

L'optimisation
de la conception
des procédés
et des performances

PROJET DE RECHERCHE
CraCoDub
Crack, Corrosion & Durability



Présentation du Projet NATIONAL

Workshop GIS DECADE – La Rochelle

**Laurent Boutillon - Directeur Scientifique
VINCI Construction Grands Projets**

► Agenda

Positionnement du sujet

- Scénarios de corrosion / fissuration
- Questions Majeures du PN



Résultats récents

- Milieu carbonaté
- Milieu chloruré

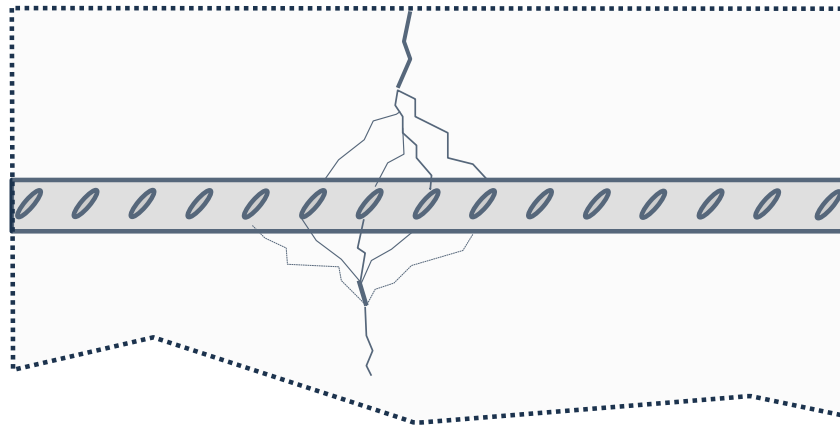


Axes de recherche du PN CraCoDub

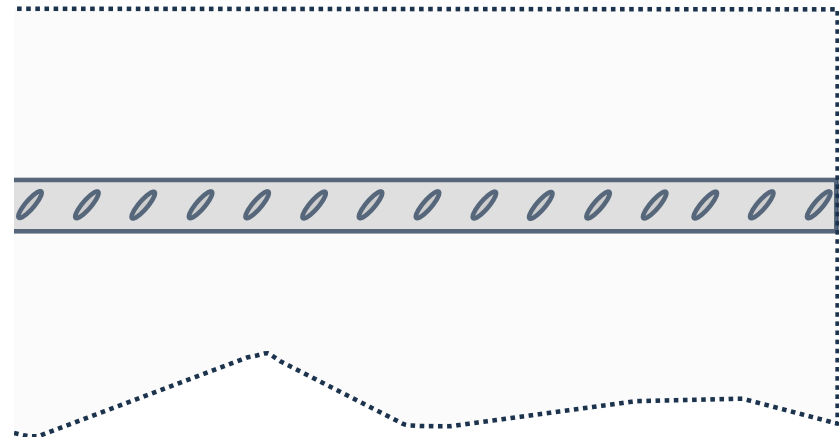
- Essais laboratoire
- Investigations In-situ
- Prévention
- Internationalisation



Date $T_0 + \varepsilon$
après fissuration /exposition à l'agression
(chlorures)



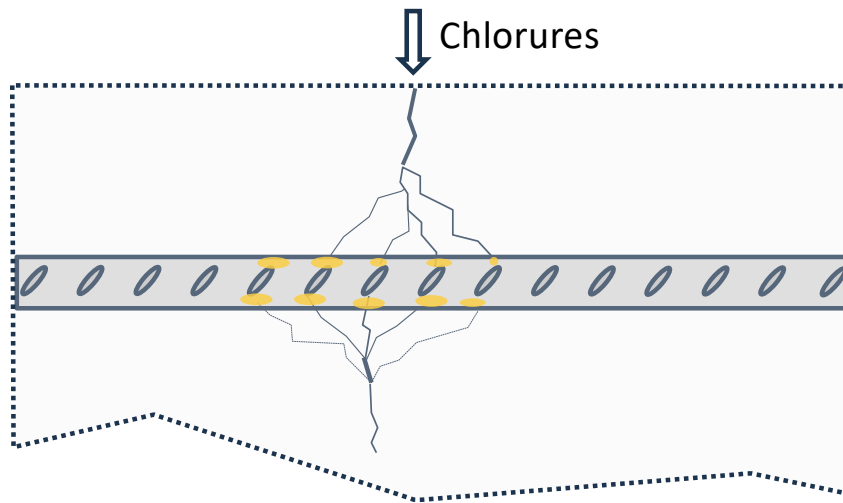
Béton armé en zone fissurée



Béton armé en zone non fissurée

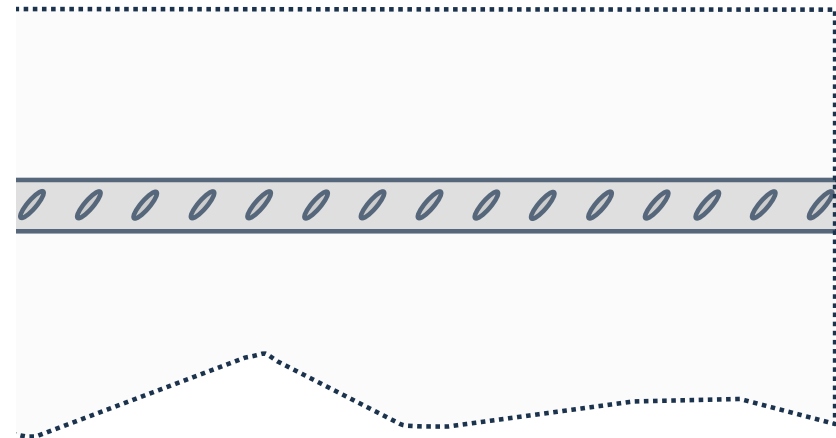


Date $T_1 = T_0 + \text{quelques jours, semaines}$



Béton armé en zone fissurée

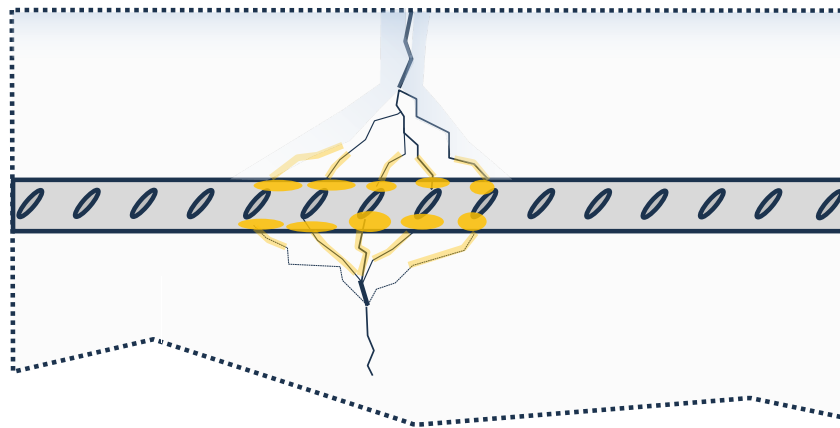
Apparition quasi immédiate de zones
anodiques en pied de chaque ramification



