

AFGC

IMGC

CEFRACOR

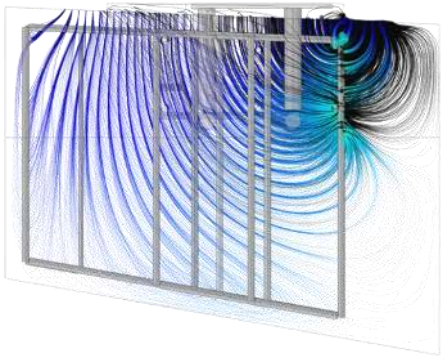
CEFRACOR CERTIFICATION Protection Cathodique EN ISO 15257 competence

« LA PROTECTION CATHODIQUE DES OUVRAGES EN BETON ARME : DU DIAGNOSTIC AUX TRAVAUX »

Journée Technique AFGC Méditerranée
Mercredi 12 décembre 2018
Centre de Formation Emile Picot de Mallemort

Intérêt de la modélisation pour la conception d'une installation de protection cathodique





LA PROTECTION CATHODIQUE DES OUVRAGES EN BETON ARME : *DU DIAGNOSTIC AUX TRAVAUX*

D. Garcia [1] , S.Deharo[1,2], Dr S. Laurens [1], S. Panin [2], Pr. R. François [1], Dr A. Dubosc [3]

[1] INSA Toulouse – Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions
[2] R3S
[3] OTEIS

Introduction

Protection cathodique contre la corrosion des aciers d'armature des structures en béton
=
Problème physique 3D (non réductible 1D)

↓

Aujourd'hui — Approche empirique du design des solutions de protection cathodique

Norme NF EN ISO 12696

↓

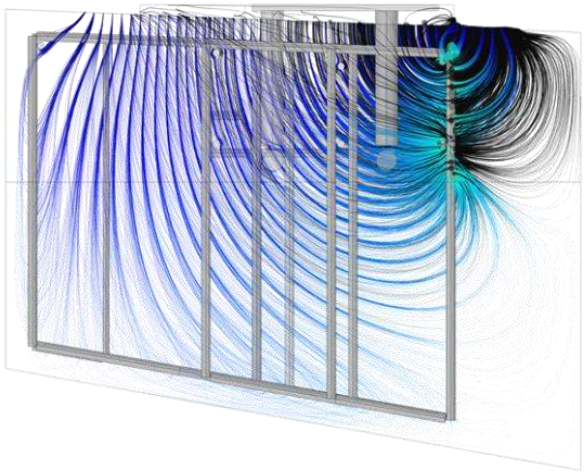
Demain — Amélioration de la compréhension physique
+
Développement d'outils de simulation numérique 3D

↓

Après-demain — **CAO de la protection cathodique**
Optimisation du processus global de dimensionnement, de mise en œuvre et de contrôle

Questions légitimes (liste non exhaustive) …

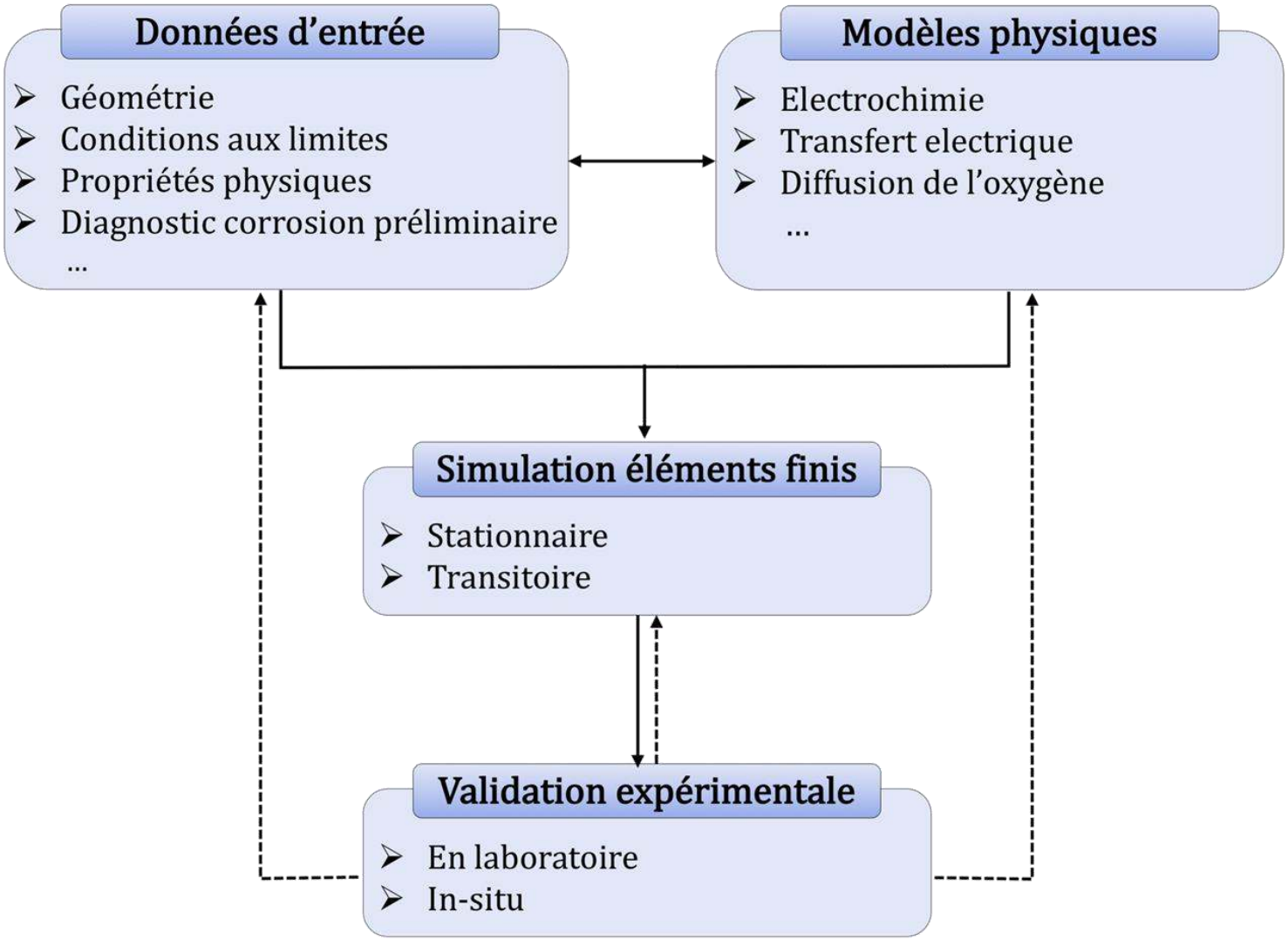
- Comportement électrochimique de l'anode ?
- Zone d'influence d'un système anodique ?
- Distribution du courant de protection dans le volume ?
- Influence de la disponibilité en oxygène ?
- Influence du champ de résistivité du béton ?
- Modalités de contrôle du système de protection ?



Impossible de répondre empiriquement !

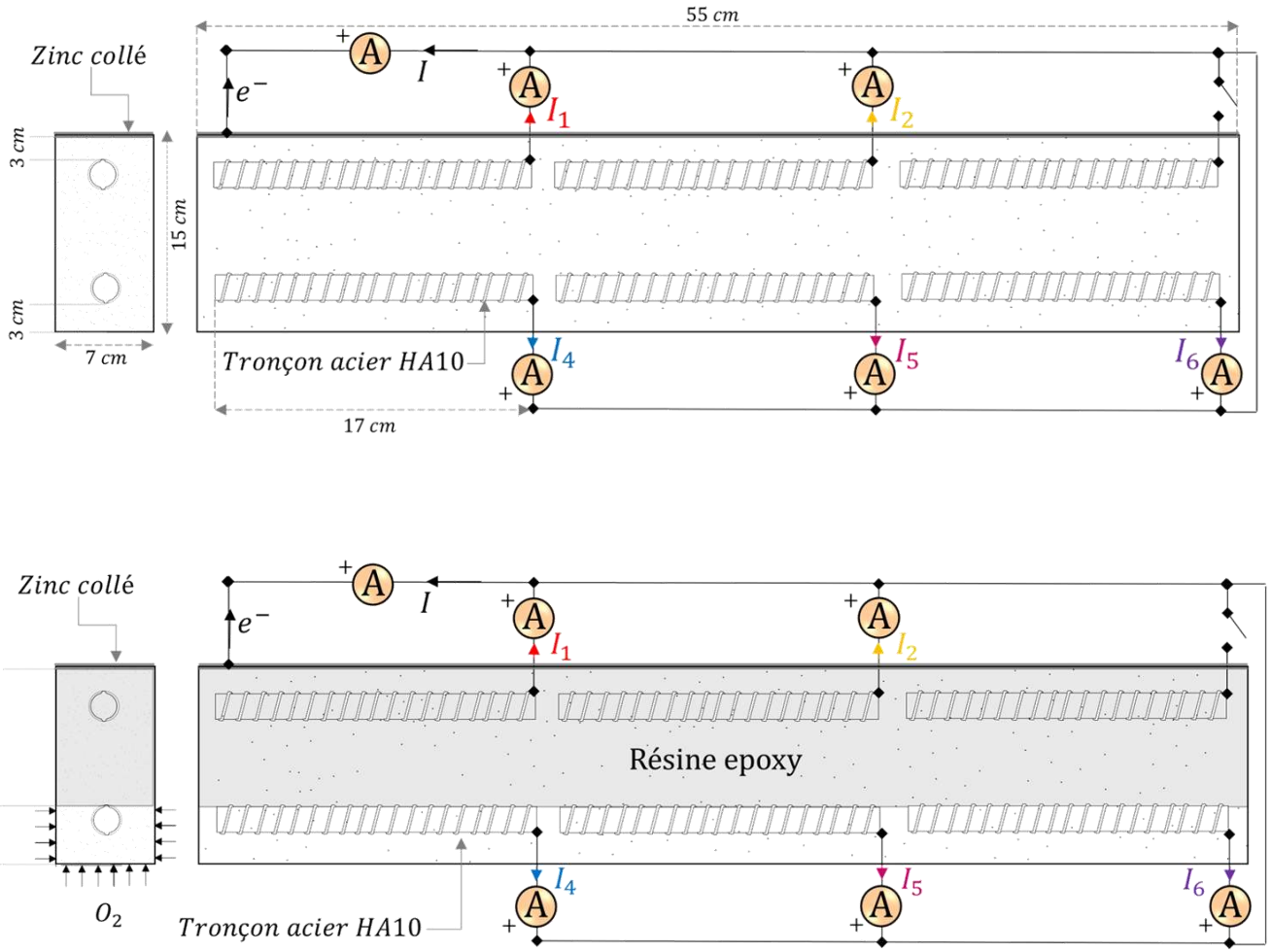
→ **Nécessité de modéliser pour simuler un système « procatho »**

