

# GIS DECADES

Workshop #2

Durabilité Et Corrosion des Armatures  
Dans les ouvrages en béton intégrant ou  
non des Solutions bas carbone

Mar. 13 mai |  
La Rochelle Université

## ÉVALUATION DE LA CORROSION (CINÉTIQUE, LOCALISATION ET DIMENSION DES ZONES CORRODÉES) PAR « TOMOGRAPHIE ÉLECTROCHIMIQUE »

Raoul François<sup>(1)</sup>, David Garcia<sup>(2)</sup>, Lucas Hess<sup>(2)</sup>, Jean-Philippe Charron<sup>(3)</sup>, Mahdi Ben-Ftima<sup>(3)</sup>

1. Université de Toulouse, INSA, UPS, LMDC, Toulouse, France
2. BlueSpine, Champfleury, France
3. Département des génies civil, géologique et des mines,  
Polytechnique Montréal, Canada



# INTRODUCTION

## Méthode d'évaluation quantitative de la corrosion :

- Consommateur de temps et de ressources expérimentales et numériques
- Appliquée sur des zones d'intérêt préalablement identifiées

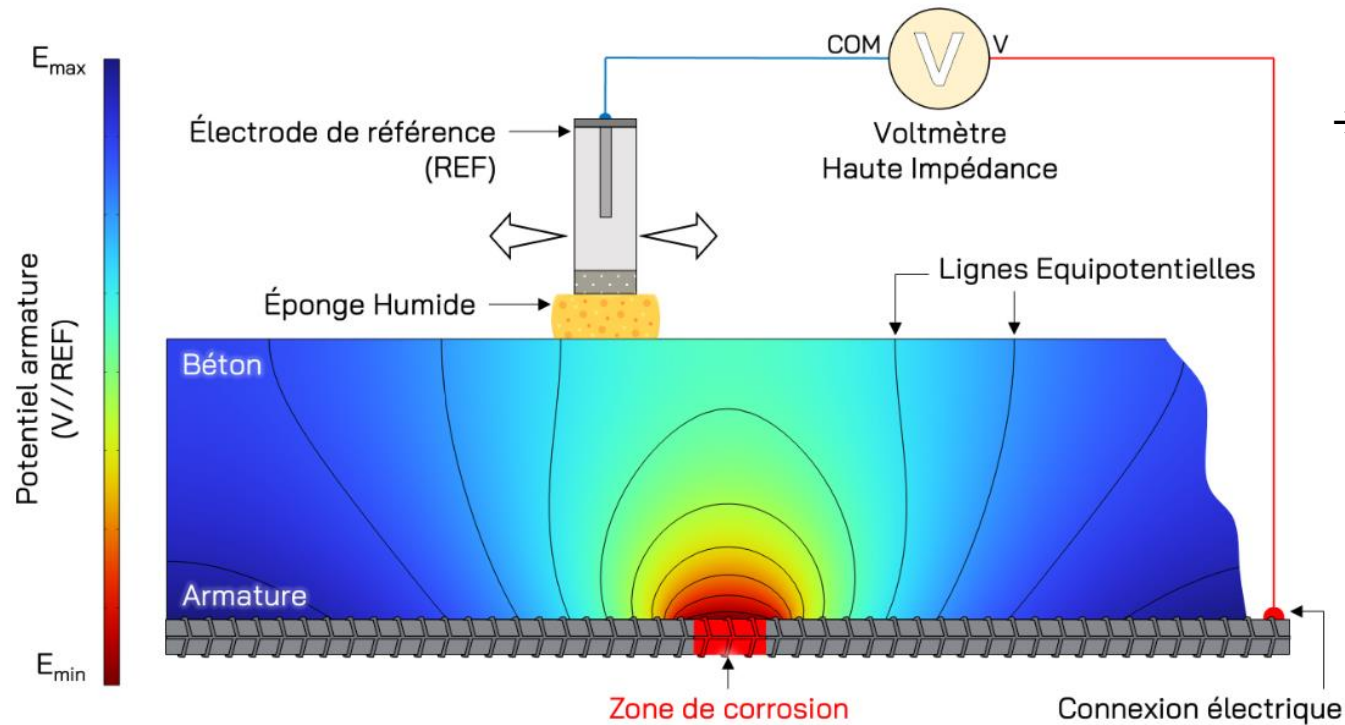
1. Identification des zones corrodées :
  - Cartographie de potentiel électrochimique
2. Quantification de la corrosion :
  - « Tomographie » de potentiel électrochimique



# 1<sup>ER</sup> ÉTAPE :

## MESURE DE POTENTIEL ÉLECTROCHIMIQUE

Mesure en surface du champ de potentiel induit par la corrosion



→ Introduit de nombreux biais :

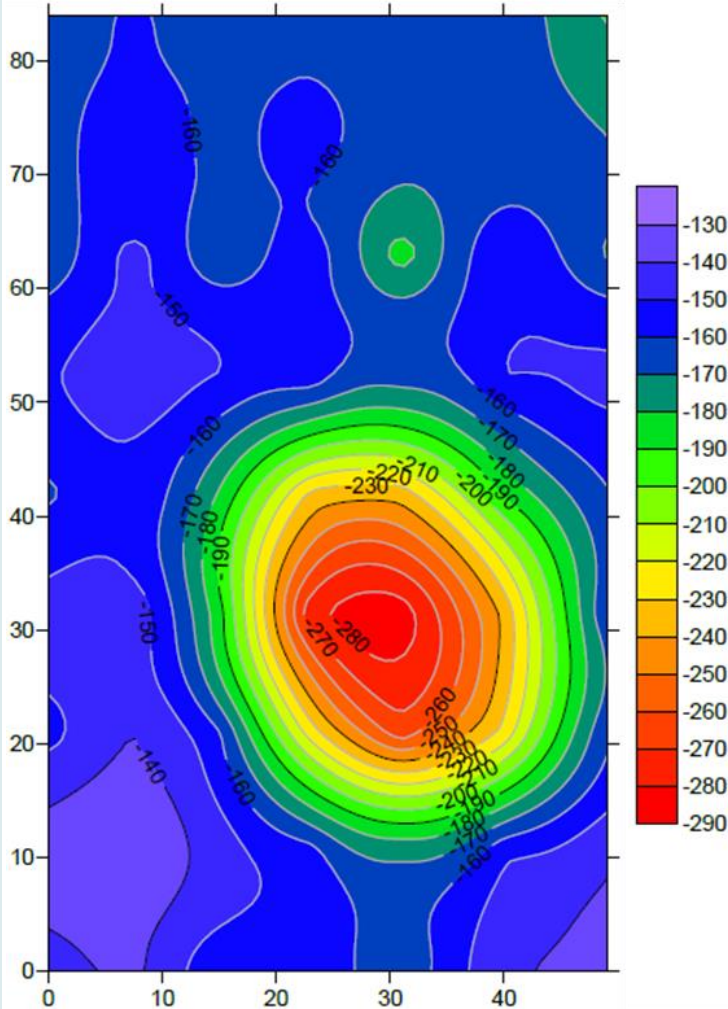
- Potentiel de jonction aux interfaces
- Potentiel de membrane ( $Cl^-$  ;  $OH^-$ )
- Gradient hydrique dans le volume de béton