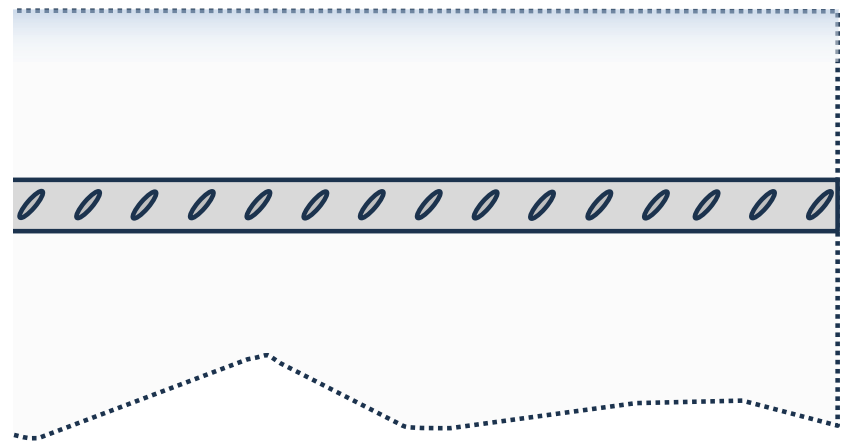
Béton armé en zone non fissurée



Date $T_2 = T_0 + \text{quelques mois}$



Zone fissurée

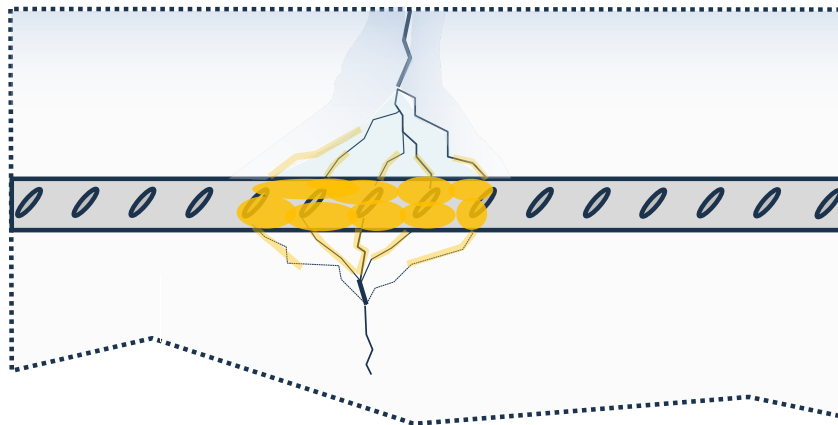


Zone non fissurée

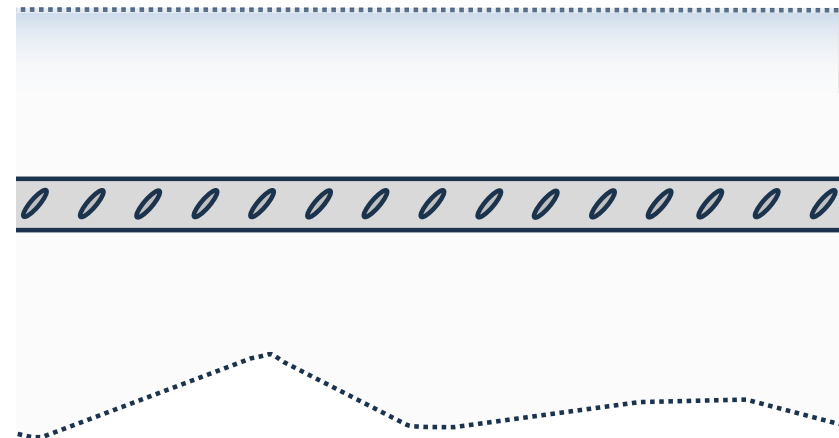


Date $T_3 = T_0 + \sim 1 \text{ an}$

SCENARIO 1



Zone fissurée

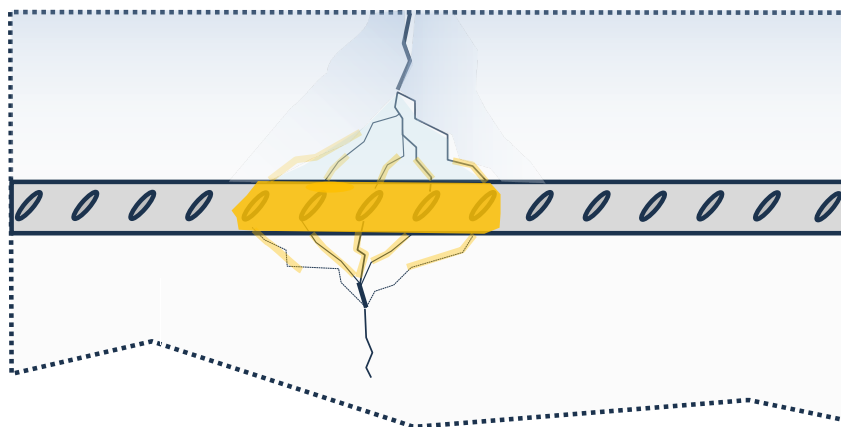


Zone non fissurée

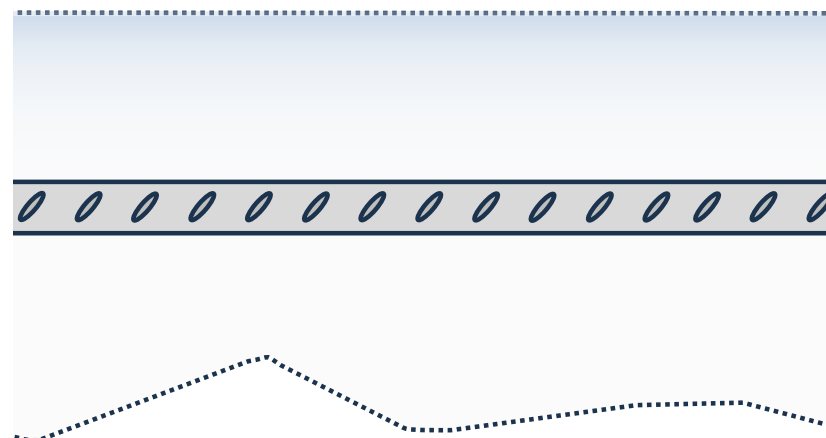


Scénario 1

Date $T_{4-1} = T_0 + \text{quelques années}$



Zone fissurée



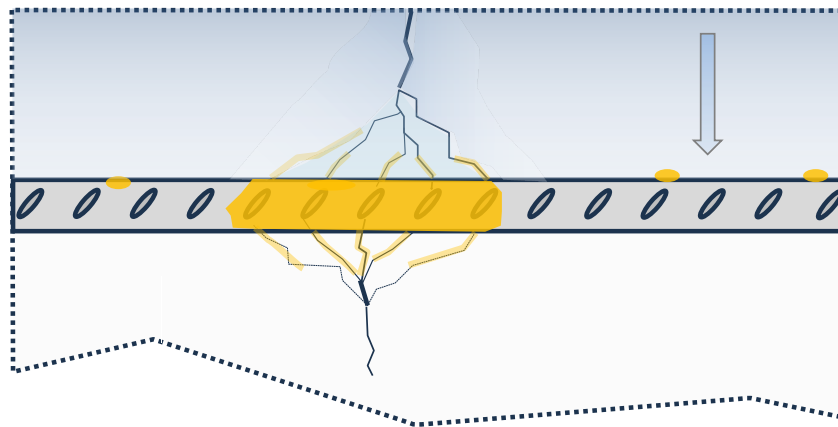
Zone non fissurée

La corrosion ralentit fortement et reste sans influence notable