Modélisation, simulation numérique et validation



Modélisation, simulation numérique et validation

Corps d'épreuve Labo

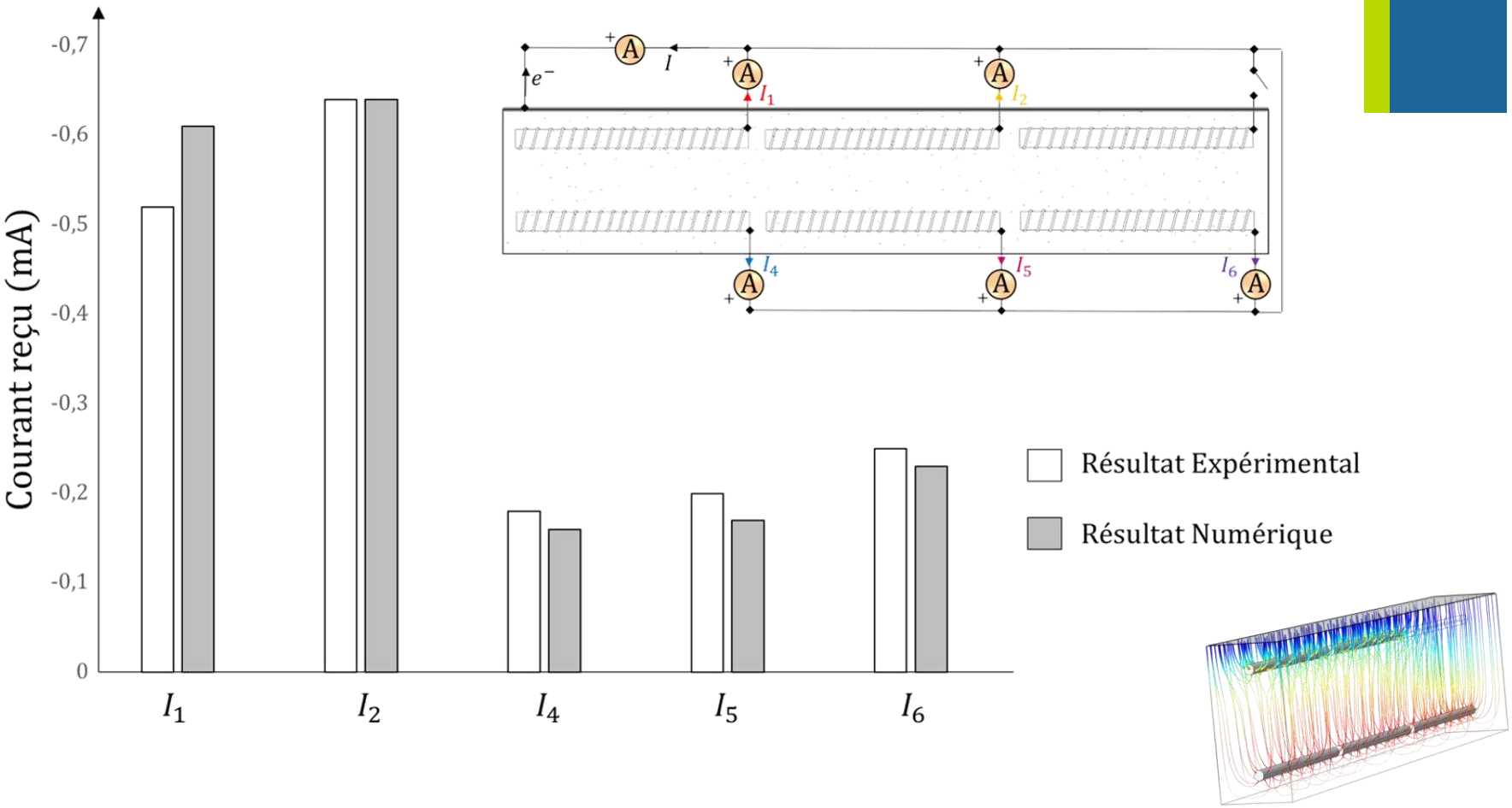


Renouvellement en O_2 assuré



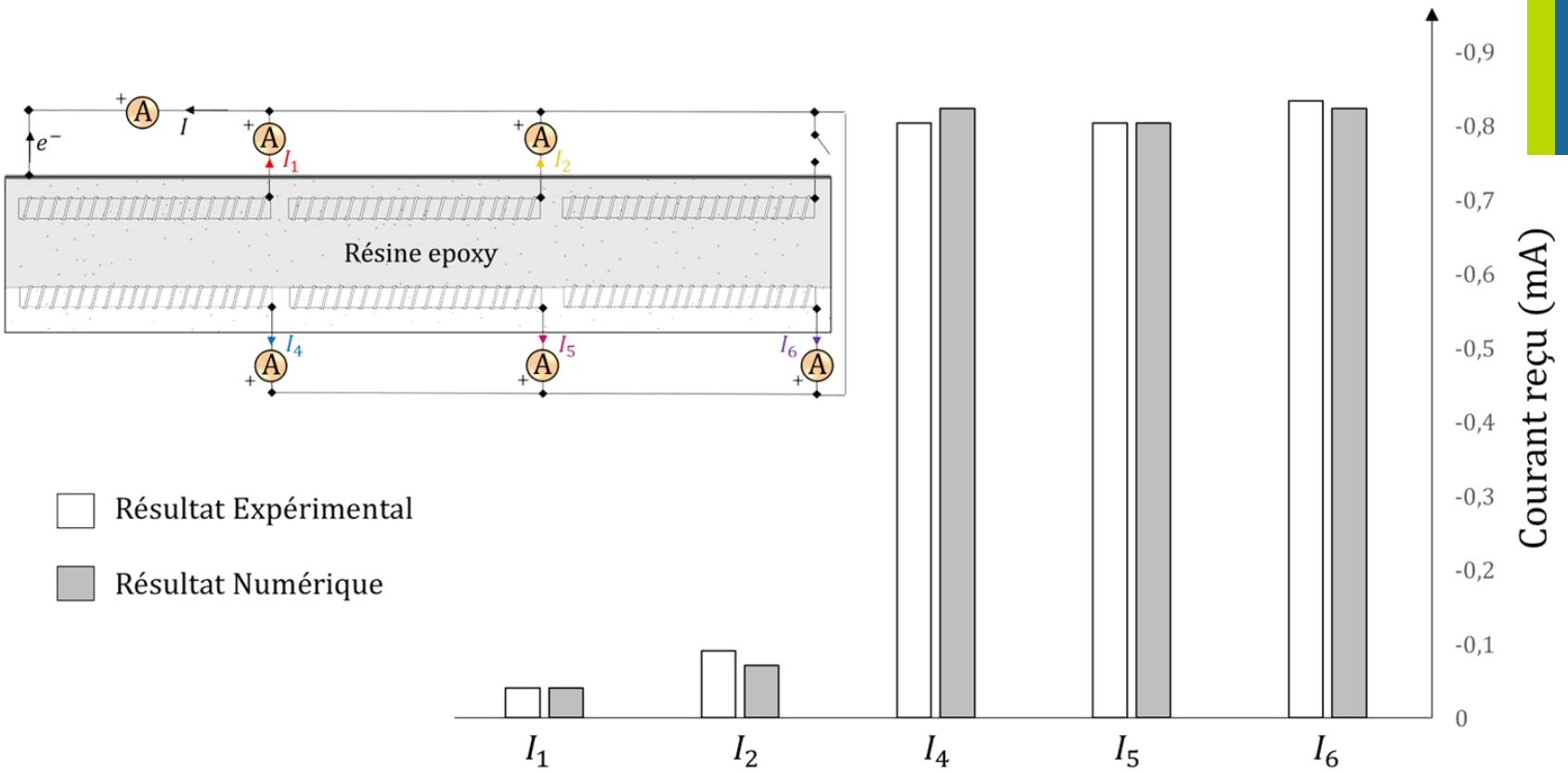
Renouvellement en O_2 limité

Modélisation, simulation numérique et validation



- Pas de problème de renouvellement en O_2 au niveau des aciers
- Système contrôlé par les phénomènes électriques et électrochimiques

