

# Bienvenue au Workshop #3

22 mai 2026, Toulouse

GIS DECADES  
**D**urabilité **E**t **C**orrosion des  
**A**rmatures **D**ans les ouvrag**E**s  
en béton intégrant ou non des  
**S**olutions bas carbone



# Les aciers inoxydables pour une meilleure durabilité du béton armé dans les environnements fortement chlorurés

**Sébastien MIGNOCCHI (Swiss Steel Group, France)**

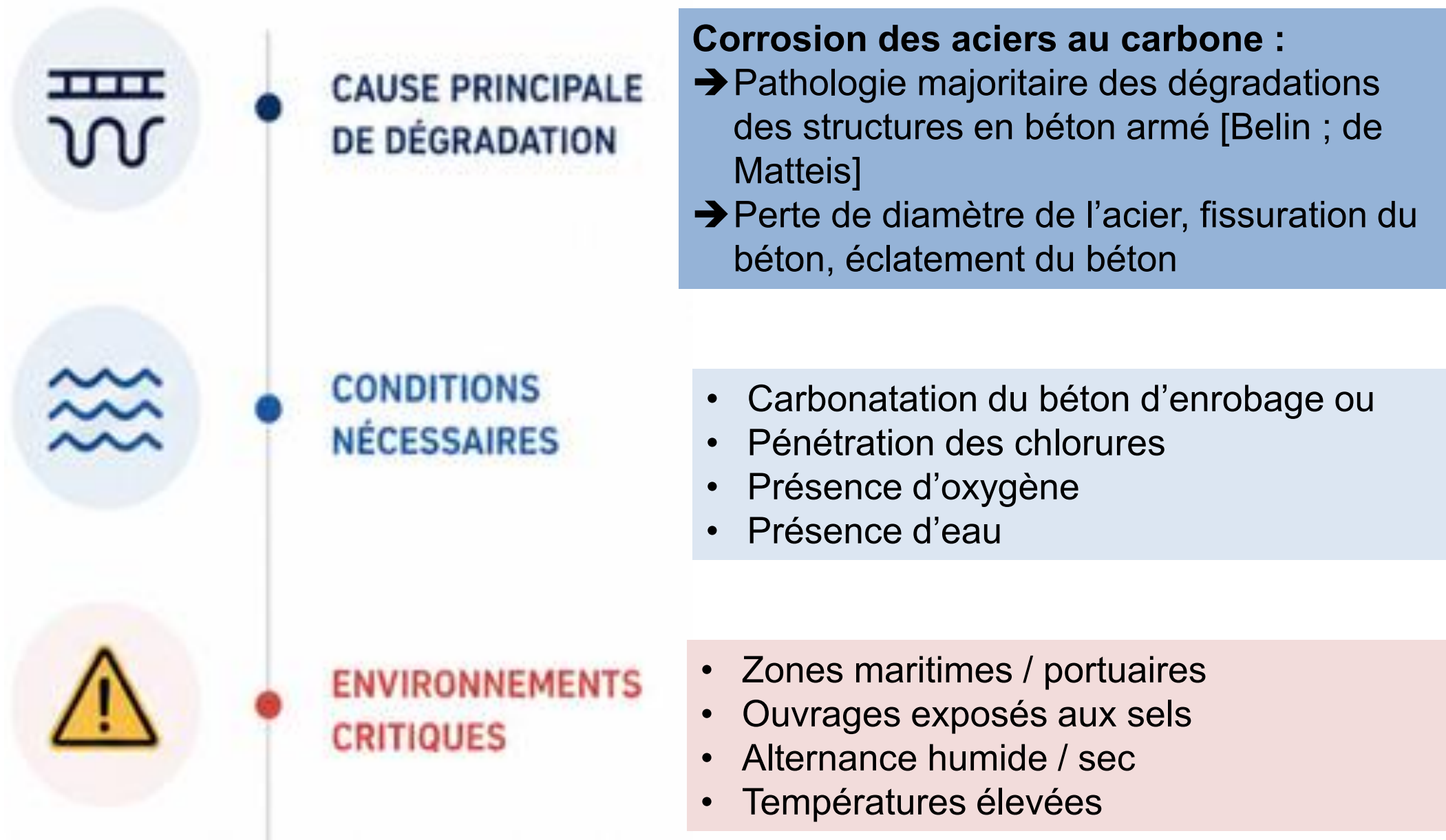
&

Véronique BOUTEILLER, Thierry CHAUSSADENT, Amandine BONNET, Victor DA-SILVA, Renaud-Pierre MARTIN  
(Univ. Gustave Eiffel)

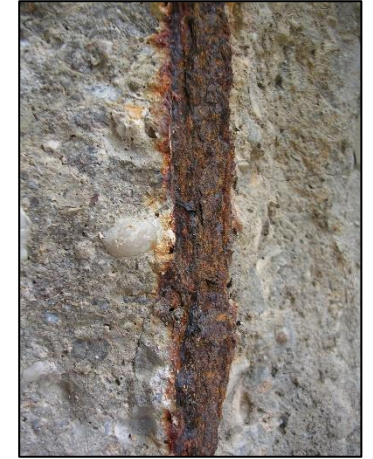
Eric CHAUVEAU and Philippe MAUGER  
(Swiss Steel Group, France)