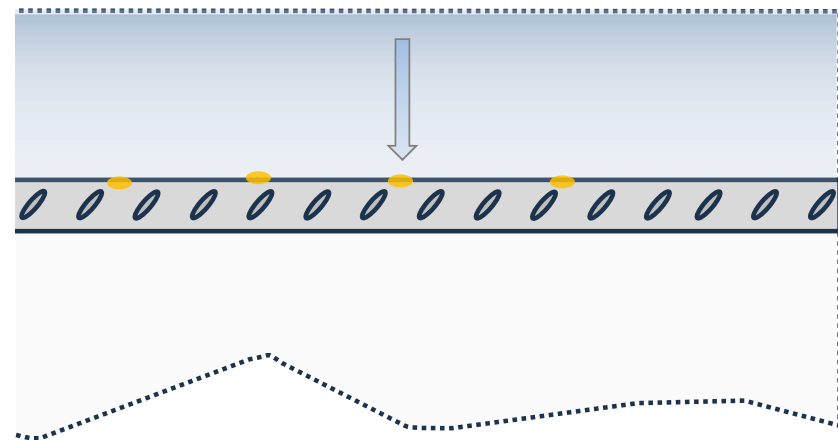


Scénario 1

Date $T_{5-1} = T_0 + \sim 50/100$ ans – quelques années



Zone fissurée



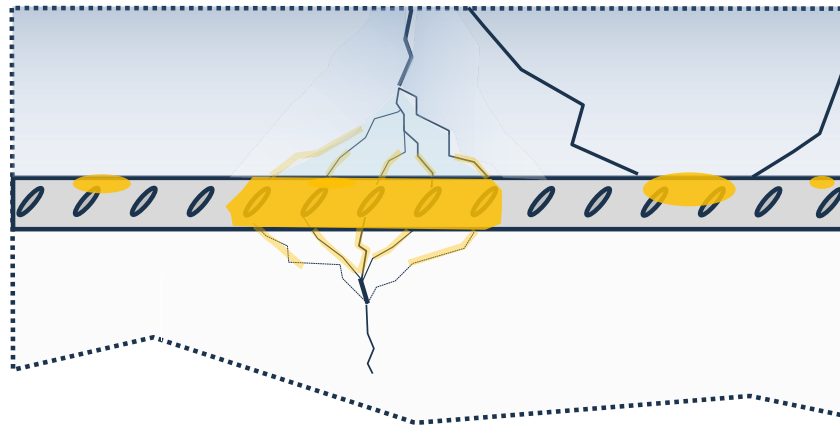
Zone non fissurée

Les agents agressifs ont traversé l'enrobage et atteint les armatures. Les premières zones anodiques apparaissent en partie courante

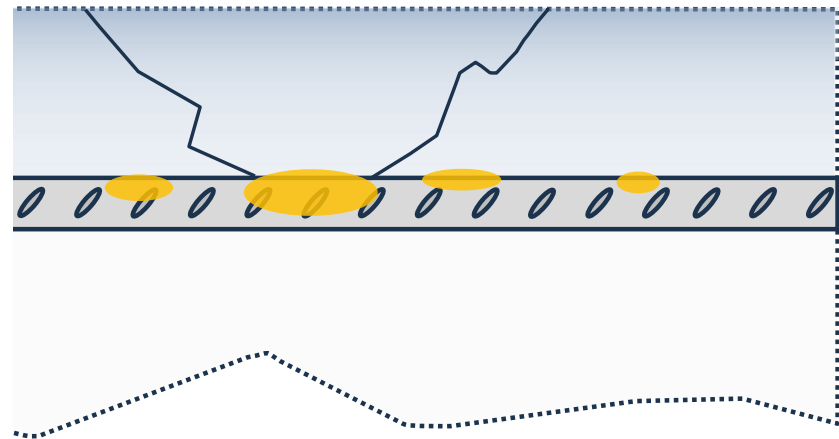


Scénario 1

Date $T_{6-1} = T_0 + \sim 50/100$ ans



Zone fissurée



Zone non fissurée

La corrosion des armatures génère les premières fissures de corrosion visibles en surface du béton

