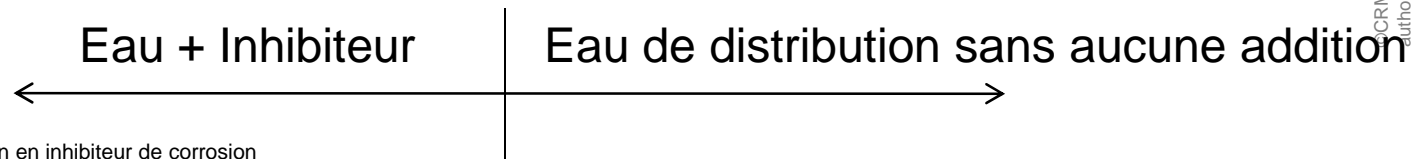
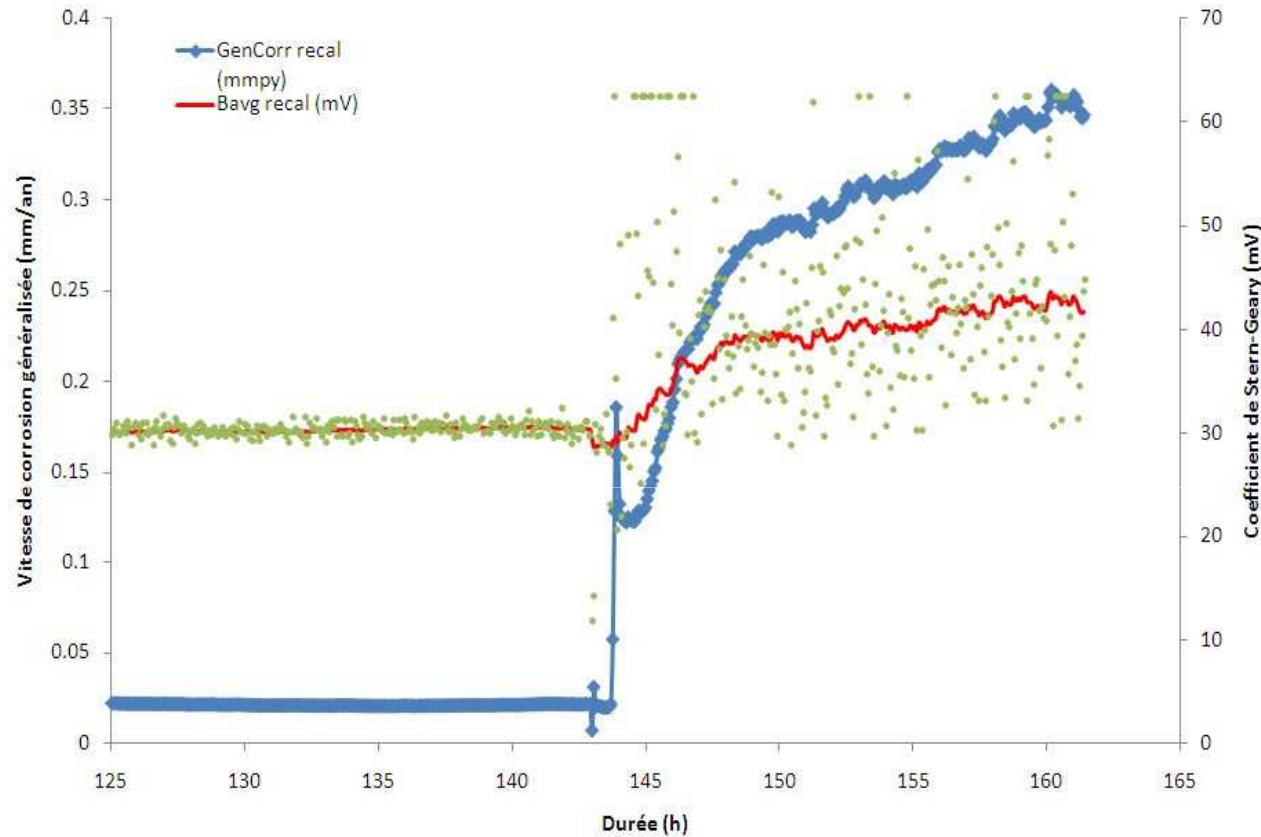


Vitesse de corrosion obtenue par pertes de masse (mm/an)

©CRM Group - All rights reserved for all countries. Cannot be disclosed, used, or reproduced without prior written specific authorization of CRM Group - CONFIDENTIAL - Privileged Information - CRM Group proprietary information.