# 1<sup>ER</sup> ÉTAPE :

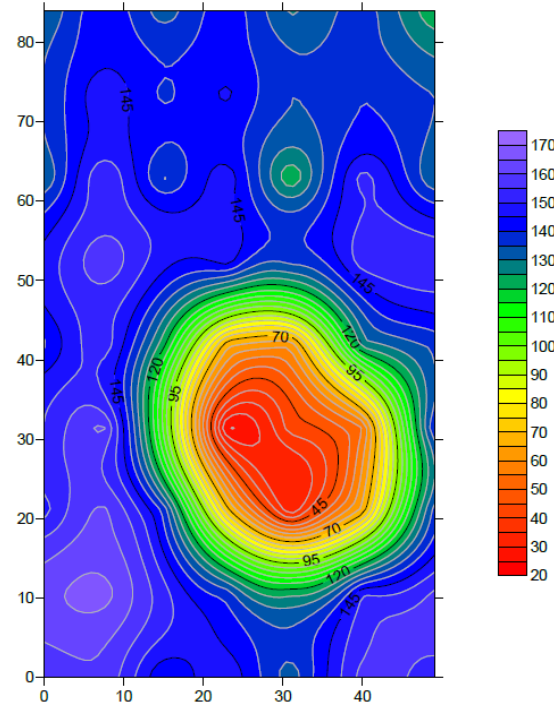
## MESURE DE POTENTIEL ÉLECTROCHIMIQUE

L'interprétation du potentiel en valeur absolue est très complexe

- L'analyse en gradient de potentiels est plus pertinente (TC RILEM 154 – EMC)  
→ Représentation en iso-valeurs
- Les « puits » de potentiel sont signes d'une activité de corrosion (en rouge)



Exemple carte de potentiel  
/CuCuSO4 saturé **connexion acier**



Exemple carte de potentiel /CuCuSO4 saturé  
**connexion électrode fixe MnMnO2**



### Interprétation en gradients de potentiels :

Autorise des mesurages à 2 électrodes  
(y compris 2 mobiles) sans connexion à l'acier.

## 2<sup>E</sup> ÉTAPE :

### TOMOGRAPHIE ÉLECTROCHIMIQUE

#### Reconstruction de la spatialité du système de corrosion

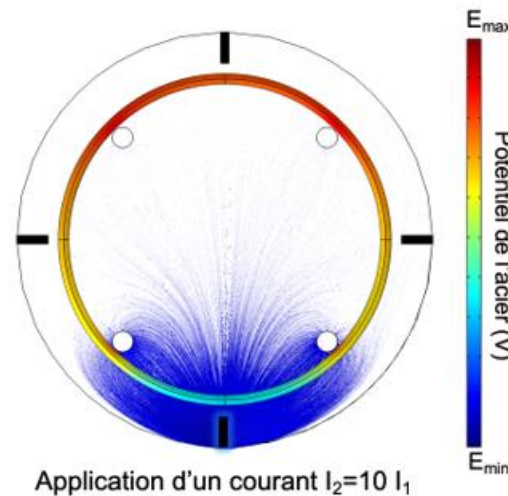
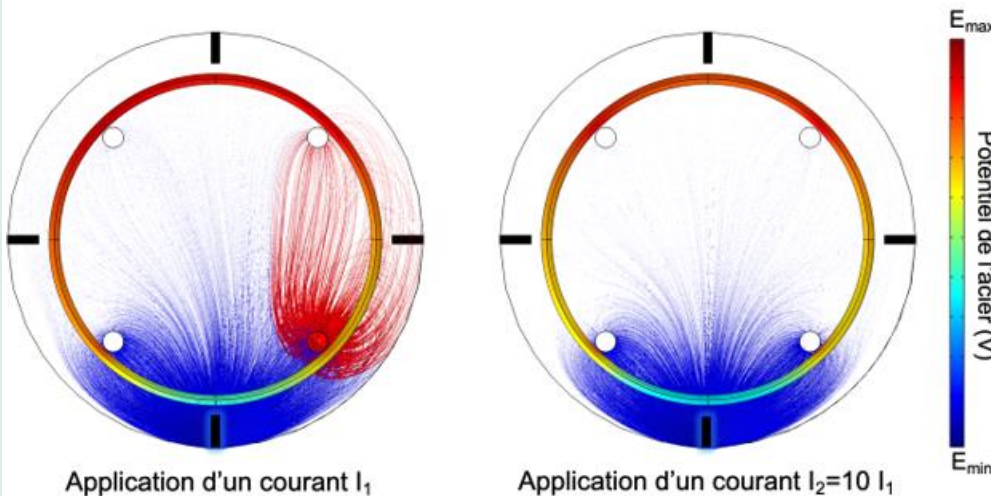
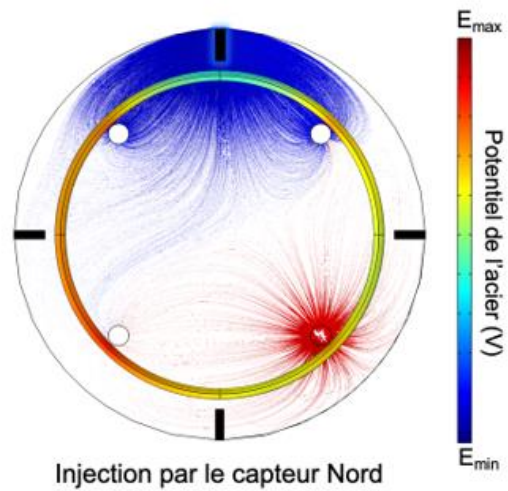
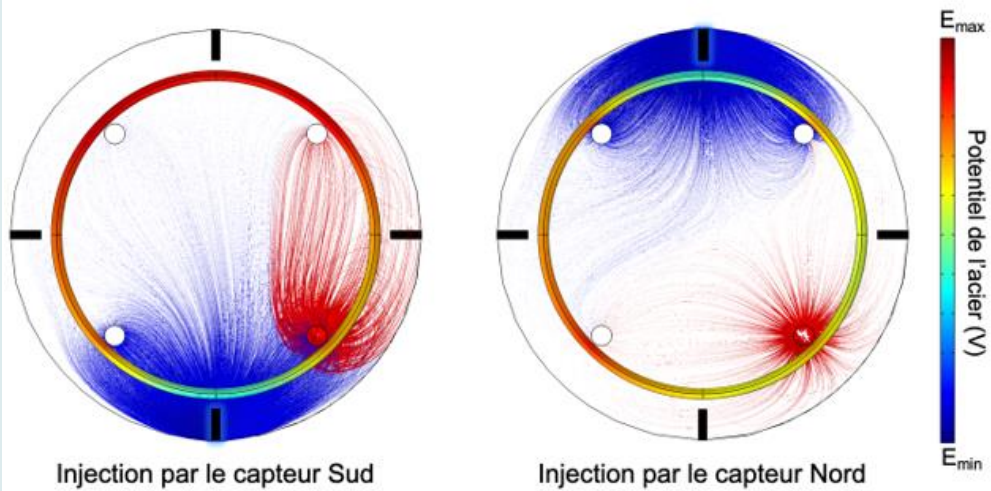
→ Similaire à la reconstruction en tomographie d'imagerie médicale :