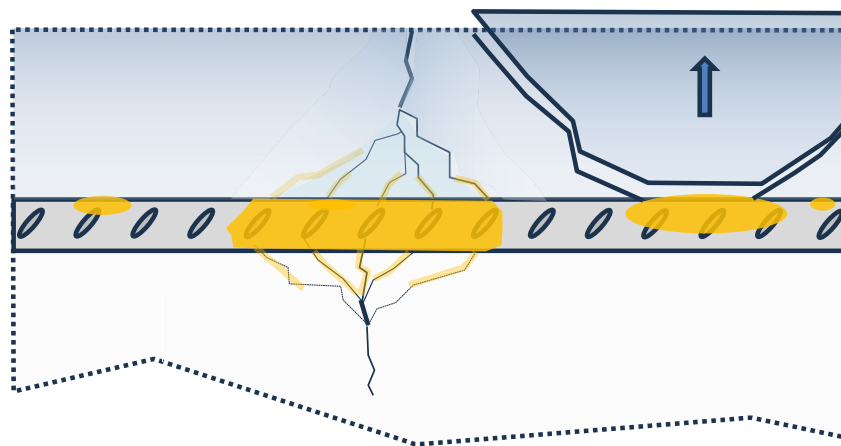
fin de vie conventionnelle
(selon *fib MC 2020*)



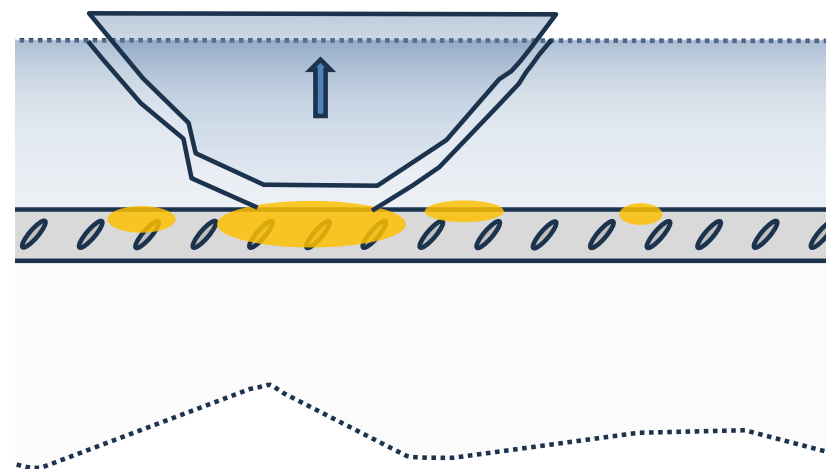
Scénario 1

Date $T_{7-1} = T_0 + \sim 50/100 \text{ ans} + \text{qq années}$

Le béton éclate sous la pression des produits de corrosion. Les armatures sont directement exposées, la dégradation devient extrêmement rapide. Des réparations lourdes sont nécessaires pour prolonger la durée de vie de la structure.



Zone fissurée



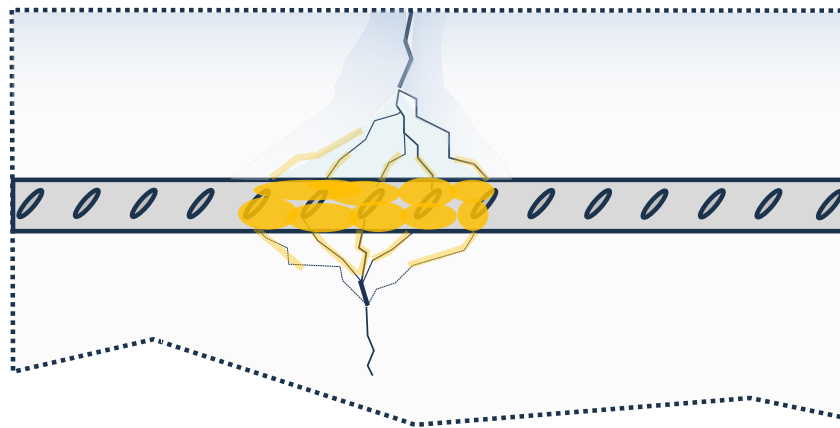
Zone non fissurée

Dans ce scénario 1 : La fissure a peu d'influence sur la durée de vie de l'ouvrage