Modélisation, simulation numérique et validation

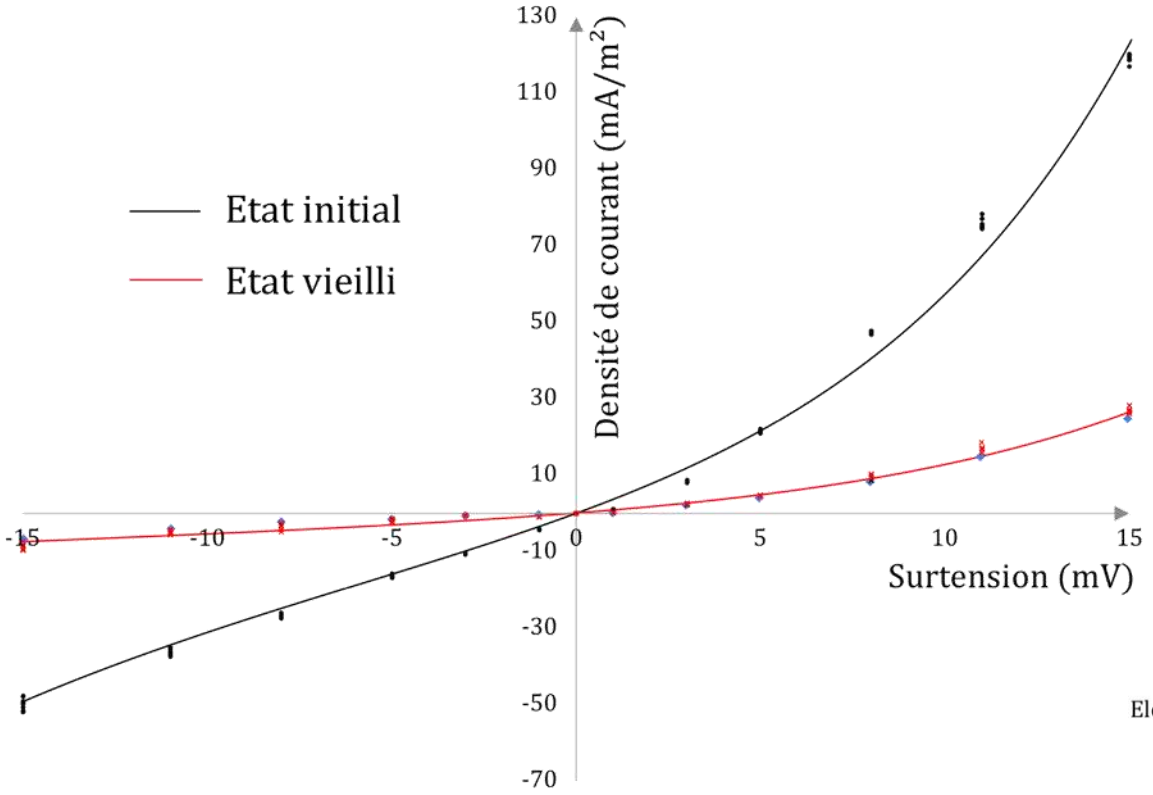


- Pas de renouvellement en O_2 au niveau du lit supérieur (résine époxy)
- Redistribution du courant vers le lit d'acier inférieur
- Système contrôlé par la diffusion du dioxygène

Modélisation, simulation numérique et validation

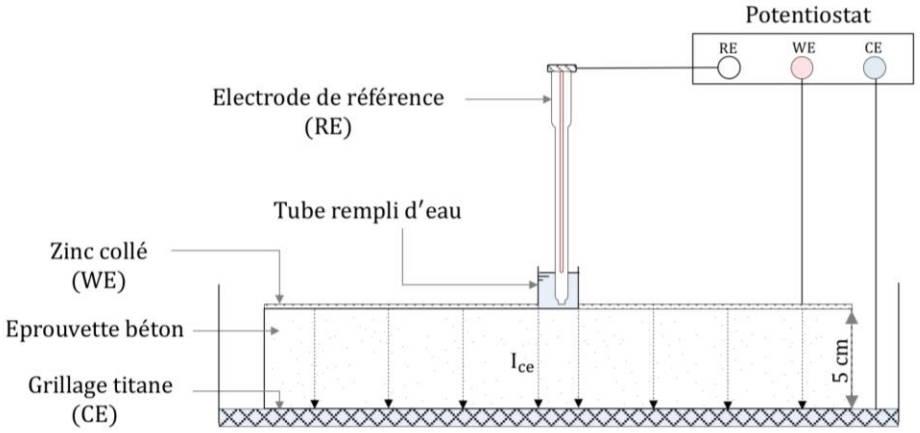
Comportement électrochimique d'un système anodique

Exemple : Zinc Layer Anode (ZLA)



RILEM Technical Letters, 2020





Vieillissement initial rapide de l'anode !

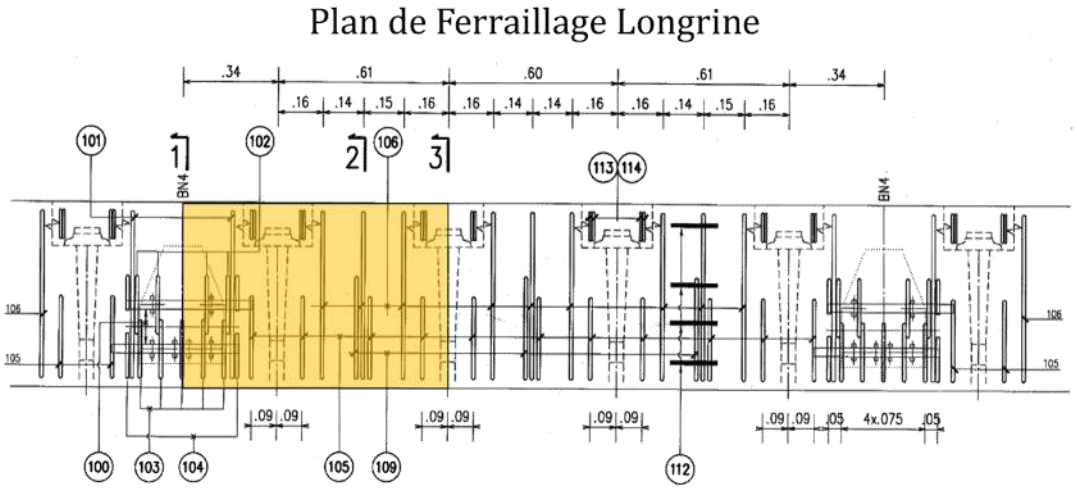
Stabilisation après 10 jours et jusqu'à 3 mois !

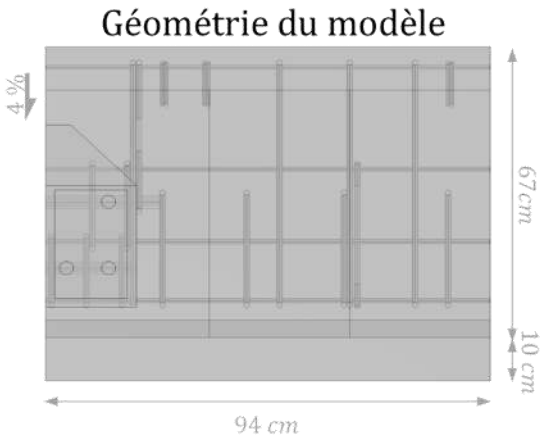
Application à un cas réel : le viaduc du Chavanon