- Plusieurs capteurs permettent d'imposer des sollicitations électrochimiques aux armatures et de mesurer les réponses associées.
- Nécessite un outil d'interprétation des données collectées (code de calcul aux éléments finis).
- La localisation et la cinétique de corrosion est calculée par analyse inverse des données collectées.

## 2<sup>E</sup> ÉTAPE :

### TOMOGRAPHIE ÉLECTROCHIMIQUE

Principe : polarisation anodique et cathodique de différentes intensités en différents points



Existence d'une zone de corrosion sur l'armature située au Sud-Est

1. Polarisation cathodique à partir du capteur Sud
2. Polarisation cathodique à partir du capteur Nord

→ Les réponses en potentiel mesurées par les capteurs Ouest et Est sont différentes.

Avec 2 intensités différentes de polarisation cathodique à partir du capteur Sud :

→ Le capteur Est (par exemple) mesure des potentiels différents.

# ÉTUDE DE CAS

Application au diagnostic d'une dalle de pont : 1 x 1,9 x 0,3 m (issu sciage dalle 2 x 1,9 x 0,3)

## 1. Interface réparation

située à environ 120 mm du bas.

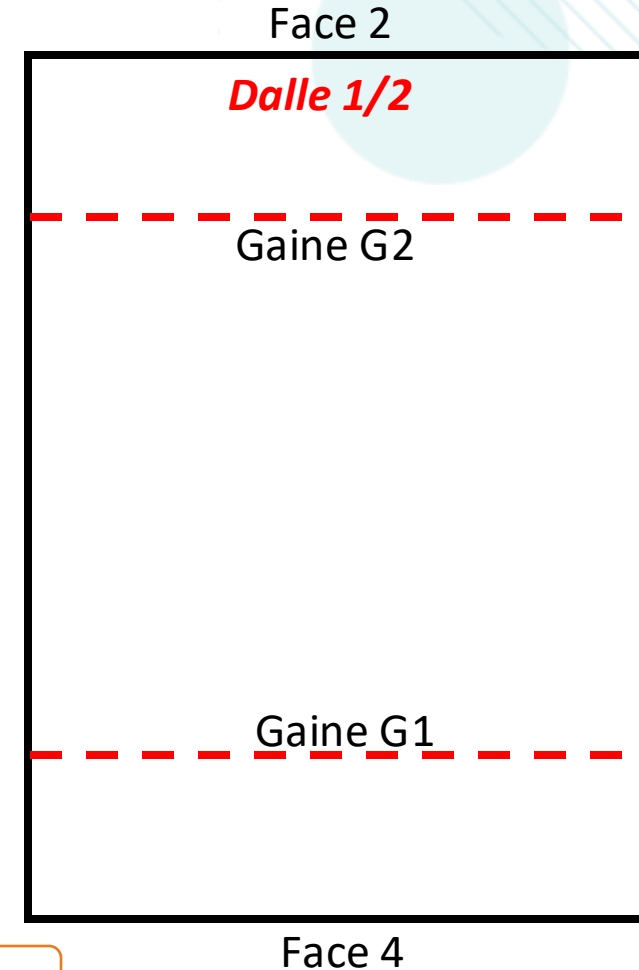
## 2. Seule continuité électrique :

- Armatures longitudinales et transversales dans la réparation.



## 3. Absence de continuité :

- Armatures de la dalle et réparation.
- Gaines de précontrainte.