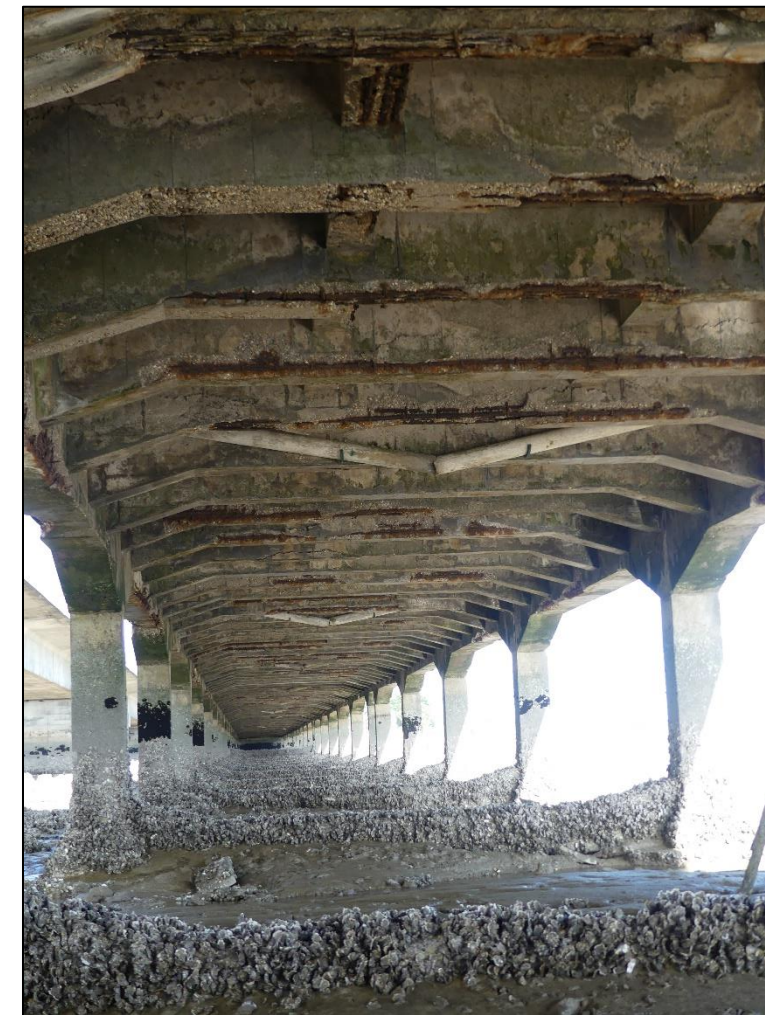
# 1.Contexte



- B. Belin, *Sécurité des ponts : face au « chantier du siècle », l'urgence d'une action publique plus ambitieuse*, Institution: SENAT, Rapport d'information fait l'aménagement du territoire et du développement durable, n° 669 2021-2022 2022
- D. de Matteis, P. Peyrac, J.-M. Lacombe, A. Orcesi, J.-F. Douroux, F. Schmidt, et al., *Surveillance au nom de la commission de et entretien des ouvrages d'art, Usage de l'instrumentation pour les ouvrages du réseau routier national – Notions sur les "Ponts Connectés"*, DGITM 2020



Corrosion du béton armé induite par la carbonatation  
Pont Camille de Hogues à Châtellerault, 2007 (avant réparation)  
V. Bouteiller, Univ. Eiffel



Corrosion du béton armé induite par les ions chlorure  
Estacade, Oléron, 2026  
V. Bouteiller, Univ. Eiffel

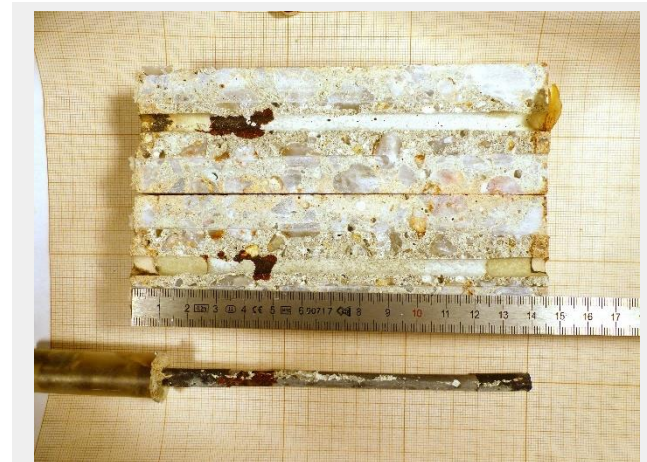
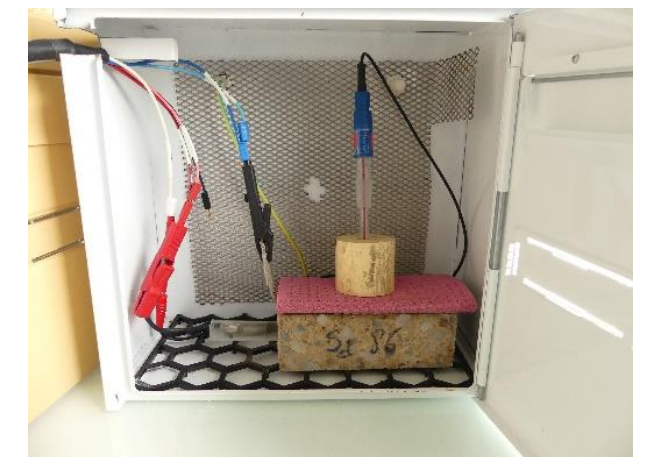
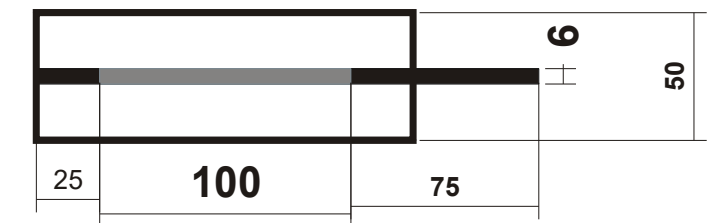
## 2. Présentation du programme scientifique

**Objectif : comparer la résistance à la corrosion d'armatures en acier carbone et en aciers inoxydables au laboratoire (accéléré) et sur site de marnage (réalité)**