Construction du Modèle



Protection cathodique des longrines par feuilles de zinc

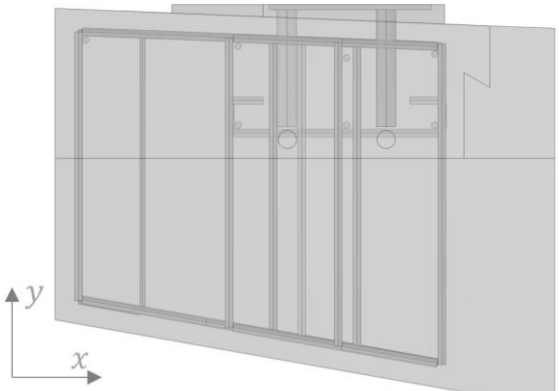


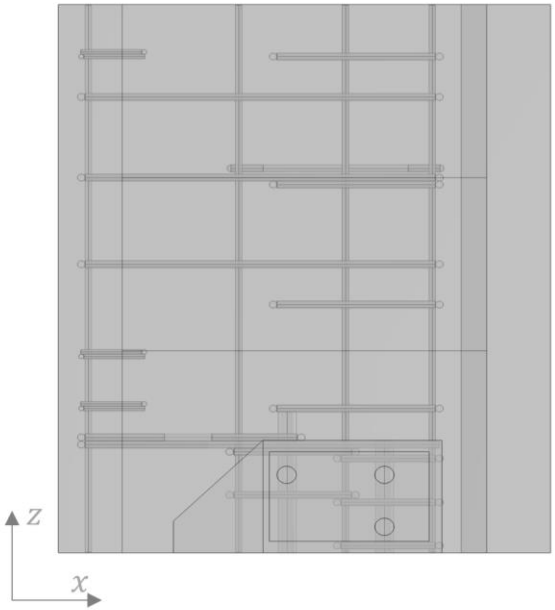


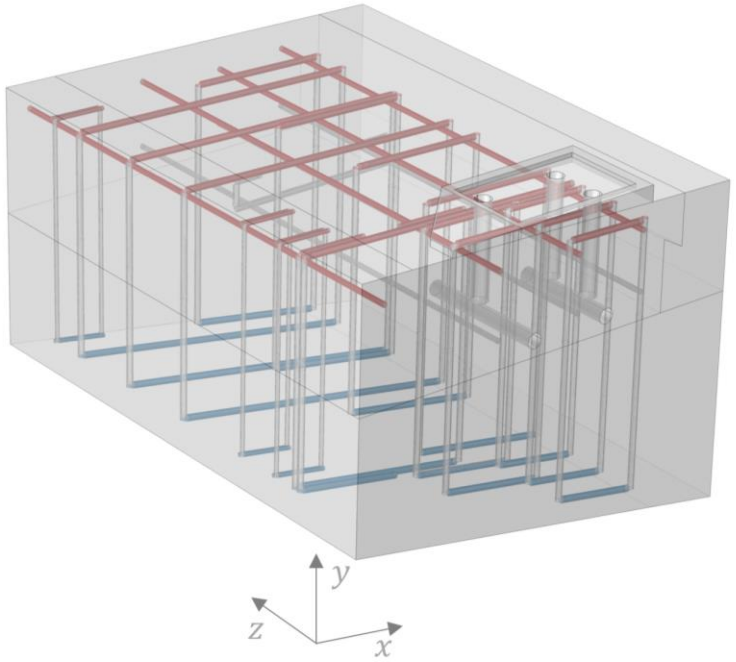
- **Etude des Plans de Ferraillage**
- **Mise en évidence d'une zone représentative**
- **Construction du modèle 3D**

Application à un cas réel : le viaduc du Chavanon

Construction du Modèle

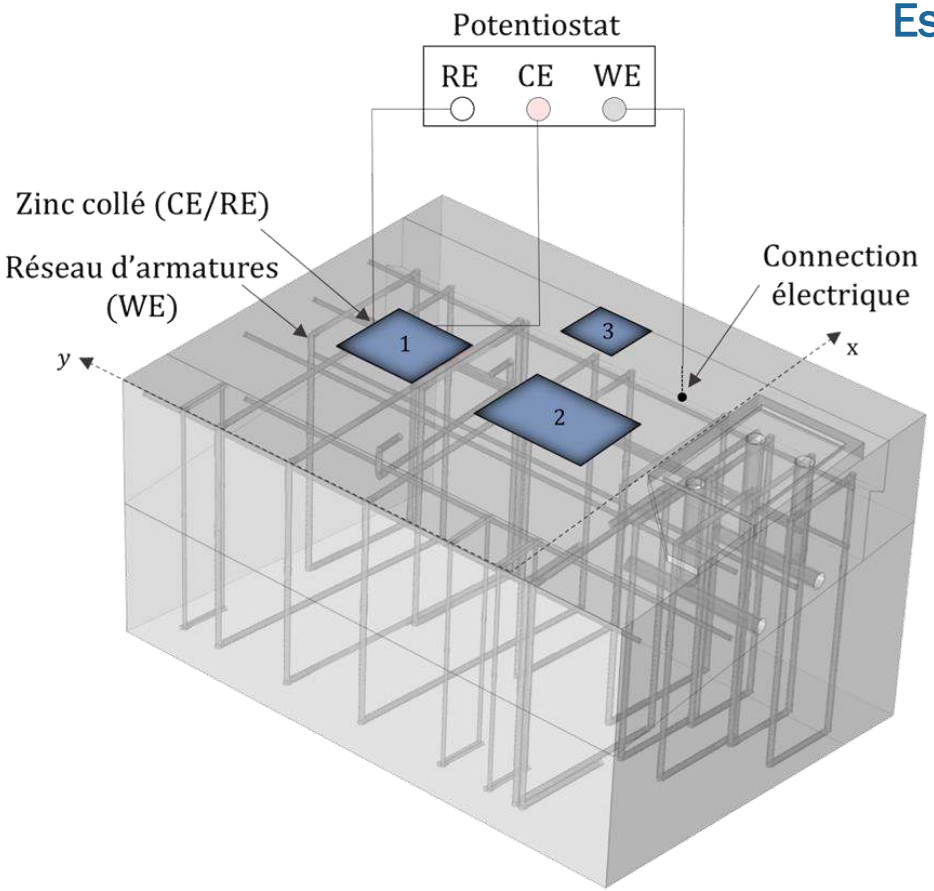






Application à un cas réel : le viaduc du Chavanon

Estimation du champ de résistivité

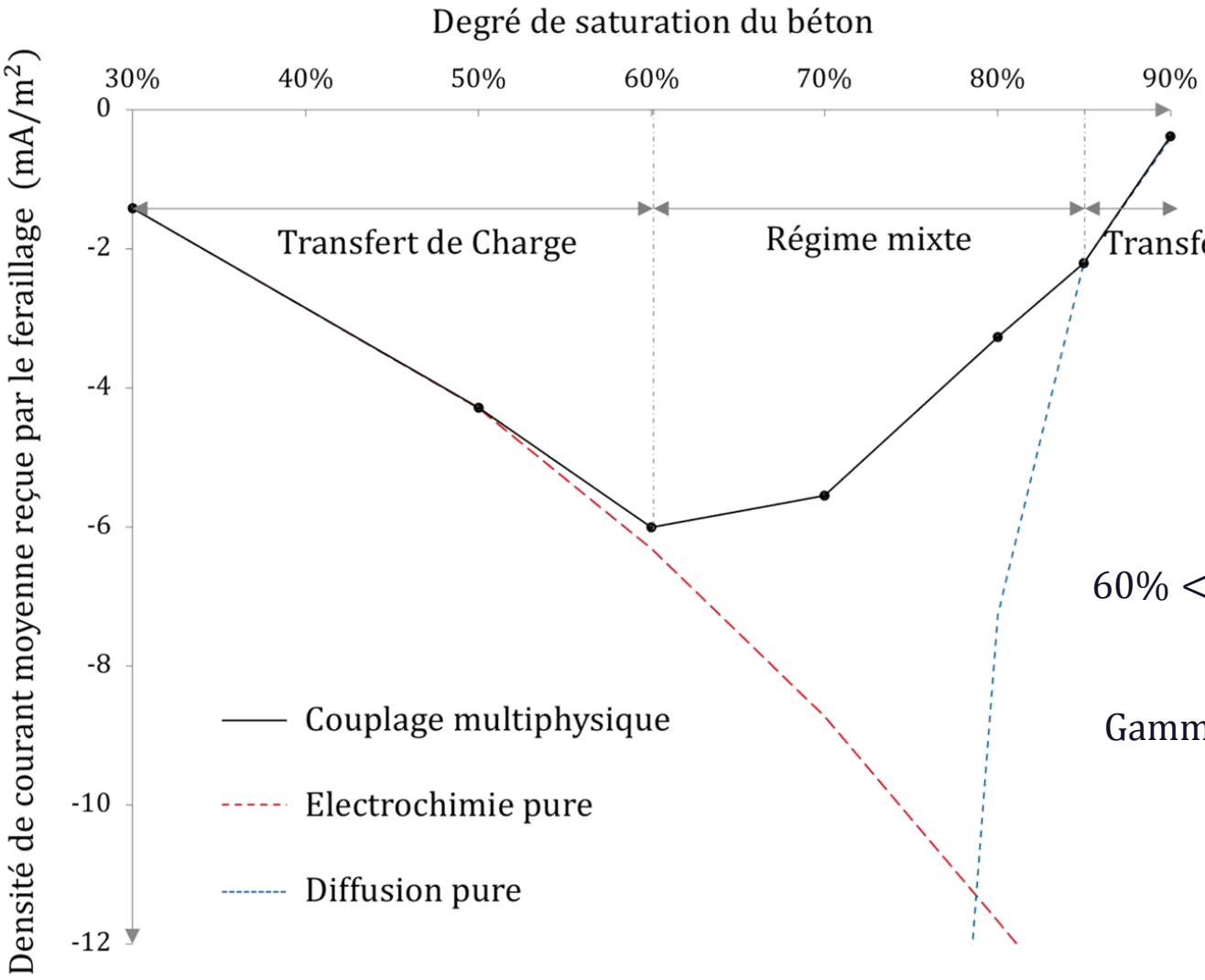




- Polarisation du réseau d'armature
- Calcul de la résistivité par analyse inverse basée sur un modèle 3D
- Estimation de la gamme de saturation : 70 à 85 %