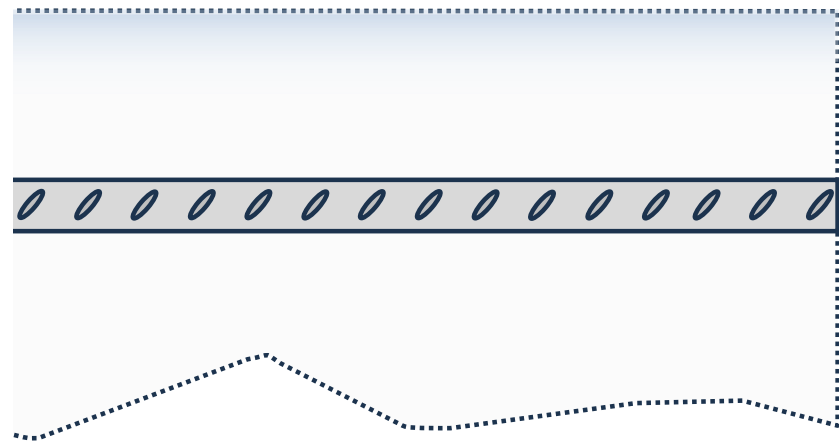


Date $T_3 = T_0 + \sim 1 \text{ an}$

SCENARIO 2



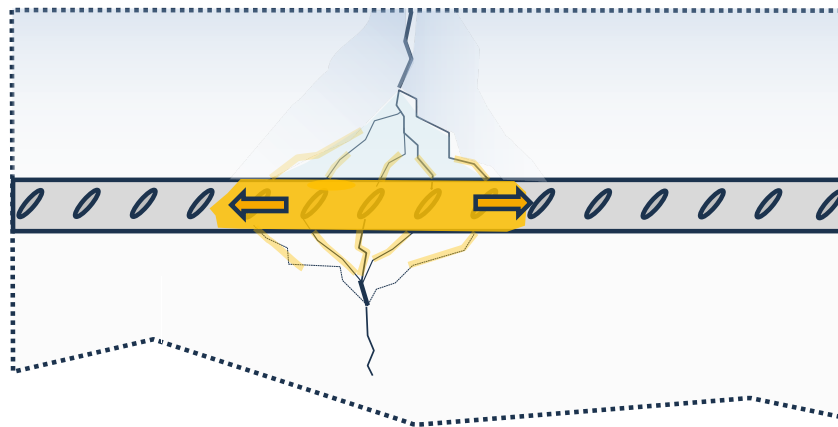
Zone fissurée



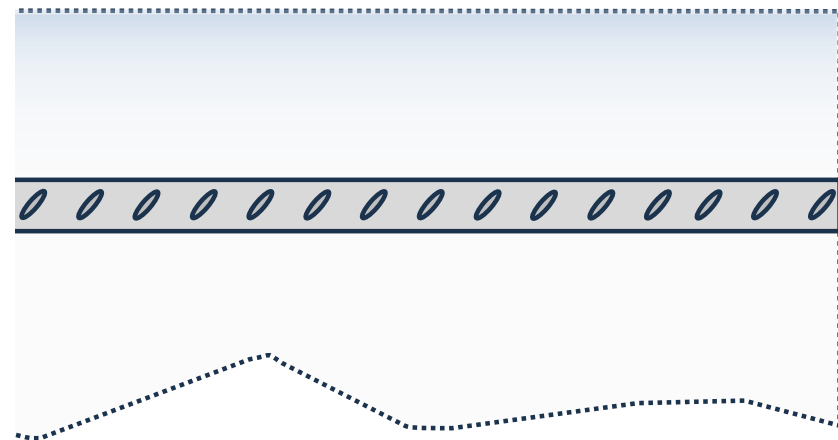
Zone non fissurée



Scénario 2

Date $T_{4-2} = T_0 + \text{quelques années}$ 

Zone fissurée



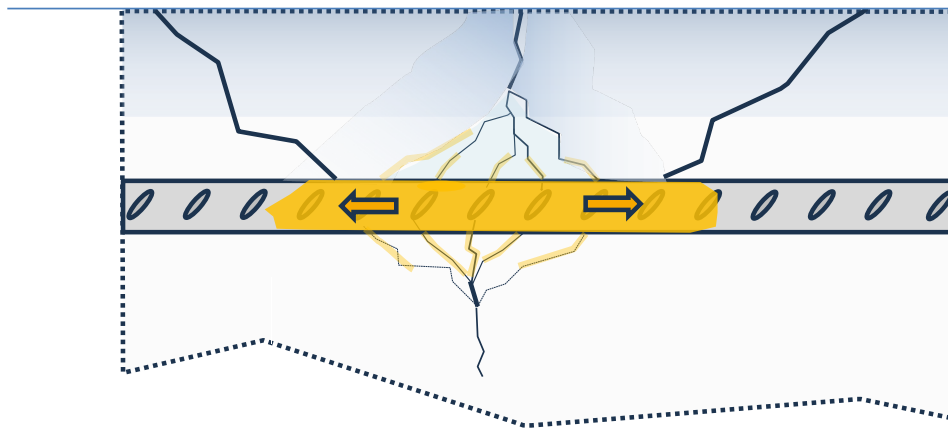
Zone non fissurée

La corrosion reste active et se propage de part et d'autre de la fissure le long de l'interface, les chlorures pénètrent le long de l'armature via les ramifications



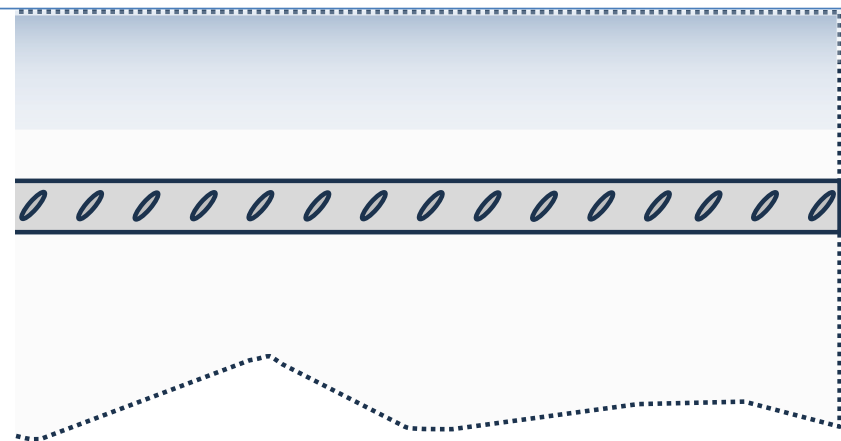
Scénario 2

Date $T_{5-2} = T_0 + \ll 50/100$ ans



Zone fissurée

La corrosion génère une pression de gonflement et
provoque des fissures en surface



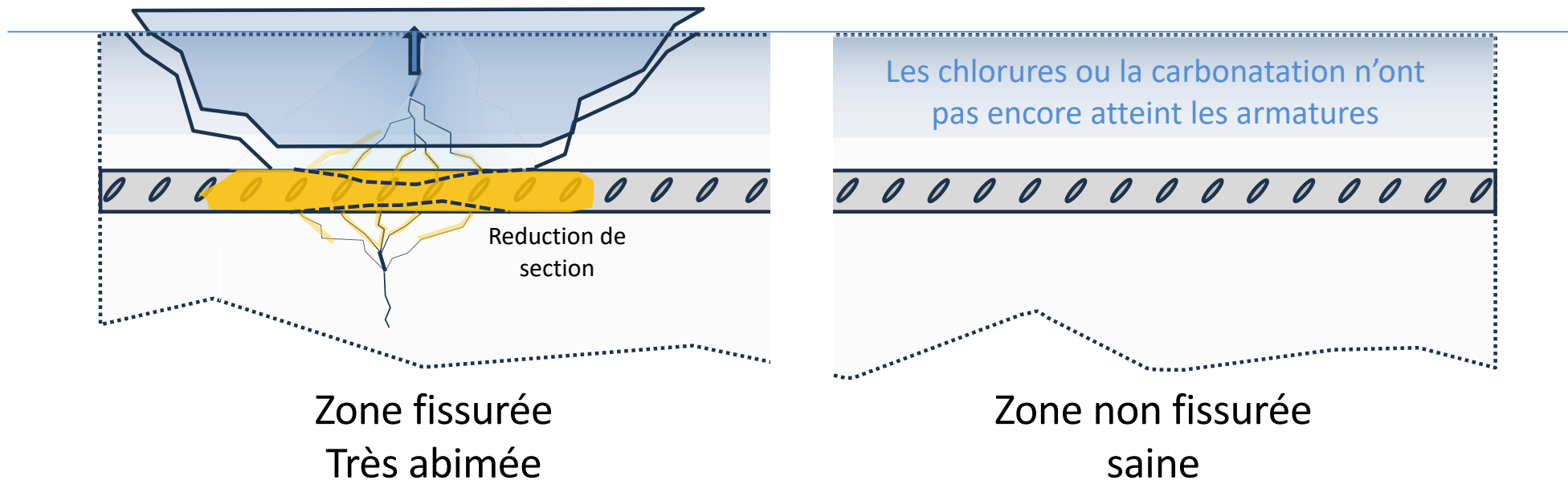
Zone non fissurée

Les agents agressifs n'ont pas atteint les armatures
Il ne se passe rien en partie courante



Scénario 2

Date $T_{6-2} = T_0 + \ll 50/100$ ans + qq années



Dans ce scénario 2 : La fissure a une forte d'influence sur la durée de vie de l'ouvrage



Questions majeures du PN

- ▶ Quels sont les facteurs qui font passer du scénario 1 au scénario 2 ?
- ▶ La limitation de l'ouverture des fissures en surface est-elle
 - ✓ Toujours NECESSAIRE ?
 - ✓ Systématiquement SUFFISANT ?