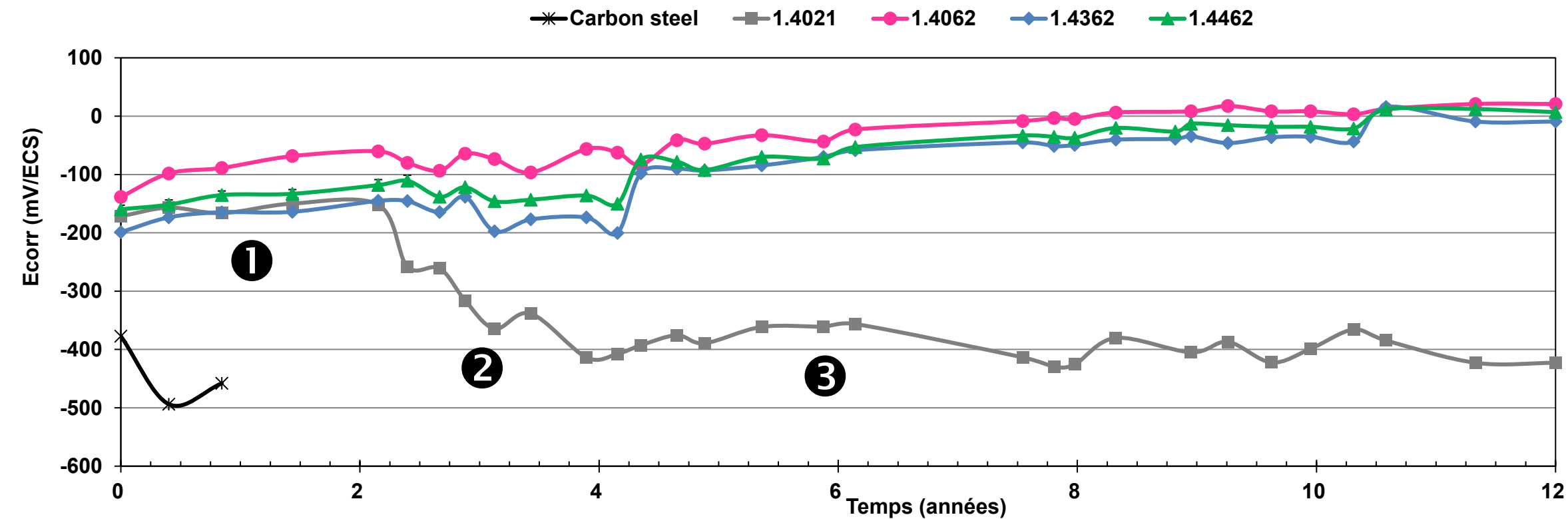
| Paramètres   | 1.<br>Etude au laboratoire<br>Prismes en béton armé (15 x 5 x 5 cm <sup>3</sup> )<br>entreposés en enceinte climatique<br>depuis 2013   | 2.<br>Etude sur site à La Rochelle<br>Poutrelles en béton armé (100 x 25 x 10 cm <sup>3</sup> )<br>exposées en zone de marnage<br>depuis 2013           |
|--------------|---|---|
| Armatures    | <b>Ronds lisses</b> (diamètre 6 mm)<br>✓ <b>Acier C</b> (FeE235) → 20 échantillons<br>✓ Inox martensitique 1.4021 : 12%Cr → 10 échantillons<br>✓ <b>Inox Lean Duplex 1.4062 (22%Cr 2%Ni)</b> ; → 20 échantillons<br>✓ <b>Inox Lean Duplex 1.4362 (23%Cr 4%Ni)</b> → 20 échantillons<br>✓ <b>Inox Lean duplex 1.4462 (22%Cr 5%Ni 3%Mo)</b> → 10 échantillons | <b>Haute Adhérence</b> (diamètre 20 mm)<br>✓ <b>Acier C</b> (FeE500) → 1 (+2) poutrelles<br>✓ <b>Inox Lean Duplex 1.4362 (23%Cr 4%Ni)</b> → 1 poutrelle |
| Béton        | Ciment Portland 275 kg/m <sup>3</sup> et rapport eau/ciment = 0,7<br>Granulats Palvadeau (d <sub>max</sub> =16 mm)<br>Enrobage 22 mm<br>Rc = 23 Mpa   | Ciment Portland 275 kg/m <sup>3</sup> et rapport eau/ciment = 0,7<br>Granulats Palvadeau (d <sub>max</sub> =20 mm)<br>Enrobage 30 mm<br>Rc = 35 Mpa     |
| Accélération | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ajout d'ions chlorures dans l'eau de gâchage (8% de Cl<sup>-</sup> en masse par rapport au ciment)</li> <li>Température = 45°C et Humidité Relative = 92%</li> </ul>   | Aucune  |
| Conditions   | Enceinte climatique   | Zone de marnage au pied de la tour Saint Nicolas à La Rochelle  |

# 3. Etude des prismes en béton armé au laboratoire - Caractérisations

- **Suivi de la corrosion par des méthodes non-destructives**
  - Observations visuelles (produits de corrosion, fissures)
  - Mesures électrochimiques :
    - Potentiel de corrosion  $E_{\text{corr}}$ ,
    - Résistance de polarisation linéaire et
    - Spectroscopie d'impédance électrochimique
  - Calcul du courant de corrosion  $J_{\text{corr}}$
- **Méthodes destructives après 12 années**
  - Observations visuelles des prismes autopsiés