Application à un cas réel : le viaduc du Chavanon

Prédiction du courant



Courant maximal

$60\% < S_r < 70\% \quad i \sim -6\ mA/m^2$

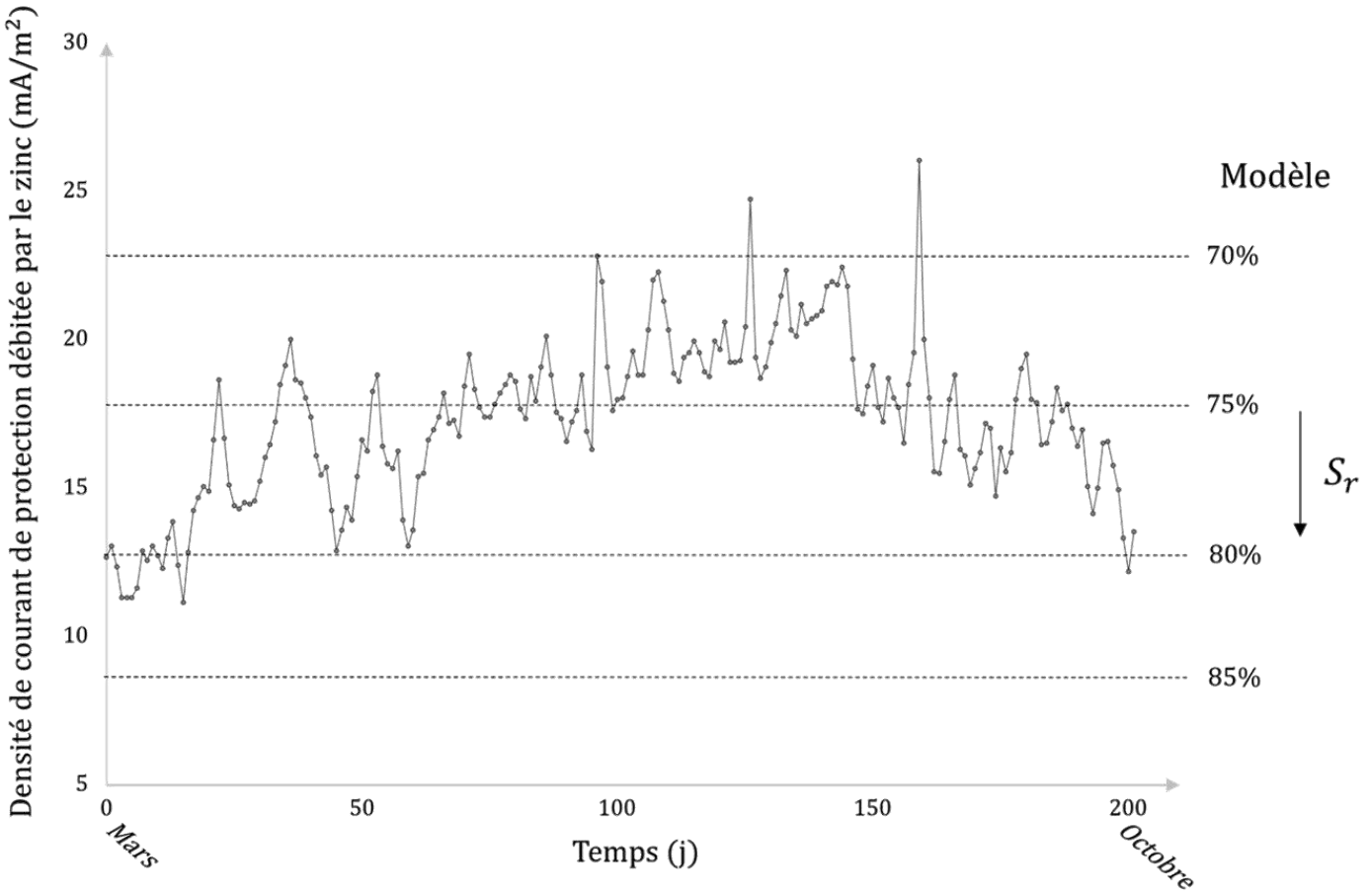
Gamme de saturation : 70 à 85 %

↓

Régime mixte

Application à un cas réel : le viaduc du Chavanon

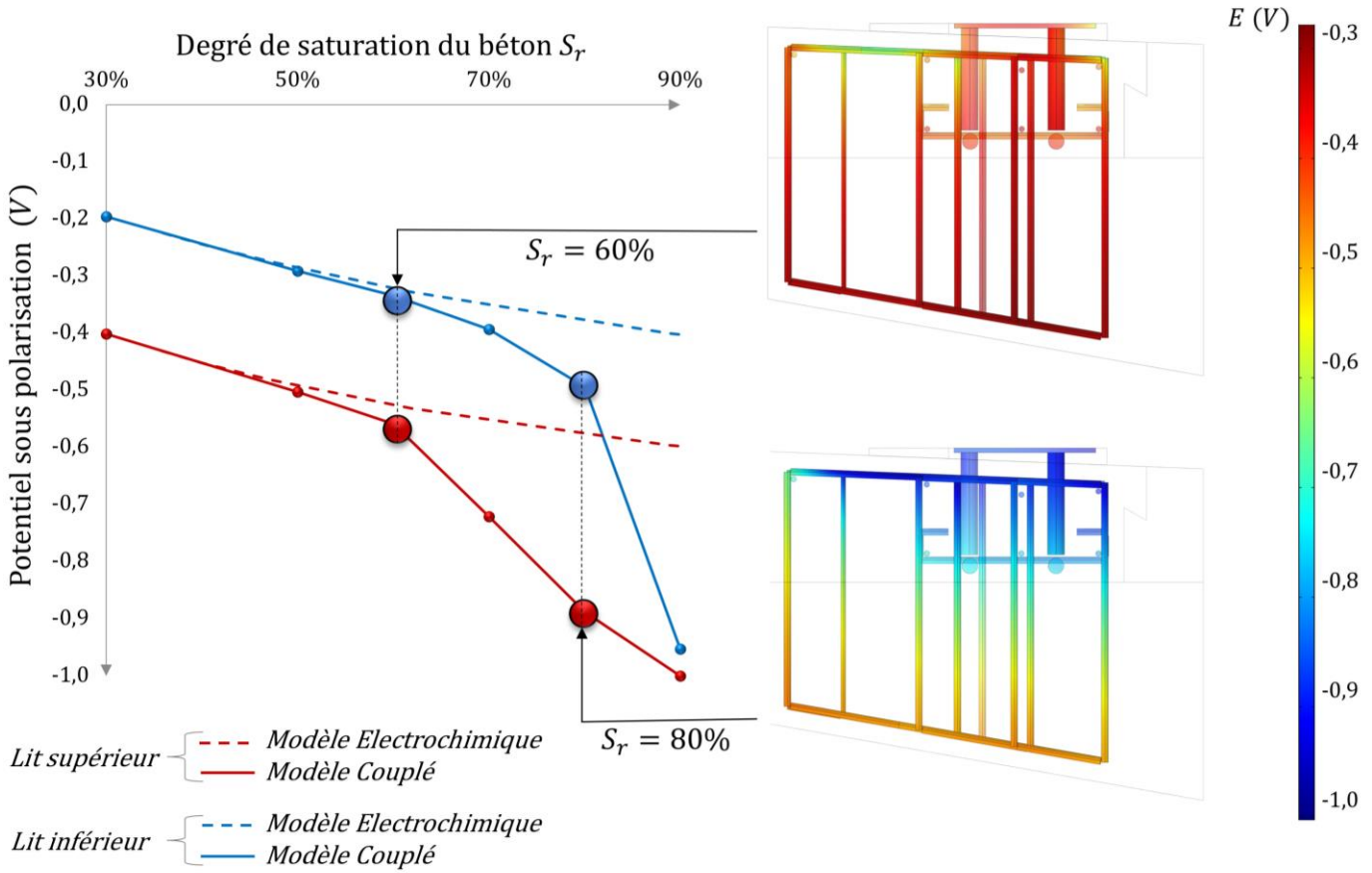
Suivi du courant de protection débité par le ZLA

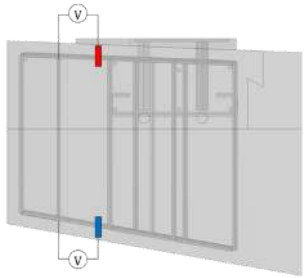


- **Résistivité in situ : Gamme de saturation mesurée comprise entre 70% et 85%**
- **Validation In-situ des simulations numériques : robustesse du modèle**