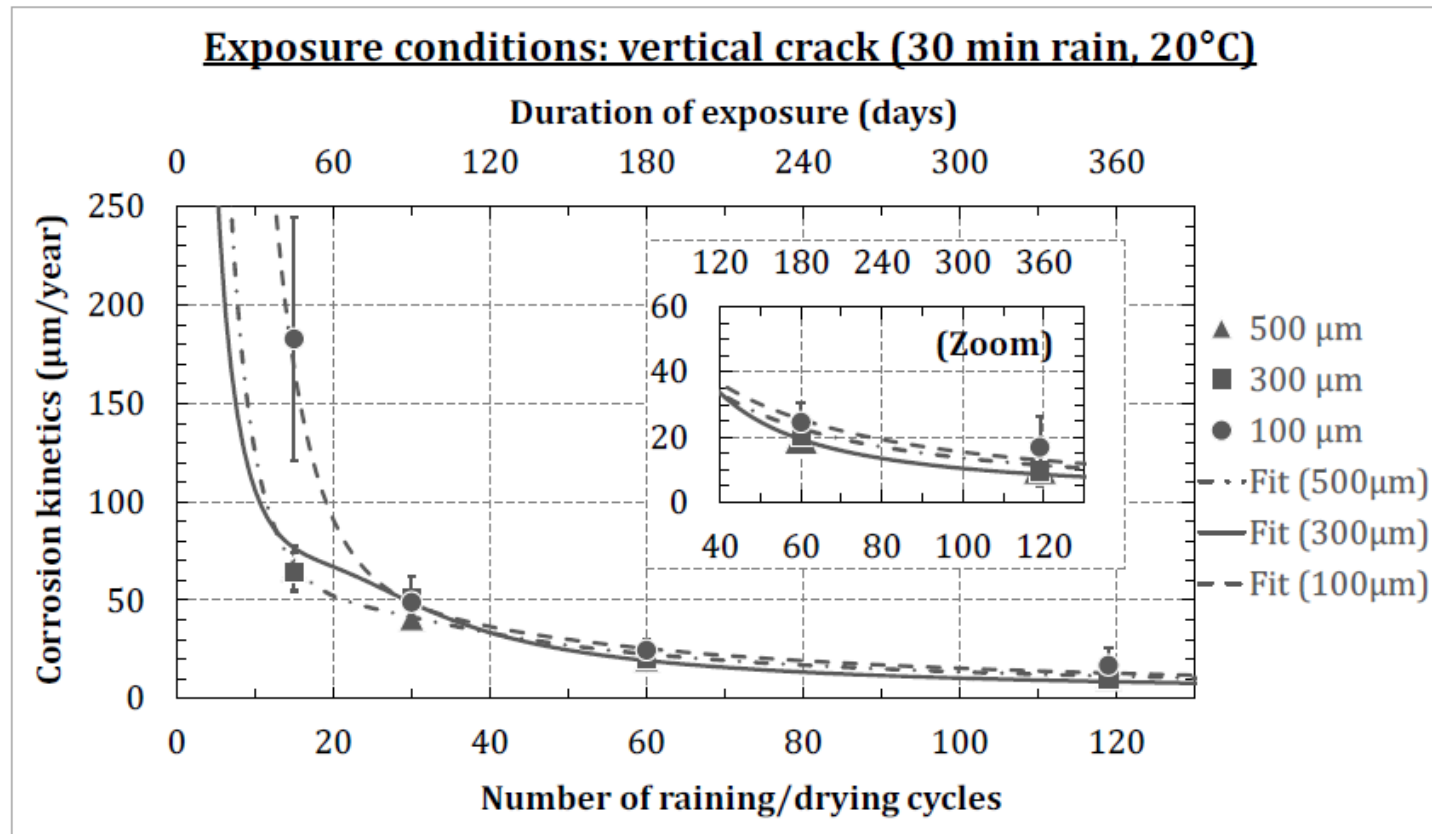


OBJECTIFS

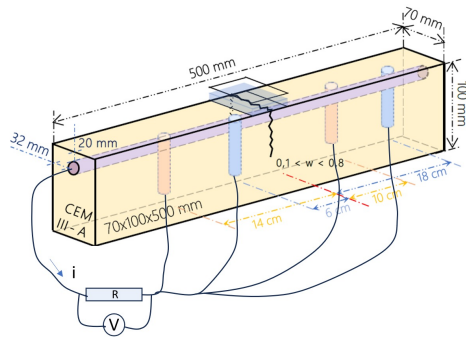
- ▶ Mieux comprendre ce qui se passe en fond de fissure à l'interface acier/béton afin d'assurer plus efficacement la durabilité et tout en minimisant les coûts environnementaux et financiers . (quantité armatures → complexité de réalisation).
- ▶ Peser pour faire évoluer les codes en conséquence.