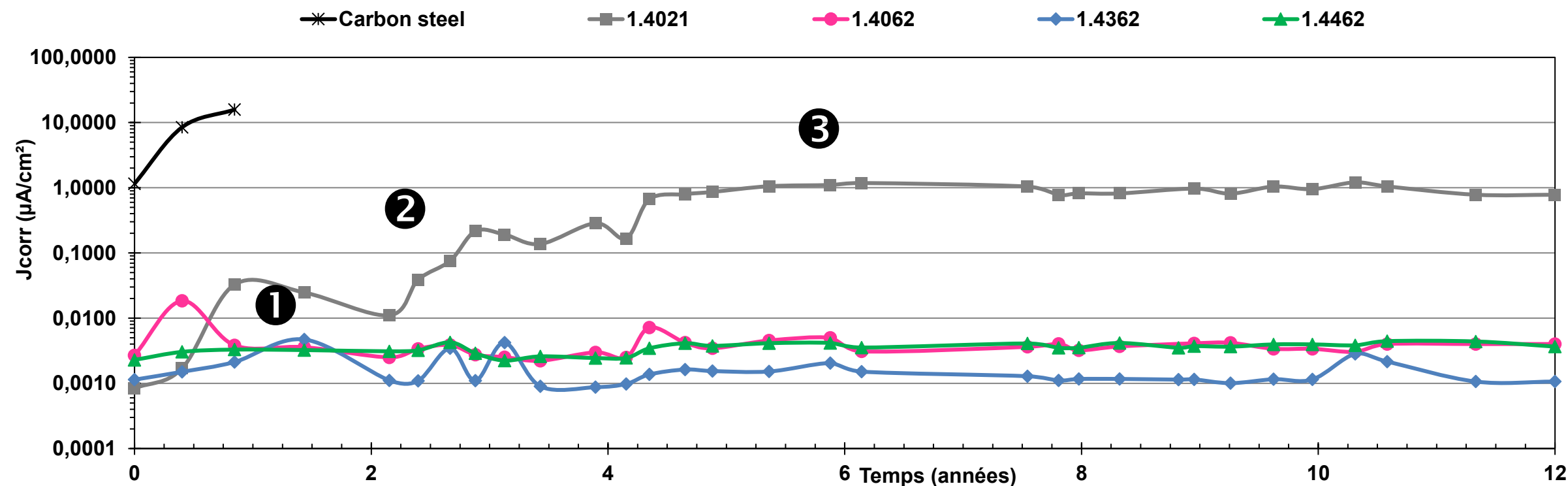


# 3. Résultats des caractérisations électrochimiques


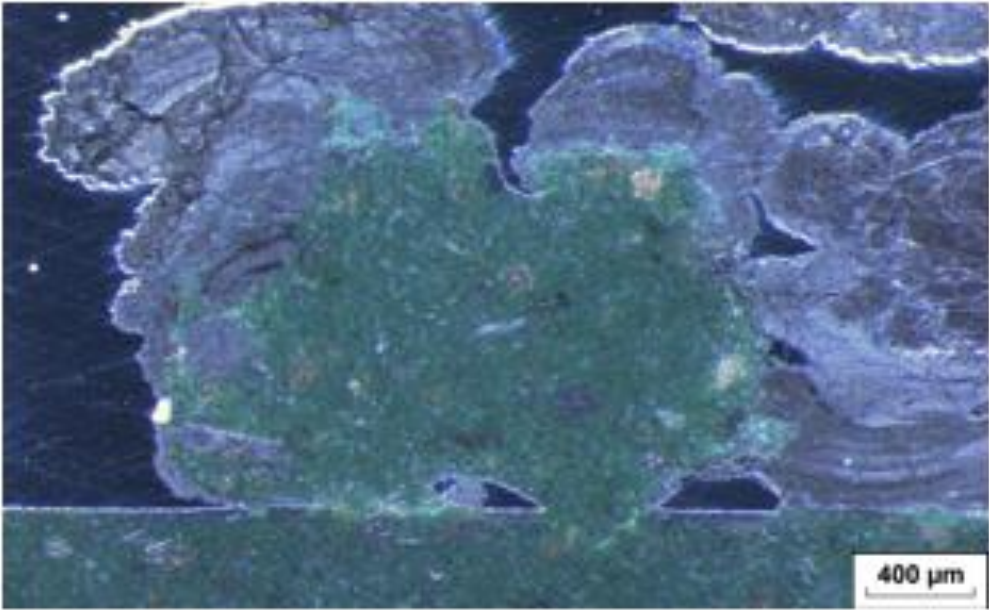
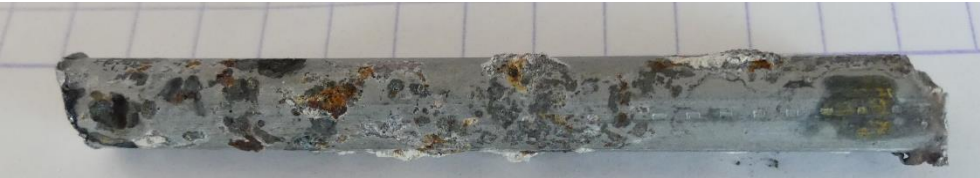

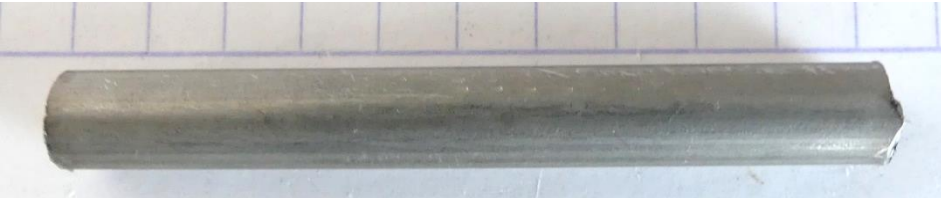


V. Bouteiller et al., A 10-year study of the corrosion resistance of stainless steels used as reinforcement in chloride-contaminated concrete exposed to severe conditions, *Materials and Structures* 2024 Vol. 57 Issue 9 Pages 197, DOI: 10.1617/s11527-024-02468-x

- **Acier carbone : corrosion très élevée et fissuration totale du prisme après 12 mois**
- **Acier martensitique 1.4021 → corrosion en 3 étapes**
- **Lean Duplex : aucune corrosion après 12 années**



# 3. Résultats des observations visuelles et au microscope optique

| Acier carbone<br>FeE235   | Martensitique<br>1.4021   | Duplex<br>1.4062, 1.4362 et 1.4462  |
|---|---|---|
| Après 1 an  | Après 12 ans  | Après 12 ans  |
|                                    | <br> | <br> |
| → Diffusion des produits de corrosion dans le béton, Corrosion de l'armature et fissuration voire éclatement du béton | → Diffusion des produits de corrosion dans le béton et Corrosion de l'armature  | → Pas de corrosion  |