Application à un cas réel : le viaduc du Chavanon

Champ de potentiel sous polarisation : simulation

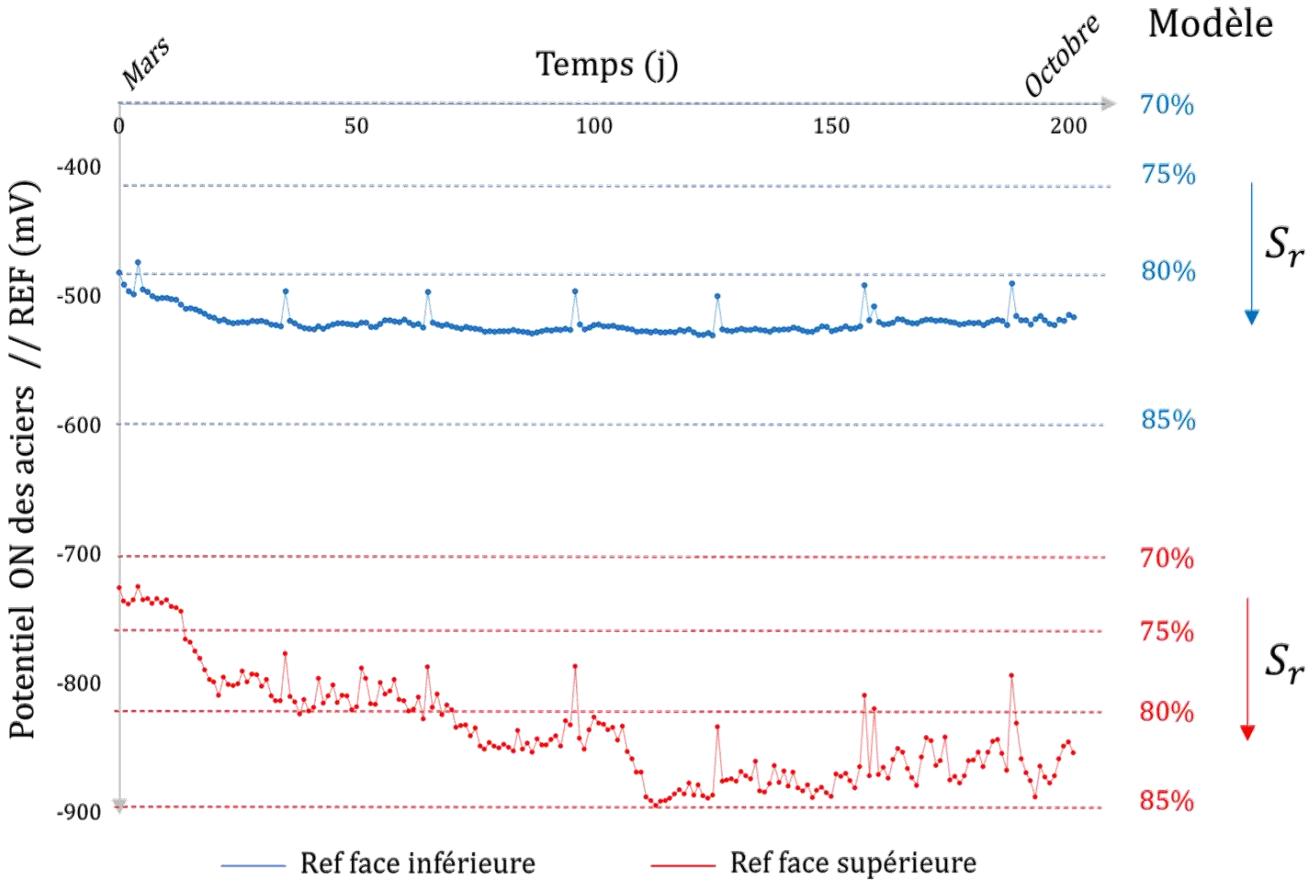


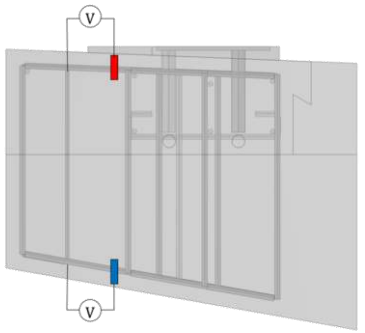


- **Sous polarisation : champ de potentiel non uniforme**
- **Influence de la disponibilité en oxygène sur le potentiel mesuré**

Application à un cas réel : le viaduc du Chavanon

Champ de potentiel sous polarisation : expérience

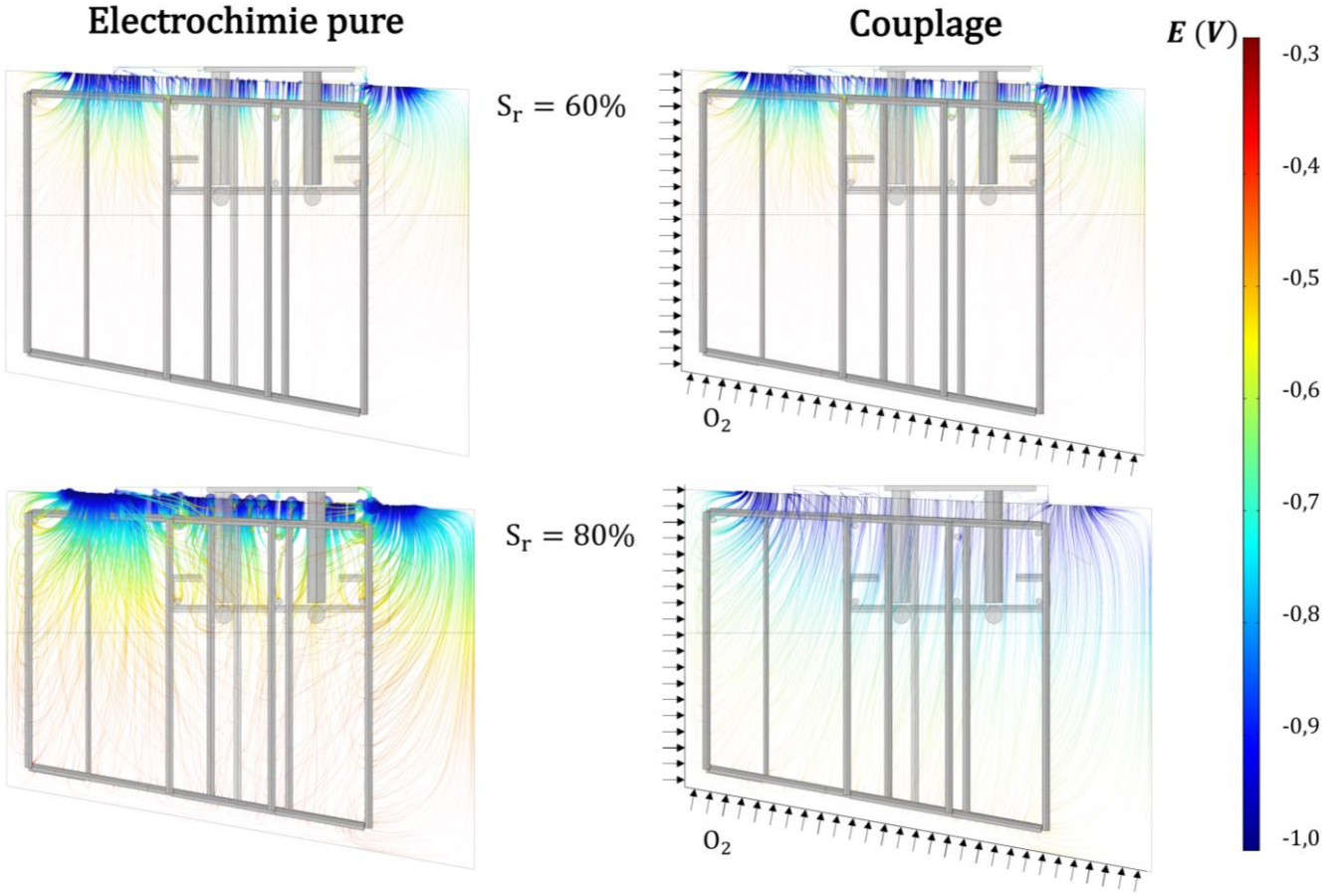




- Champ de potentiel sous polarisation non uniforme
- Validation In-situ des simulations numériques : robustesse du modèle