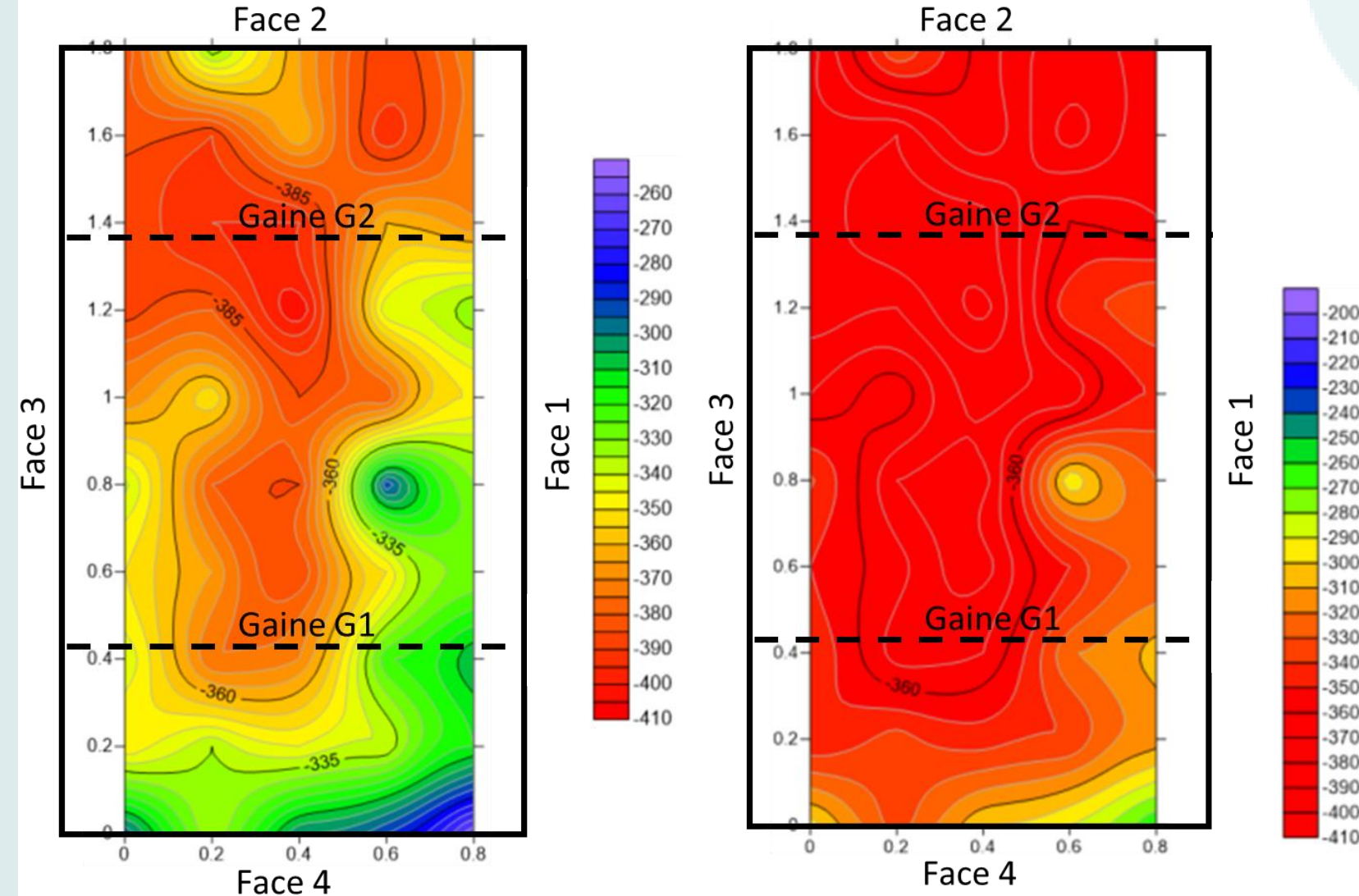
→ Mesures de potentiels

→ Mesures de polarisation anodique et cathodique en 3 points

# ÉTUDE DE CAS

## 1<sup>E</sup> ÉTAPE

### Cartographie de potentiel face supérieure



/ AgAgCl 3M KCl vs lit inférieur (réparation)

/ CuCuSO4 vs lit inférieur (réparation)

- CuCuSO4

→ Potentiel négatif



Questionnable car zone réparée  
semble en parfait état

# ÉTUDE DE CAS

## 1<sup>E</sup> ÉTAPE

### Cartographie de potentiel face latérale 4

- **Puits de potentiels**  
**au droit de chaque armature :**

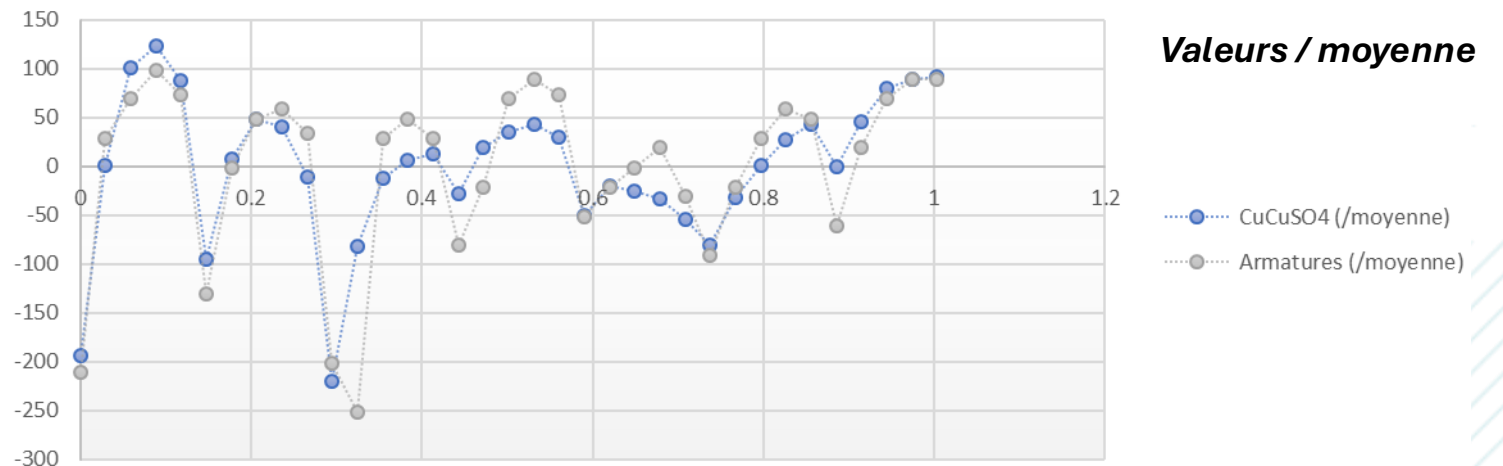
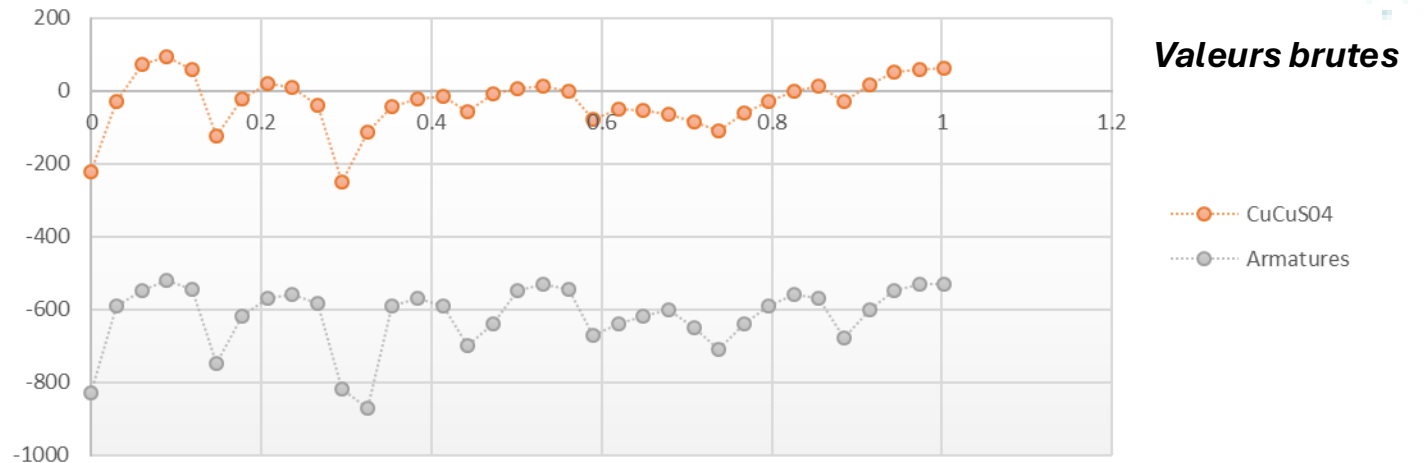
→ suspicion présence d'anodes galvaniques (non documenté).