# Principaux résultats : corrosion uniforme

Vitesse de corrosion déterminée à partir des mesures électrochimiques HDA (mm/an)

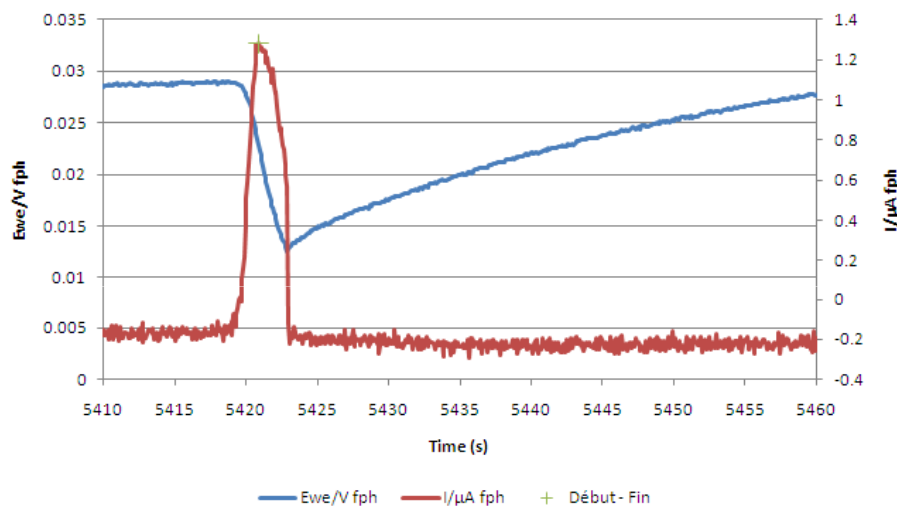


Montre les possibilités de réguler la concentration en inhibiteur de corrosion  
Montre le caractère quasi-instantané des mesures

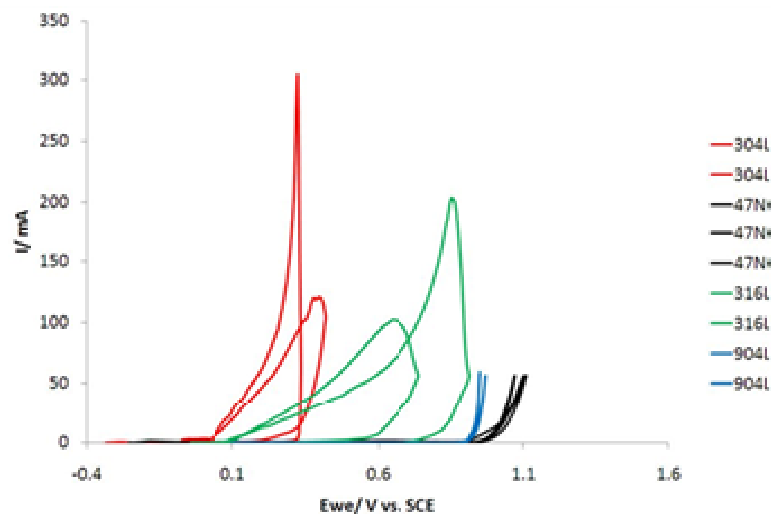
CRM Group - All rights reserved for all countries. Cannot be disclosed, used, or reproduced without prior written specific authorization of CRM Group - CONFIDENTIAL - Privileged Information - CRM Group proprietary information.

# Principaux résultats : corrosion localisée

Détection de la corrosion par piqûres (bruit électrochimique, indice de localisation)



Sensibilité à la piqûration (classement des nuances, polarisation cyclique)



Indice de localisation	Type de corrosion
$0.001 < IL < 0.01$	Corrosion uniforme
$0.01 < IL < 0.1$	Mix uniforme – localisée
$0.1 < IL < 1$	Corrosion localisée

©CRM Group - All rights reserved for all countries. Cannot be disclosed, used, or reproduced without prior written specific authorization of CRM Group - CONFIDENTIAL - Privileged Information - CRM Group proprietary information.

# Intérêts pour les laboratoires et l'industrie

- Avantages de techniques utilisées
  - Non destructives
  - Fournissent une mesure quasi-instantanée de la vitesse de corrosion
    - Utiles pour le contrôle des installations industrielles
    - Complémentaires aux mesures de pertes de masse lors des essais de corrosion courts qui nécessitent d'être extrapolés. La vitesse de corrosion est rarement constante au cours du temps (dépassivation, formation de patines protectrices, ...)
- Limitations
  - Précision attendue +/- 20%
  - Un étalonnage est régulièrement nécessaire