Application à un cas réel : le viaduc du Chavanon

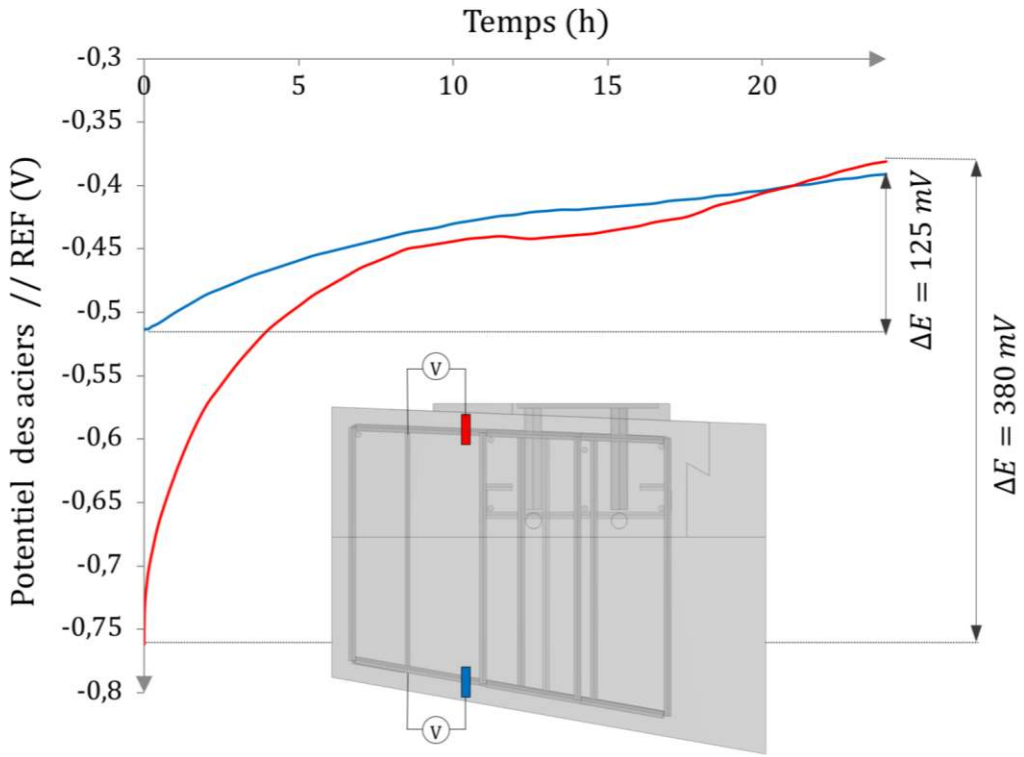
Distribution du courant de protection dans le volume



- Influence de la disponibilité en oxygène sur la zone d'influence de l'anode
- Redistribution des lignes de courant vers les lits inférieurs

Application à un cas réel : le viaduc du Chavanon

Zone d'influence du système anodique



Critère norme NF EN ISO 12696

$$\Delta E = \mathrm{E_{off}}(24\mathrm{h}) - \mathrm{E_{off}}(0) > 100\mathrm{mV}$$

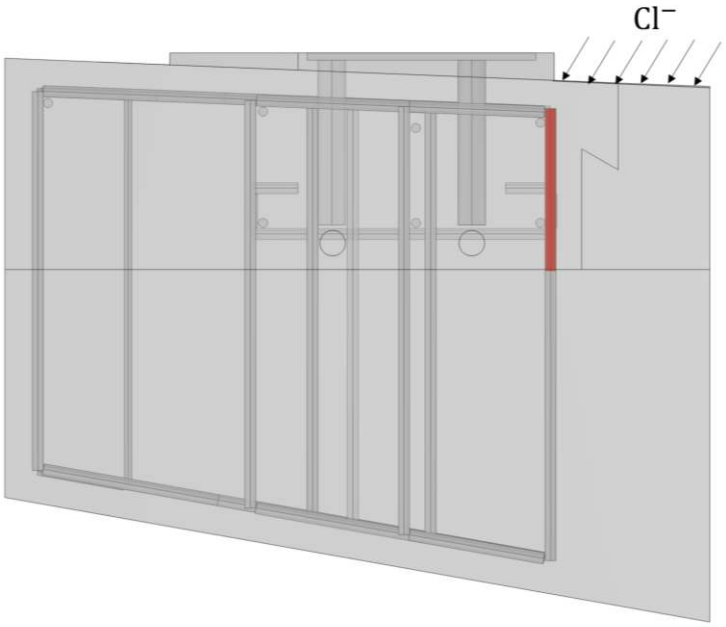
↓

Critère vérifié partout !

- **Polarisation du dernier lit d'armatures : Confirmation des résultats numériques**
- **Estimation de la surface d'acier polarisé à l'aide d'un outil numérique**
- **Optimisation de la masse de zinc à installer et de la durée de vie de l'installation**

Application à un cas réel : le viaduc du Chavanon

Scénarios de corrosion



Diagnostic de la structure

↓

Différents scénarios de corrosion

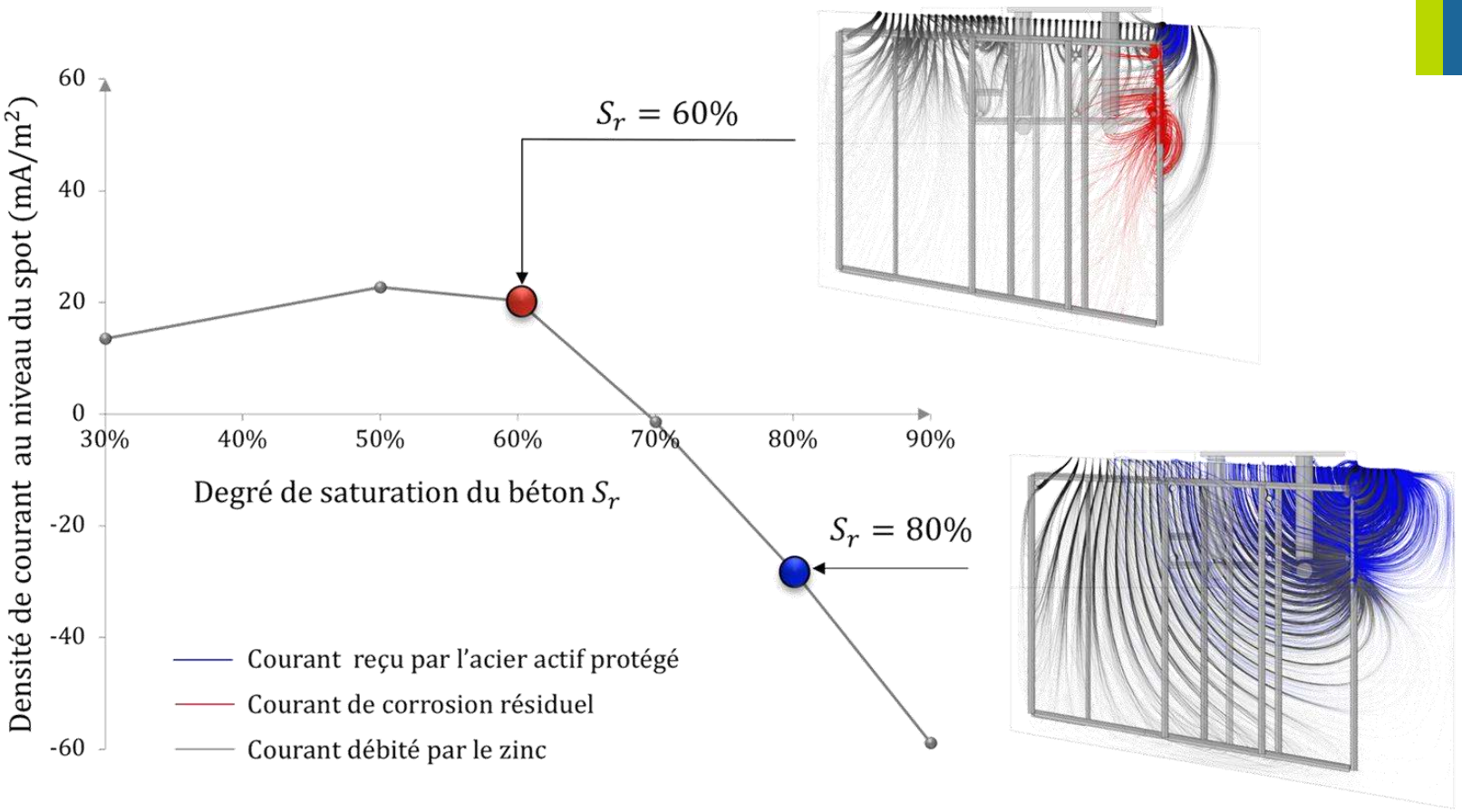
↓

CAO des systèmes de maintenance électrochimique

- **Scénario probable : corrosion des armatures à la jonction bordure-longrine**
- **Surface du spot de corrosion : 5% de la surface totale**

Application à un cas réel : le viaduc du Chavanon

Scénarios de corrosion

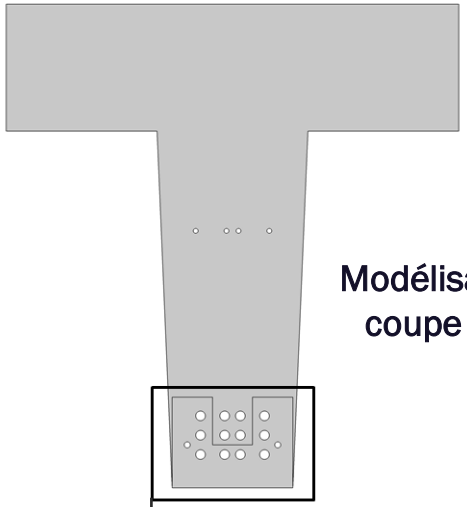


- Influence de la disponibilité en oxygène sur le niveau de protection
- Dimensionnement de l'installation en fonction du scénario de corrosion