- **L'exploitation /moyenne :**

→ confirme la robustesse de la mesure à 2 électrodes.

« REF » = AgAgCl 3M KCl

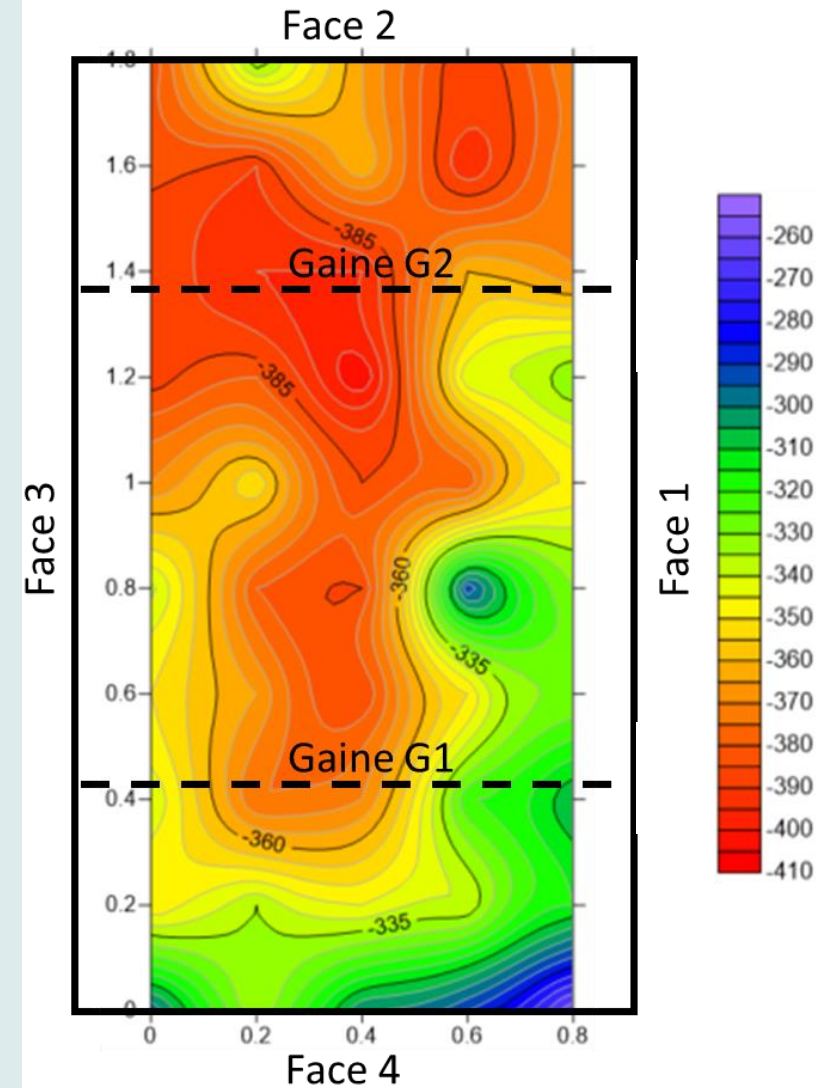
« Fixe » = lit armature réparation OU CuCuSO4



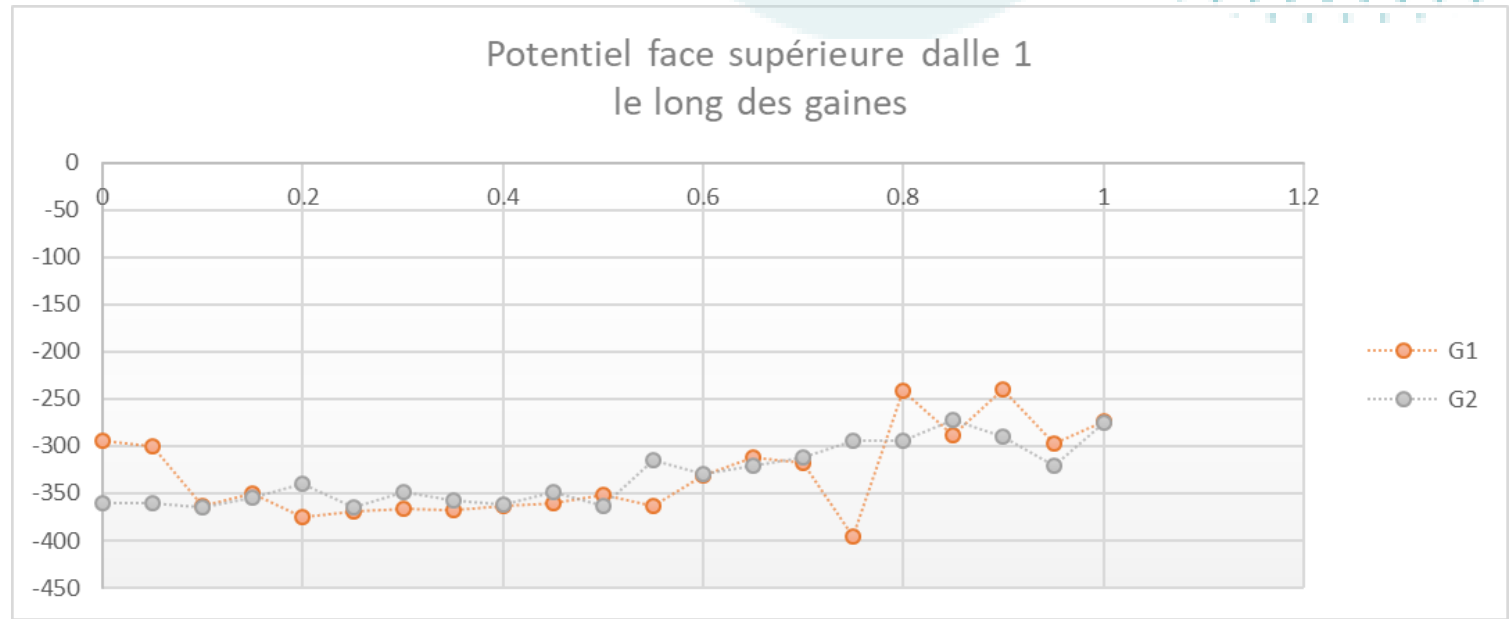
# ÉTUDE DE CAS

## 1<sup>E</sup> ÉTAPE

### Étude des gaines



/ AgAgCl 3M KCl vs lit inférieur (réparation)