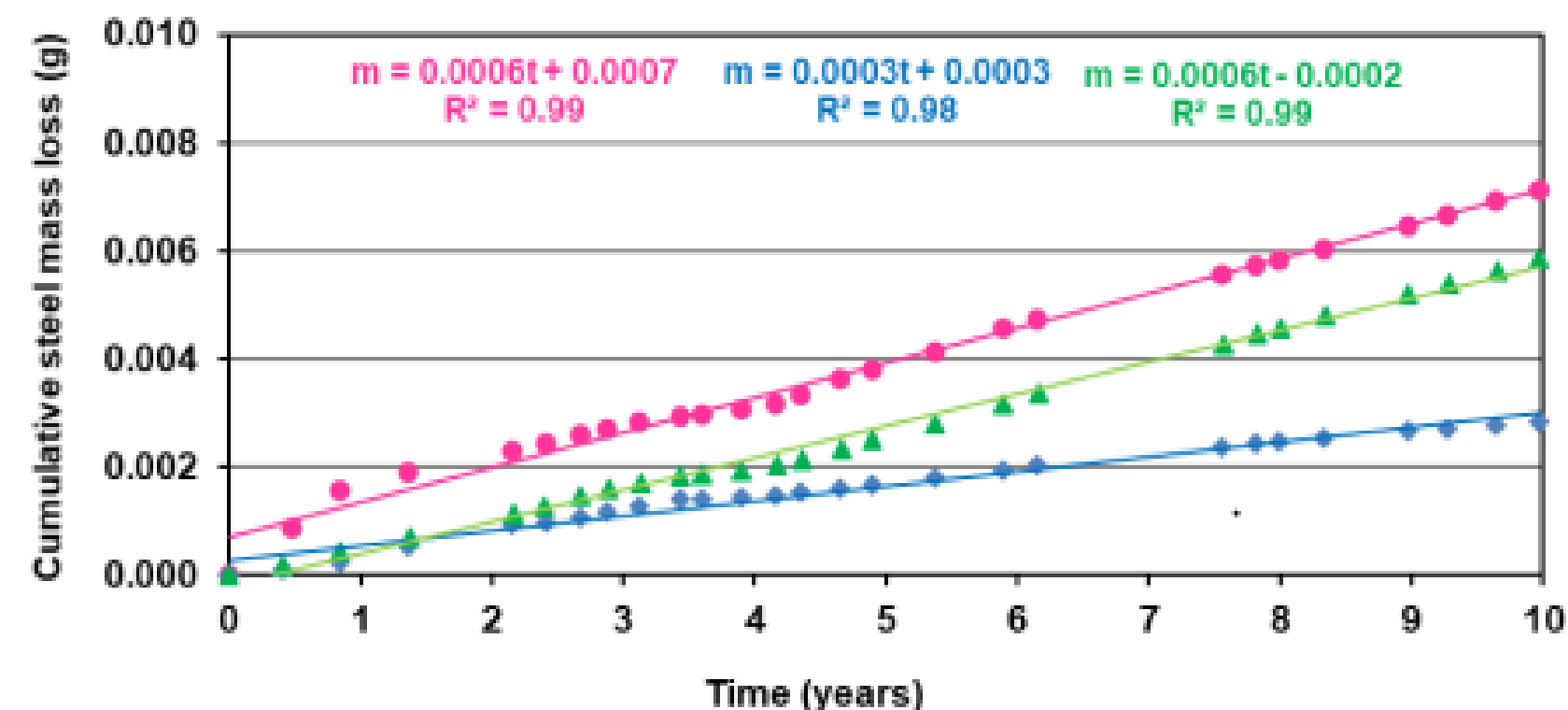
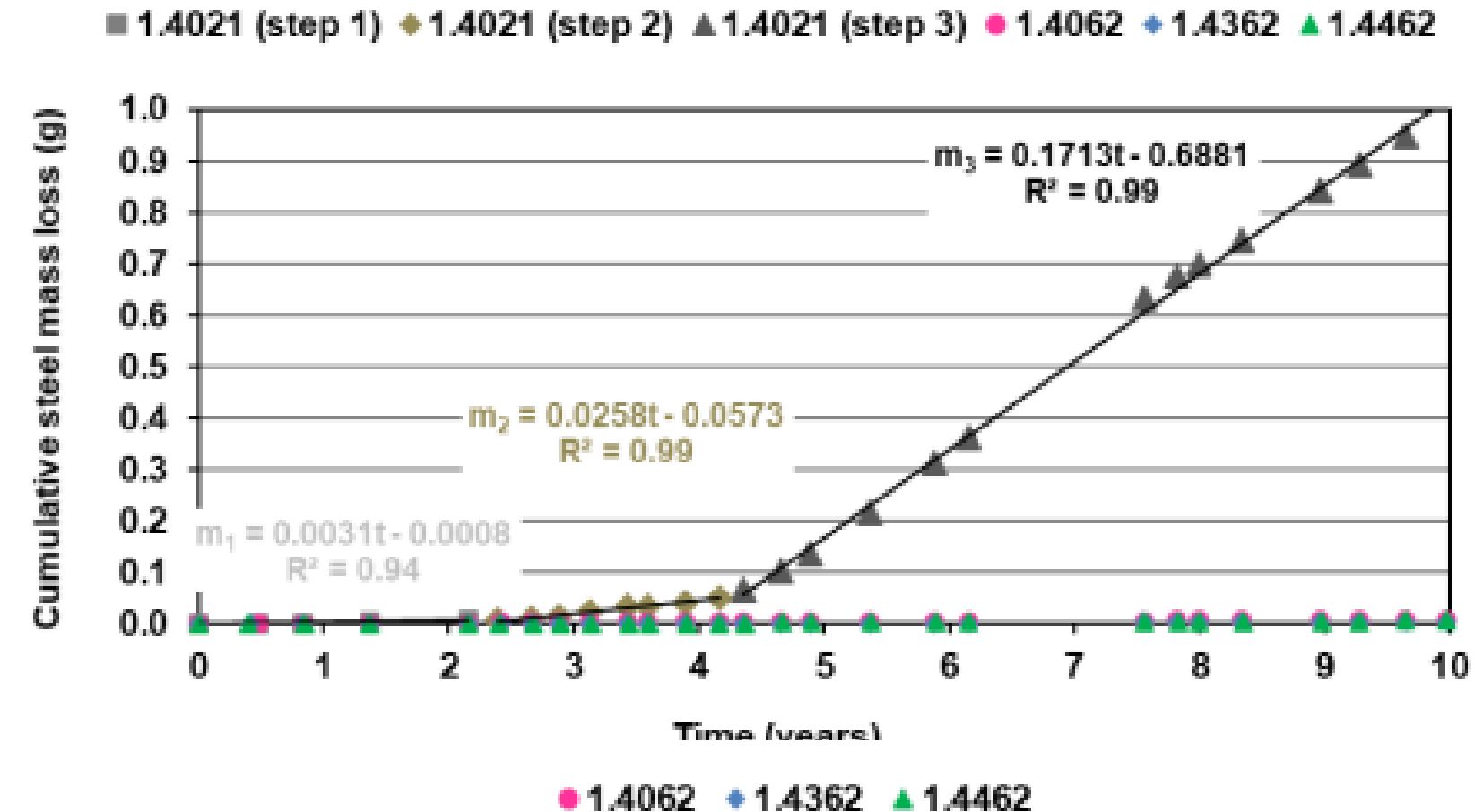
# 3. Cinétique de corrosion des aciers et prédiction