Autre cas d'étude : Quais Forgues – Port de Bayonne

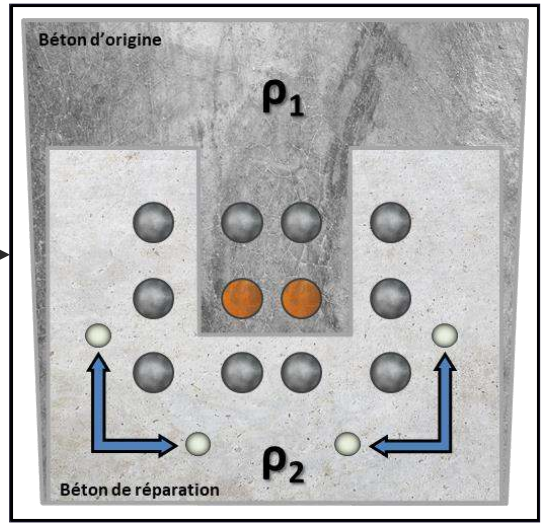
Région Nouvelle Aquitaine

Optimisation du positionnement des anodes

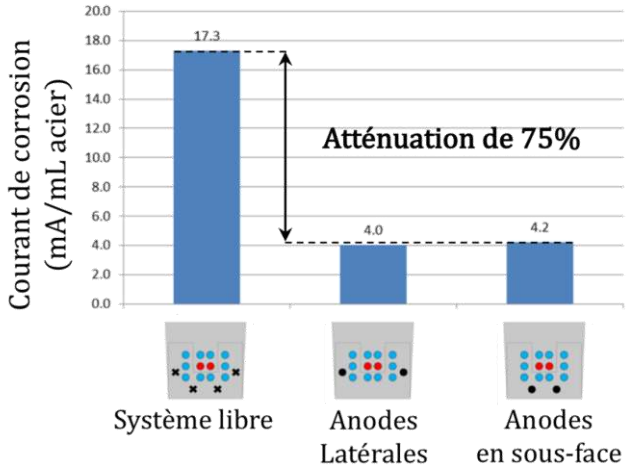


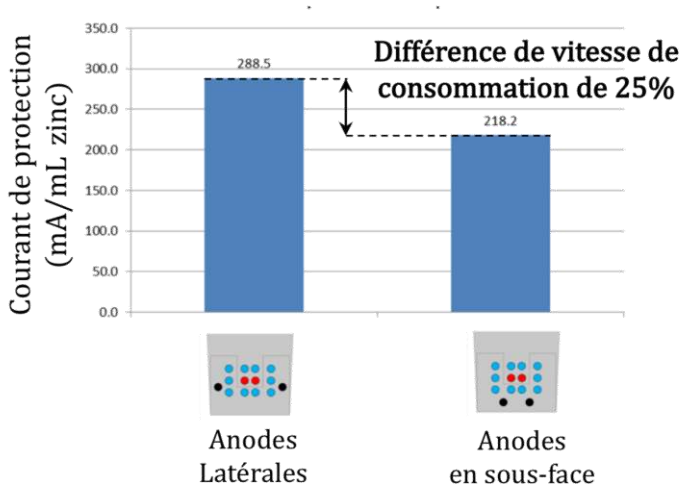
Modélisation 2D de la coupe de la poutre

Modélisation de la réparation



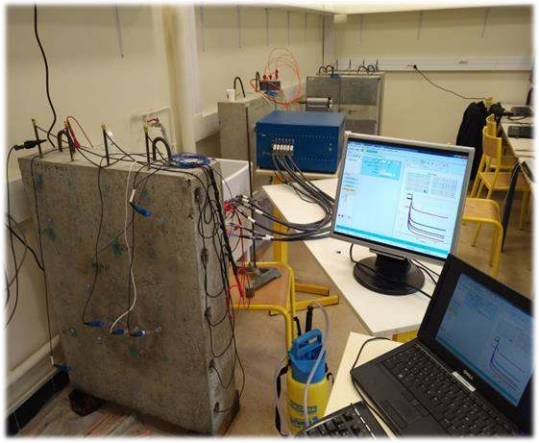
- Anode zinc
- Acier passif
- Acier actif

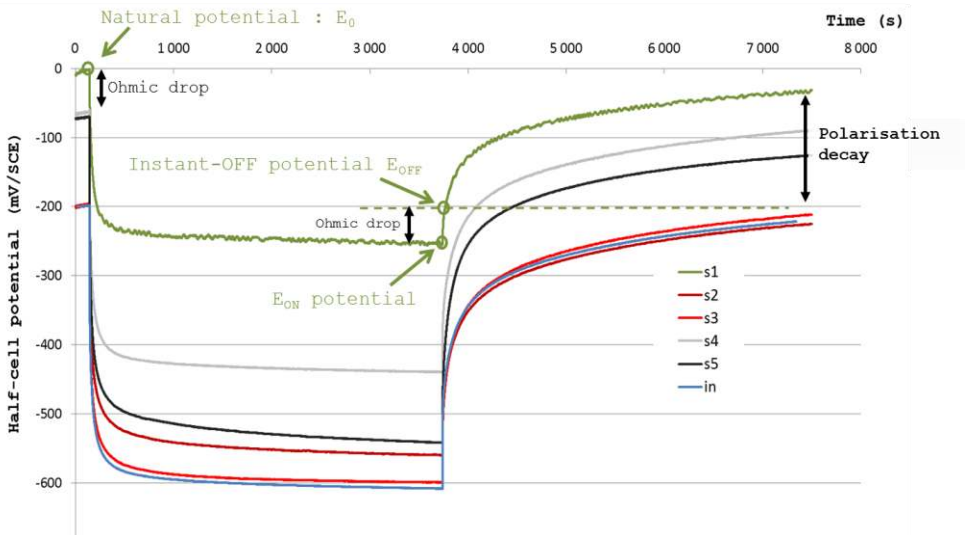




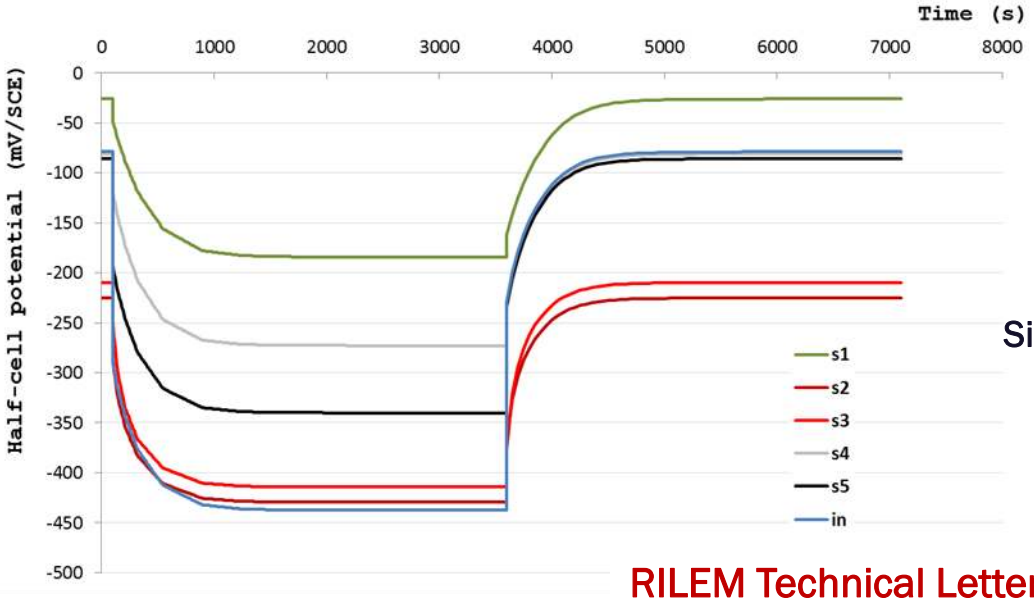
Tests de dépolarisation : simu en régime transitoire

Essai de dépolarisation en labo :
6 points de mesure





Expérience



Simulation

- Réponse différente selon la position de mesure !
- Où mesurer ?
- Recours à la simulation pour choisir les zones de contrôle

RILEM Technical Letters, 2017

Conclusion

Système de protection cathodique du béton armé
=
Vrai problème physique 3D (non réductible 1D)

Facteurs influents majeurs :

- Transport du dioxygène vers les armatures
- Degré de saturation du béton
- Champ de résistivité électrique
- Géométrie de l'élément et du ferraillage
- Type et positionnement des anodes
- Comportement du système anodique
- Etat de corrosion initial…

Conséquence principale :

Protection non uniforme du réseau d'armatures

Orientation nécessaire vers
la **Conception et le Contrôle Assistés par Ordinateur** des systèmes de protection cathodique du béton armé