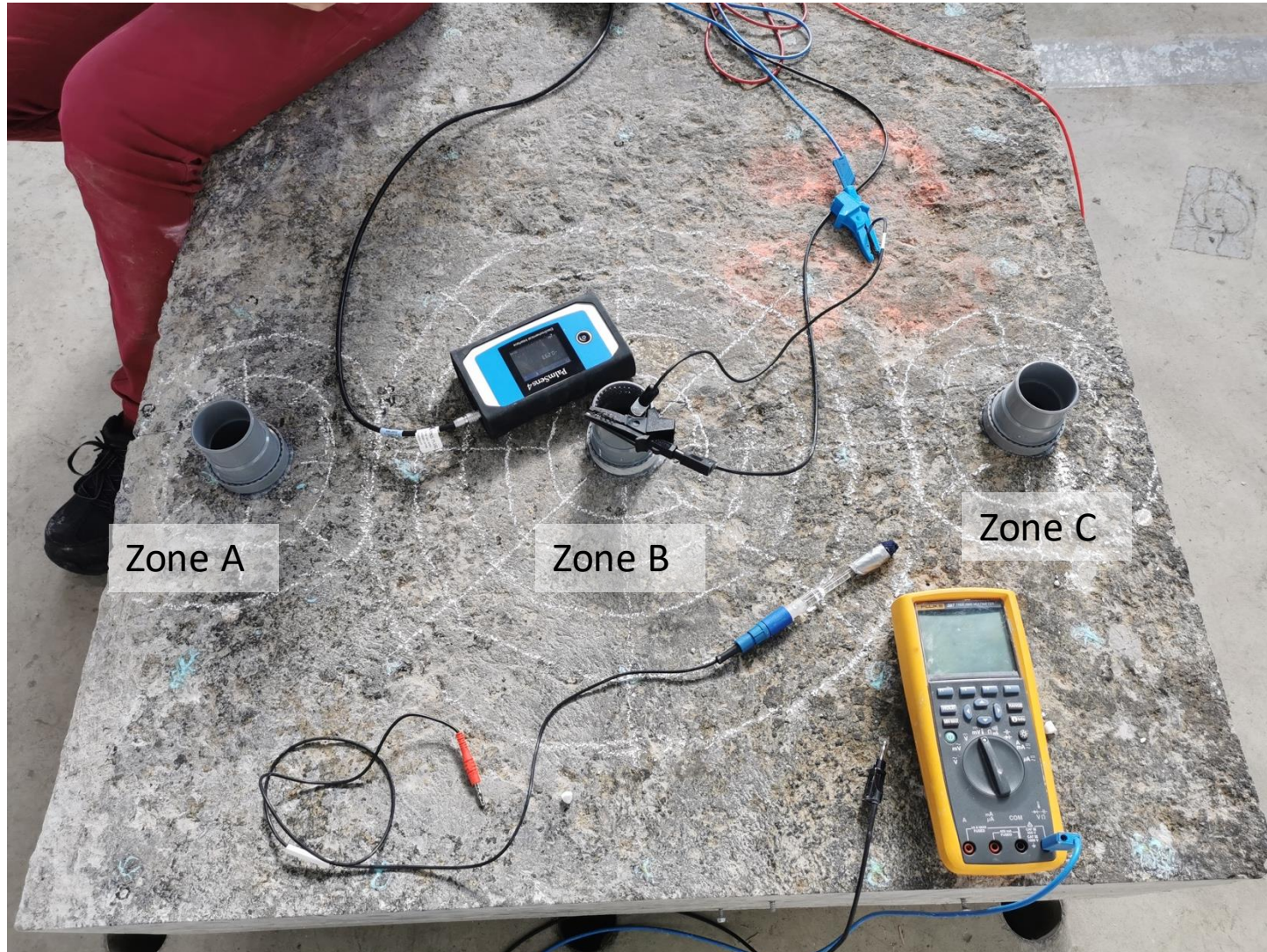


Les gaines sont déconnectées du lit de réparation : la mesure de potentiel en surface ne rend pas compte de leur état électrochimique

# ÉTUDE DE CAS

## 2<sup>E</sup> ÉTAPE

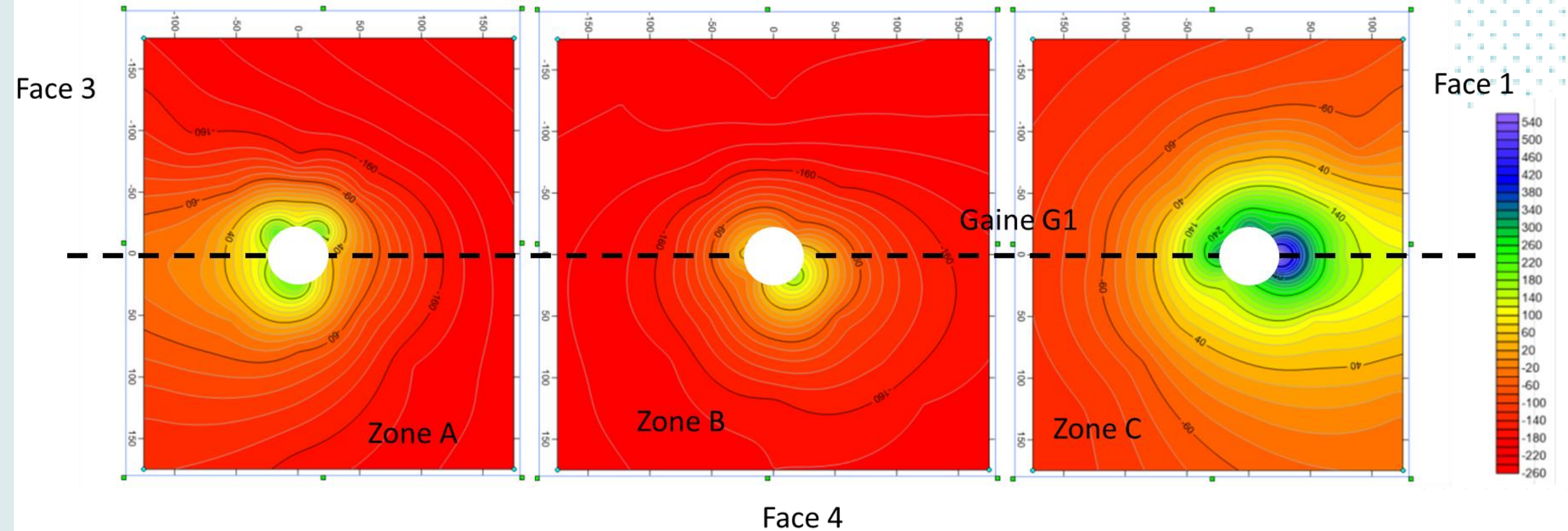
Tomographie électrochimique : mesures de polarisation anodique et cathodique en 3 points