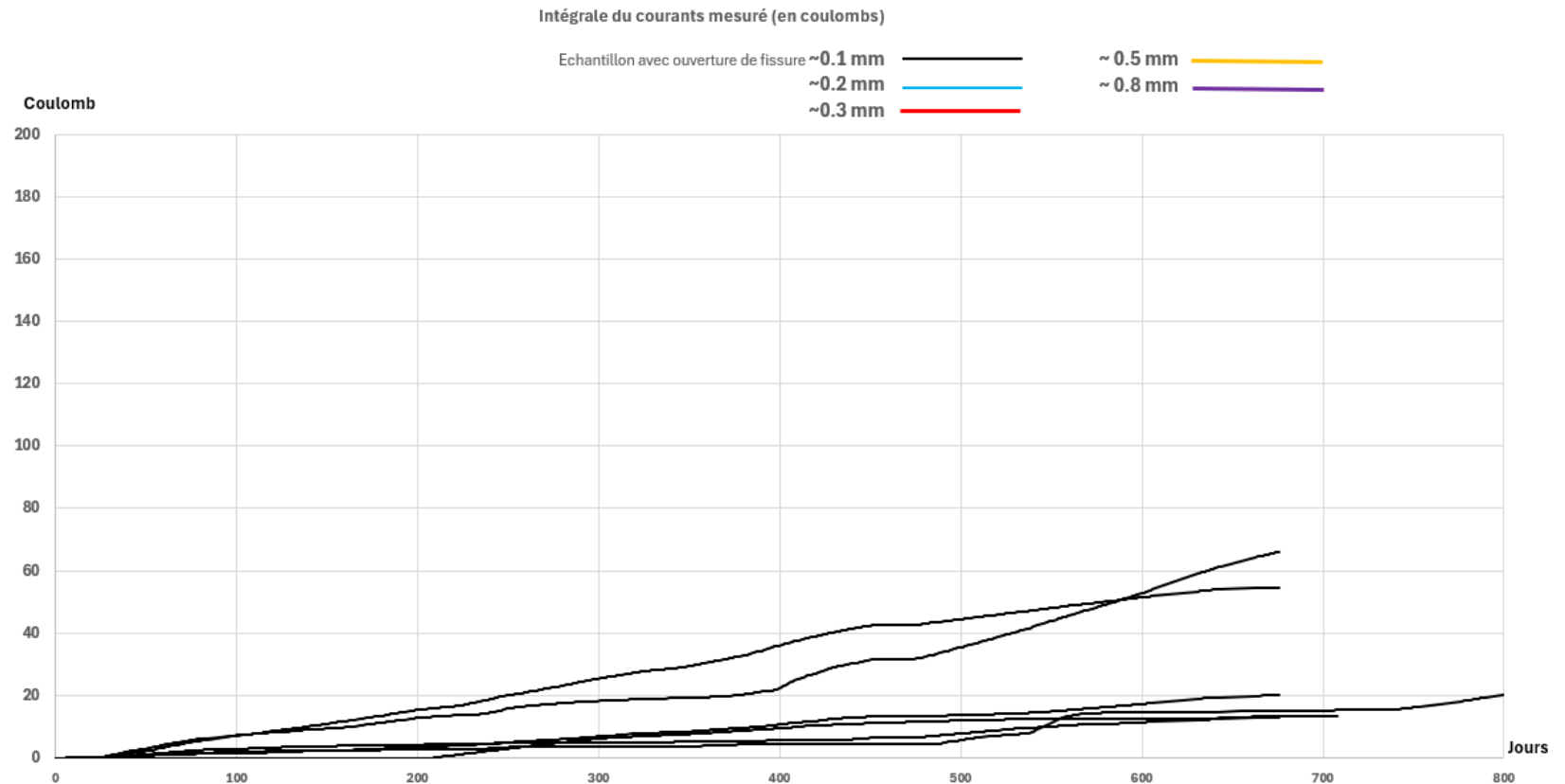
► Thèse Rita Ganthous (2016) – Cinétique de corrosion par carbonatation



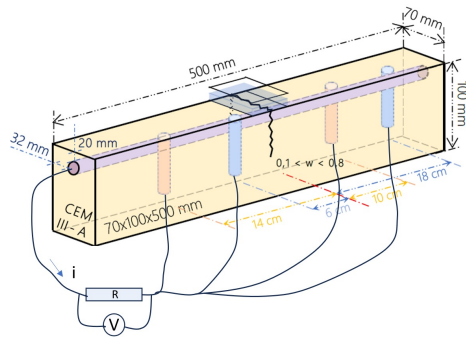
► Thèse Lucas HESS (LMDC – CEA 2024) – Cinétique de corrosion par chlorures



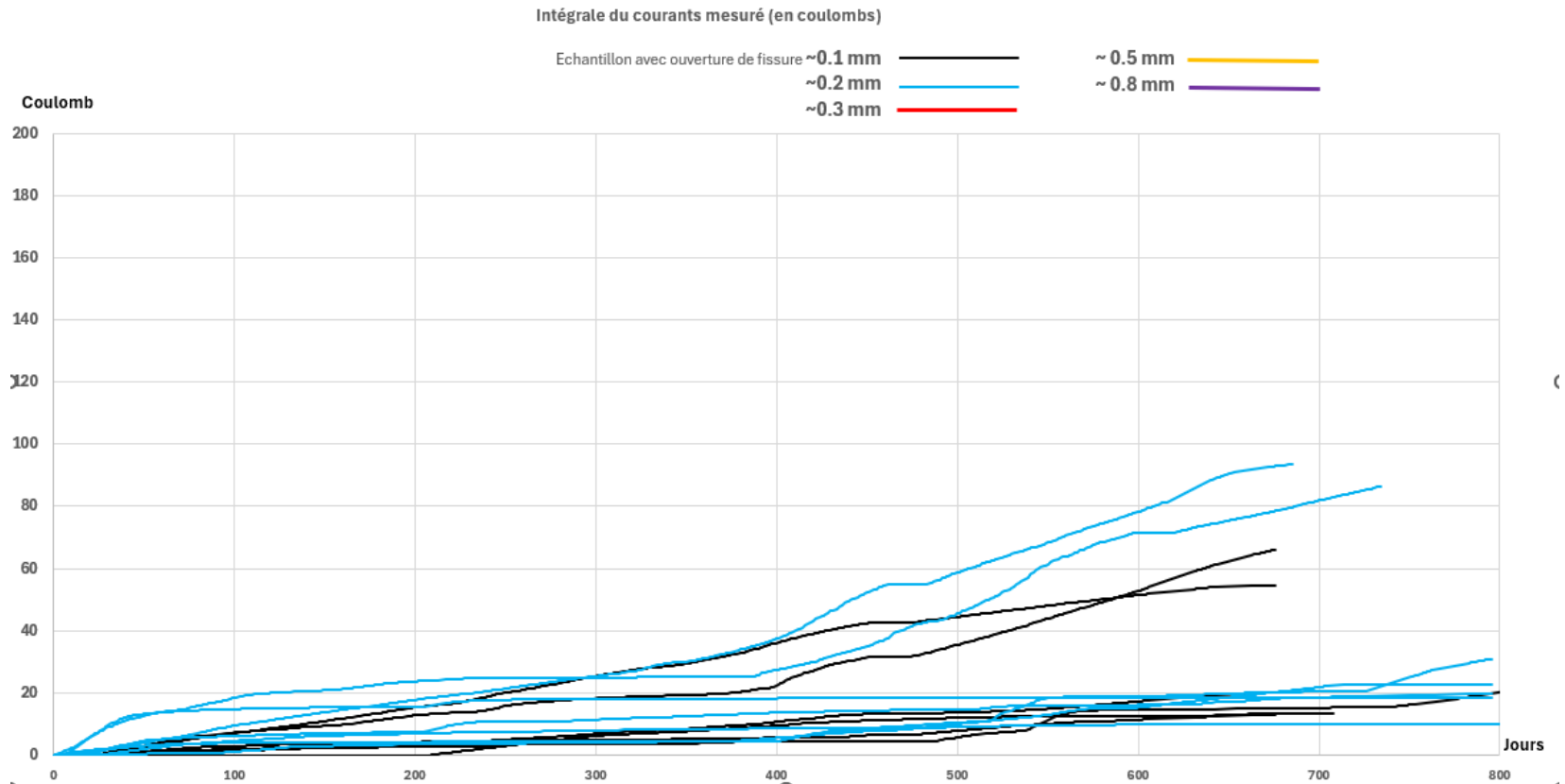
L'intégrale du courant $i=V/R$
 renseigne sur la quantité de fer
 dissout par corrosion.
100 C ~ 29 mg Fe ~ 3.7 mm³