## 1. Calcul de la perte de masse à partir de la loi de Faraday : $m = \frac{M}{F \cdot z} \cdot I \cdot t$

## 2. Cinétique de corrosion suivant les nuances d'acier et modélisation

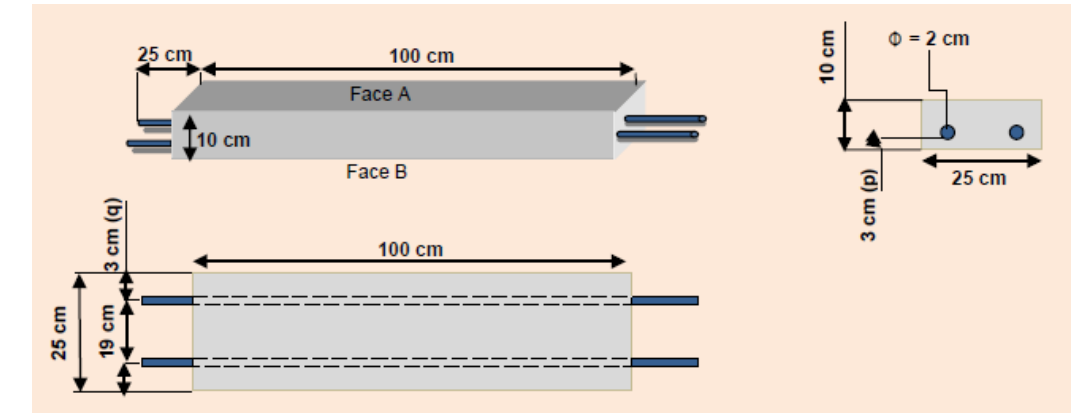
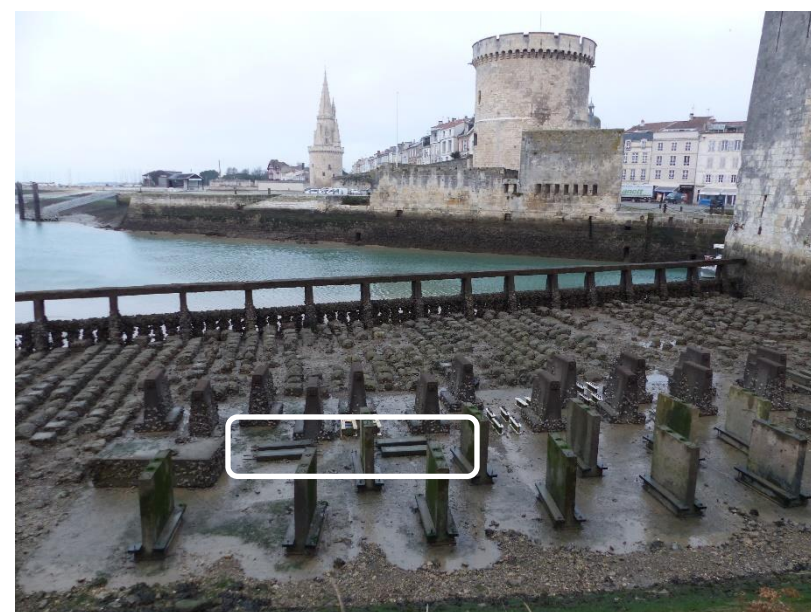
## 3. Prédiction à 50 ans

- Pour le 1.4021 : évolution de la perte de masse jusqu'à 7,88 g
- Pour les aciers inoxydables duplex : perte de masse négligeable de 0,03 g