# ÉTUDE DE CAS

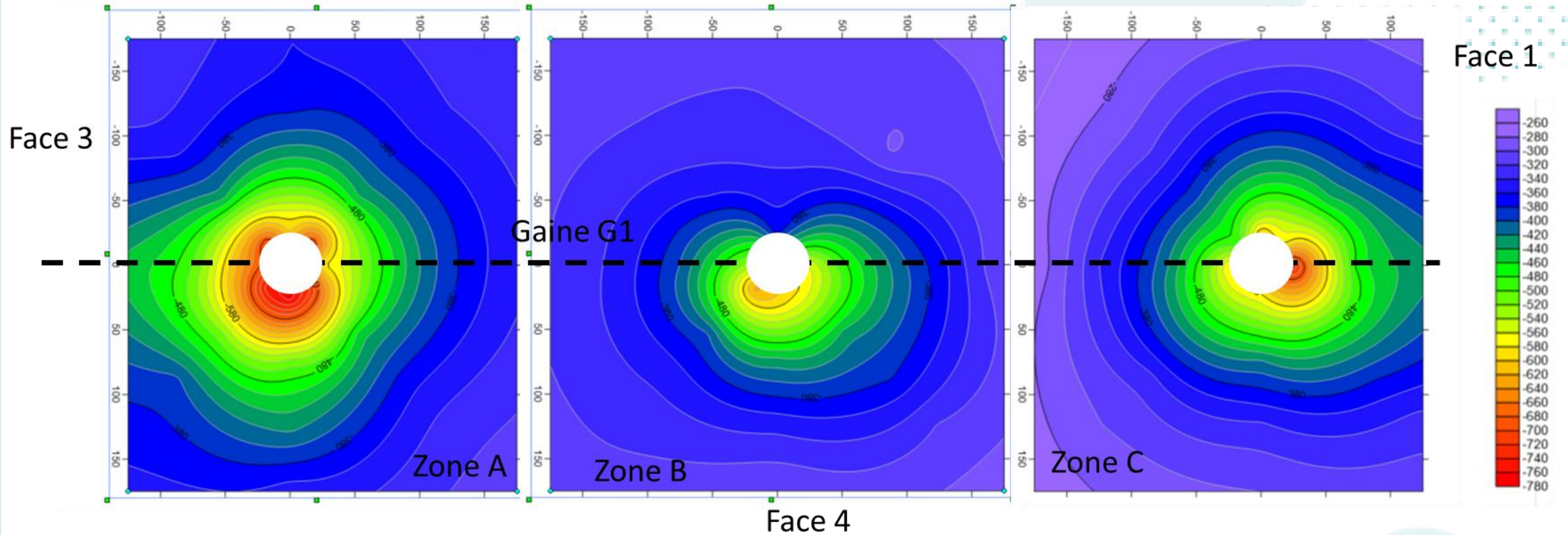
## 2<sup>E</sup> ÉTAPE

Polarisation anodique G1 sur dalle 1/2



- Polarisation anodique plus faible en zones A et B et plus forte en zone C
- La corrosion se prolonge jusqu'au moins la moitié de la demi-dalle

### Polarisation cathodique G1 sur dalle 1/2



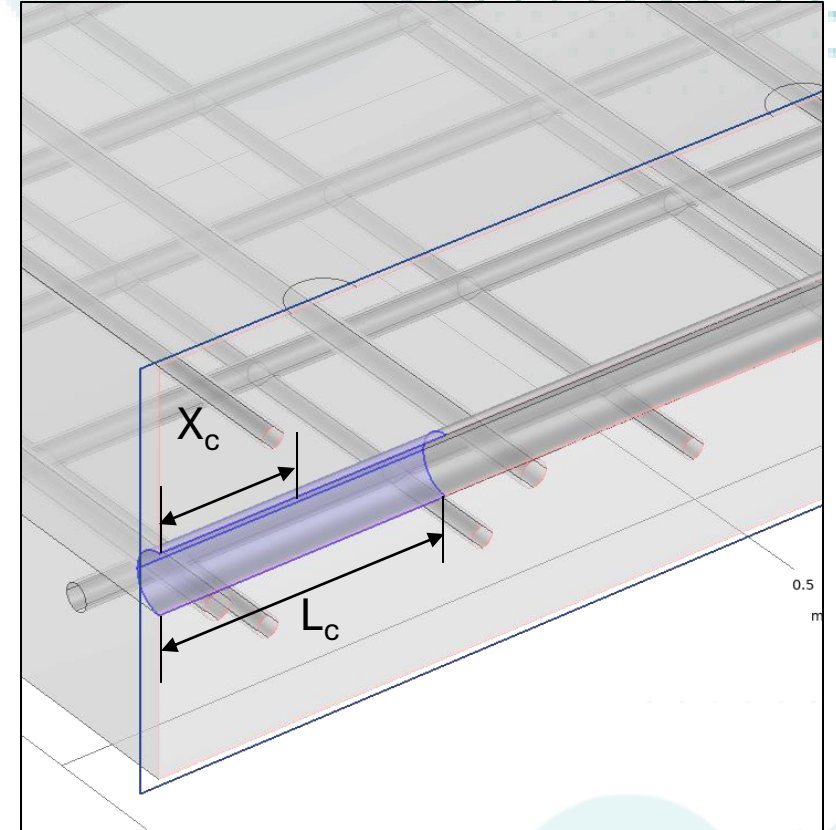
- Polarisation cathodique plus faible de la zone B témoigne d'une activité anodique plus forte

# ÉTUDE DE CAS

## 2<sup>E</sup> ÉTAPE

Analyse inverse par modélisation aux éléments finis

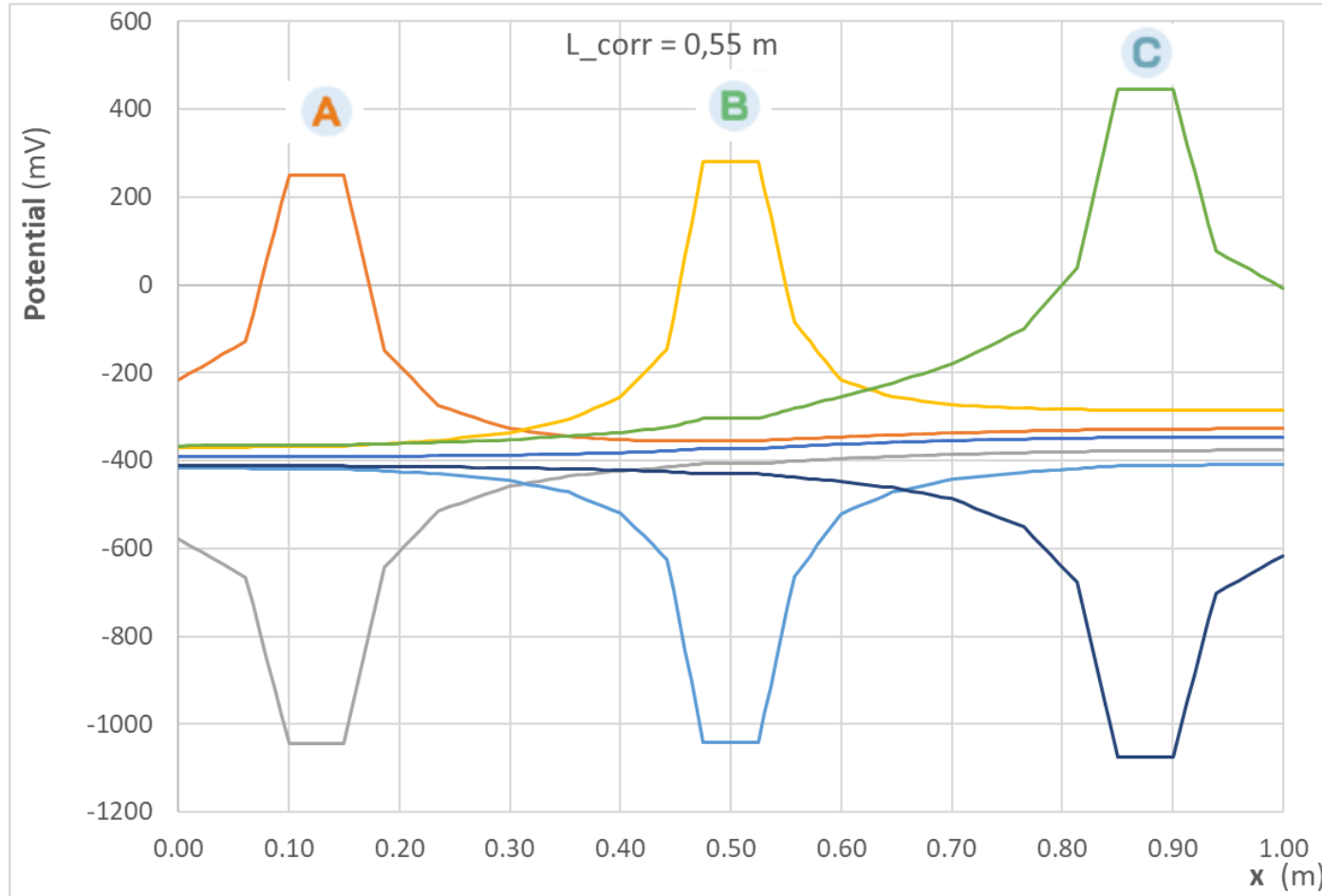
- **Optimisation géométrique :**
  - Position du site actif :  $X_c$
  - Longueur du site :  $L_c$
- **Optimisation électrochimique :**
  - $E_{\text{corr},a}$
  - Si non évaluée expérimentalement : Résistivité ( $\rho$ )



# ÉTUDE DE CAS

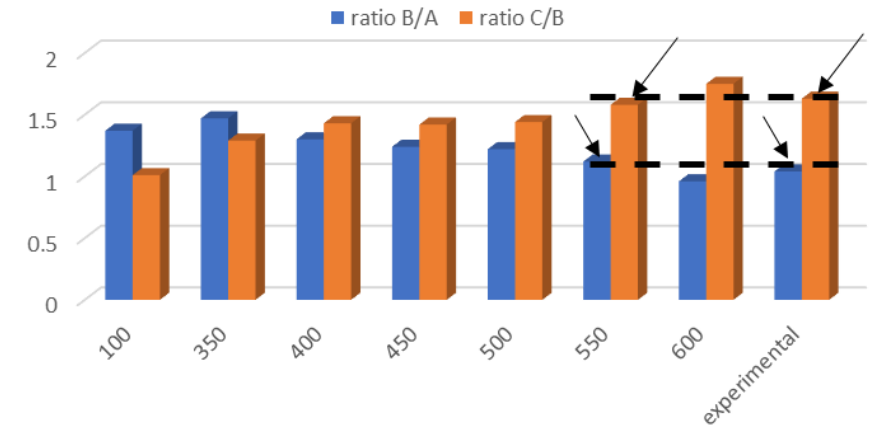
## 2<sup>E</sup> ÉTAPE

### Analyse inverse par modélisation aux éléments finis

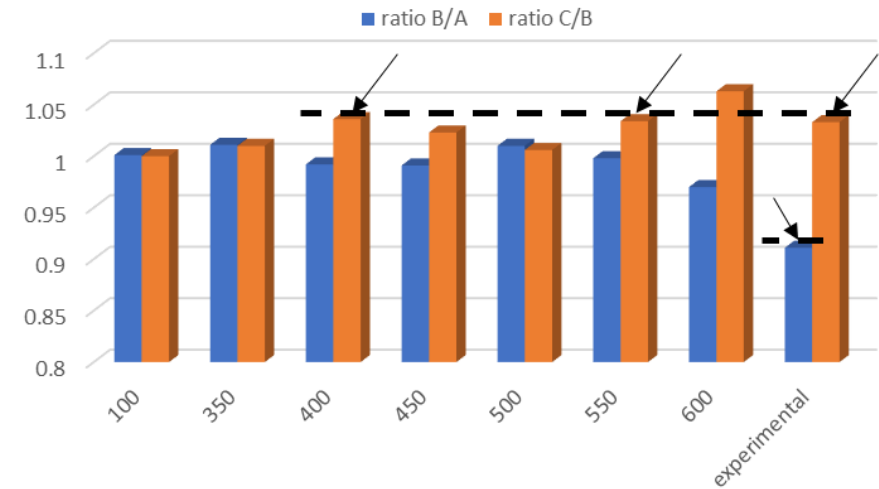


$$L = 0,55 \text{ m} \quad i = 0,16 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

ratio between **anodic** peaks



ratio between **cathodic** peaks



# CONCLUSION

## MÉTHODE

- La méthode de tomographie électrochimique inclue toujours une étape de qualification permettant d'identifier une zone restreinte associée à une étude quantitative.
- La tomographie permet une quantification des zones corrodées (localisation, étendue, intensité).
- Utilisable sur site (nécessite des polarisations élevées).

## ÉTUDE DE CAS

- Autopsie à venir de la gaine.



A



C