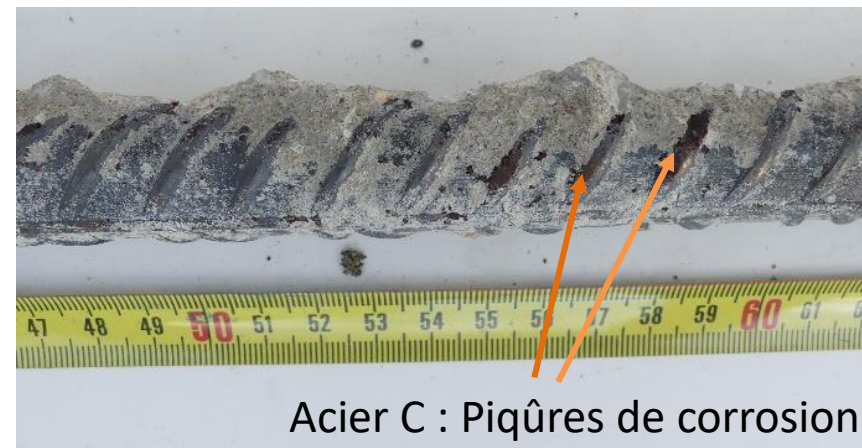


# 4. Etude des poutrelles en béton armé sur le site de marnage de La Rochelle

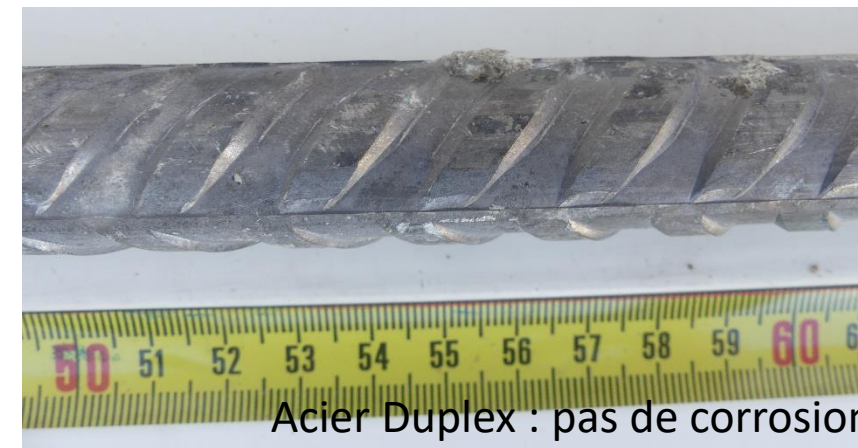
- Caractérisations électrochimiques (depuis 2013)



- Caractérisations destructives en 2024



Acier C : Piqûres de corrosion

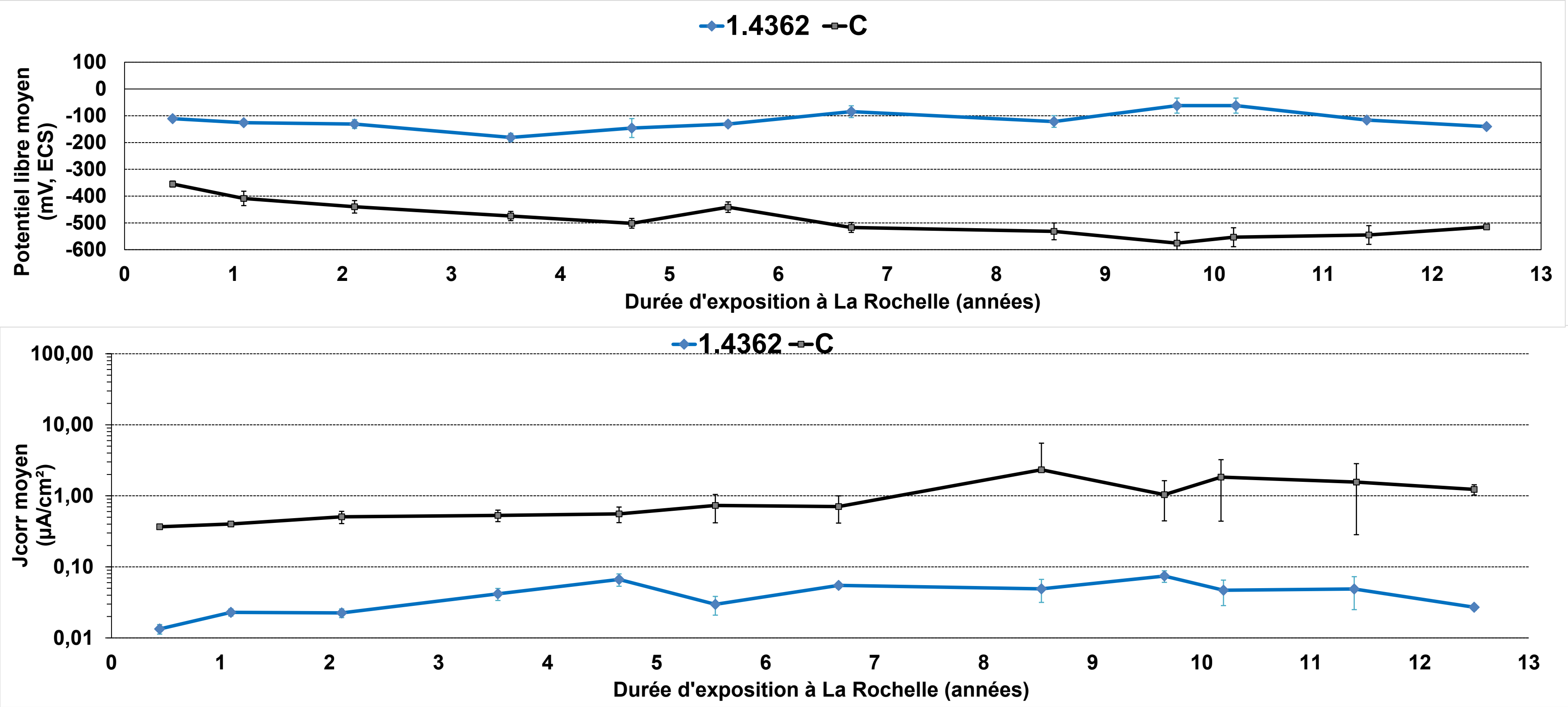


Acier Duplex : pas de corrosion



- Détermination des profils en ions chlorure dans le béton (2025-2026)

# 4. Résultats du suivi électrochimique sur 12 ans



# 5. Conclusions et perspectives (1/2)

| Etude   | 1.<br>Etude au laboratoire<br>Prismes en béton armé entreposés en enceinte climatique<br>Après 12 années |   |                              | 2.<br>Etude sur site<br>Poutrelles en béton armé exposées en zone de<br>marnage à La Rochelle<br>Après 12 années |                                    |
|---|--|---|------------------------------|--|------------------------------------|
|   | Acier Carbone<br>(mesure à 12 mois)  | Acier martensitique<br>1.4021   | Acier lean Duplex<br>1.4362  | Acier carbone<br>C cranté  | Acier lean Duplex<br>1.4362 cranté |
| Potentiel de corrosion<br>moyen<br>(mV/ECS)                                 | - 450  | - 420   | - 200                        | - 515  | -140                               |
| Densité de courant de<br>corrosion moyenne<br>( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) | 16 (très élevé)  | 0,78 (modéré)   | 0,01 (négligeable)           | 1,3 (élevé)  | 0,03 (négligeable)                 |
| Observations visuelles  | Eclatement du béton<br>après 1,5 ans   | Produit de corrosion<br>sur l'armature et<br>diffusion dans le<br>béton | Aucune trace de<br>corrosion | Produits de corrosion<br>sur les armatures   | Aucune trace de<br>corrosion       |

En résumé

Acier carbone : **pas durable**

Acier martensitique : **pas assez durable**

Acier lean Duplex : **très durable**

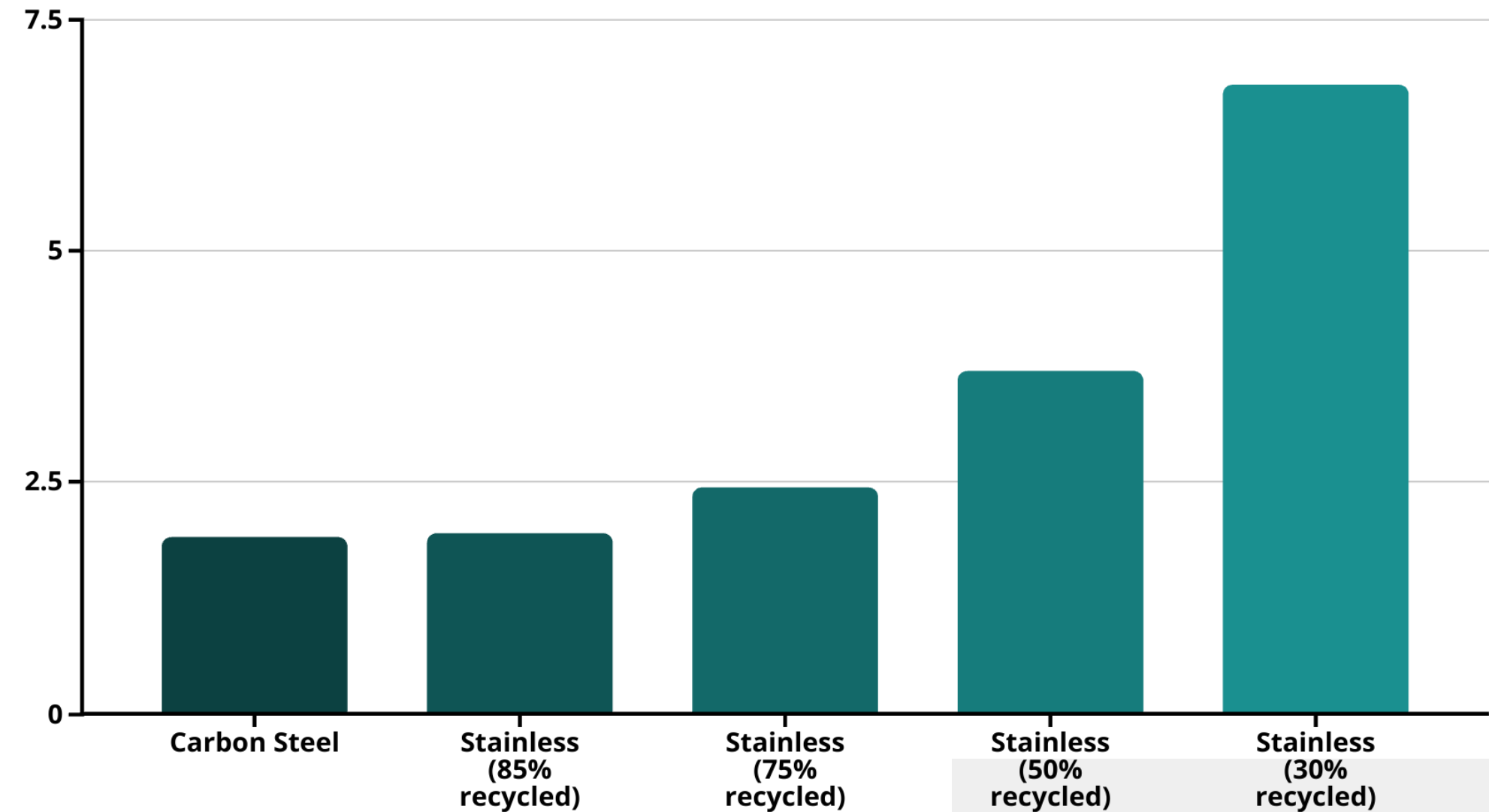
## 5. Une solution “plus” durable (2/2)

**Une émission de CO2 plus élevée** pour l'acier inoxydable que pour l'acier au carbone

Mais des progrès importants sont faits avec **l'augmentation de l'utilisation de ferrailles recyclées** (jusqu'à 95% avec Ugitech Green Steel stainless +)

**Utilisation croissante** dans des grands projets d'infrastructure malgré un coût financier initial plus élevé (ex : pont de Gênes, extension de Monaco ...)

**Réfléchir à l'utilisation des aciers inoxydables en réparation**



World Stainless.2024. Stainless Steels and CO2:  
Industry Emissions and Related Data



# Merci

---

Contacts :

[Sebastien.Mignocchi@swisssteelgroup.com](mailto:Sebastien.Mignocchi@swisssteelgroup.com)

[veronique.bouteiller@univ-eiffel.fr](mailto:veronique.bouteiller@univ-eiffel.fr)