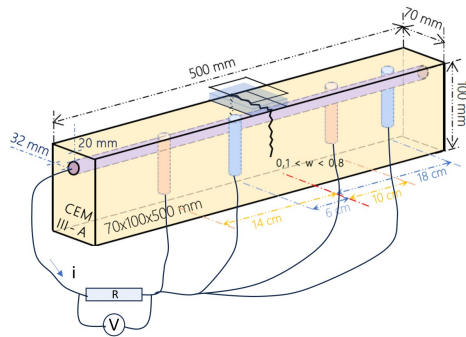
► Thèse Lucas HESS (LMDC – CEA 2024) – mesure de courant



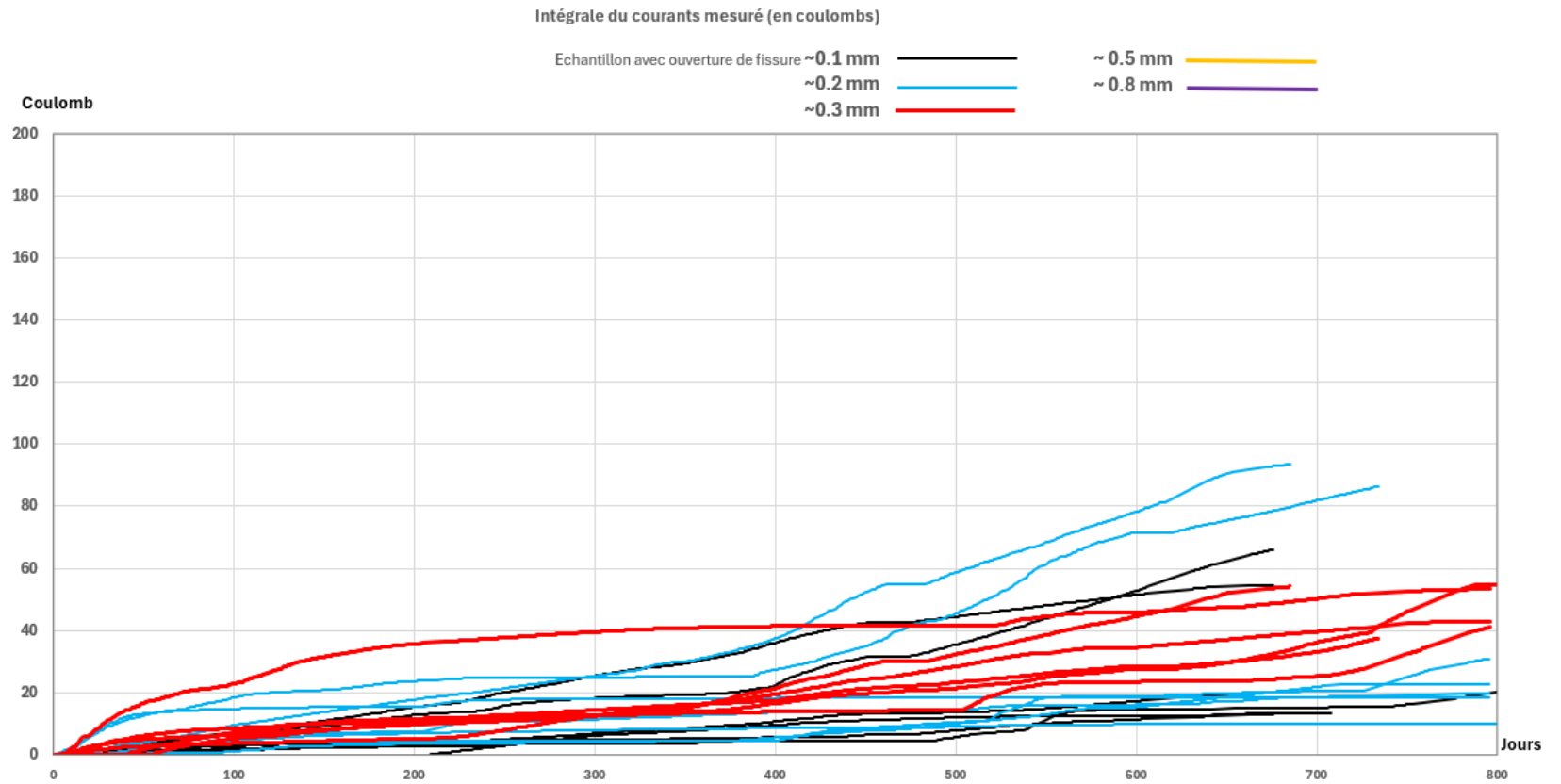
L'intégrale du courant $i=V/R$
renseigne sur la quantité de fer
dissout par corrosion.
100 C ~ 29 mg Fe ~ 3.7 mm³



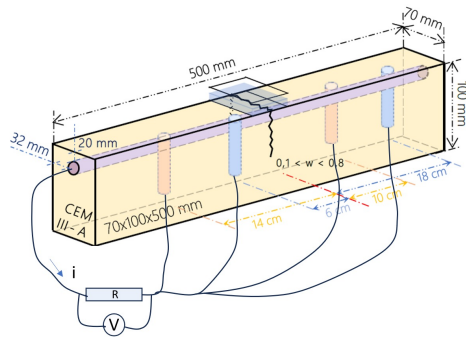
► Thèse Lucas HESS (LMDC – CEA 2024) – mesure de courant



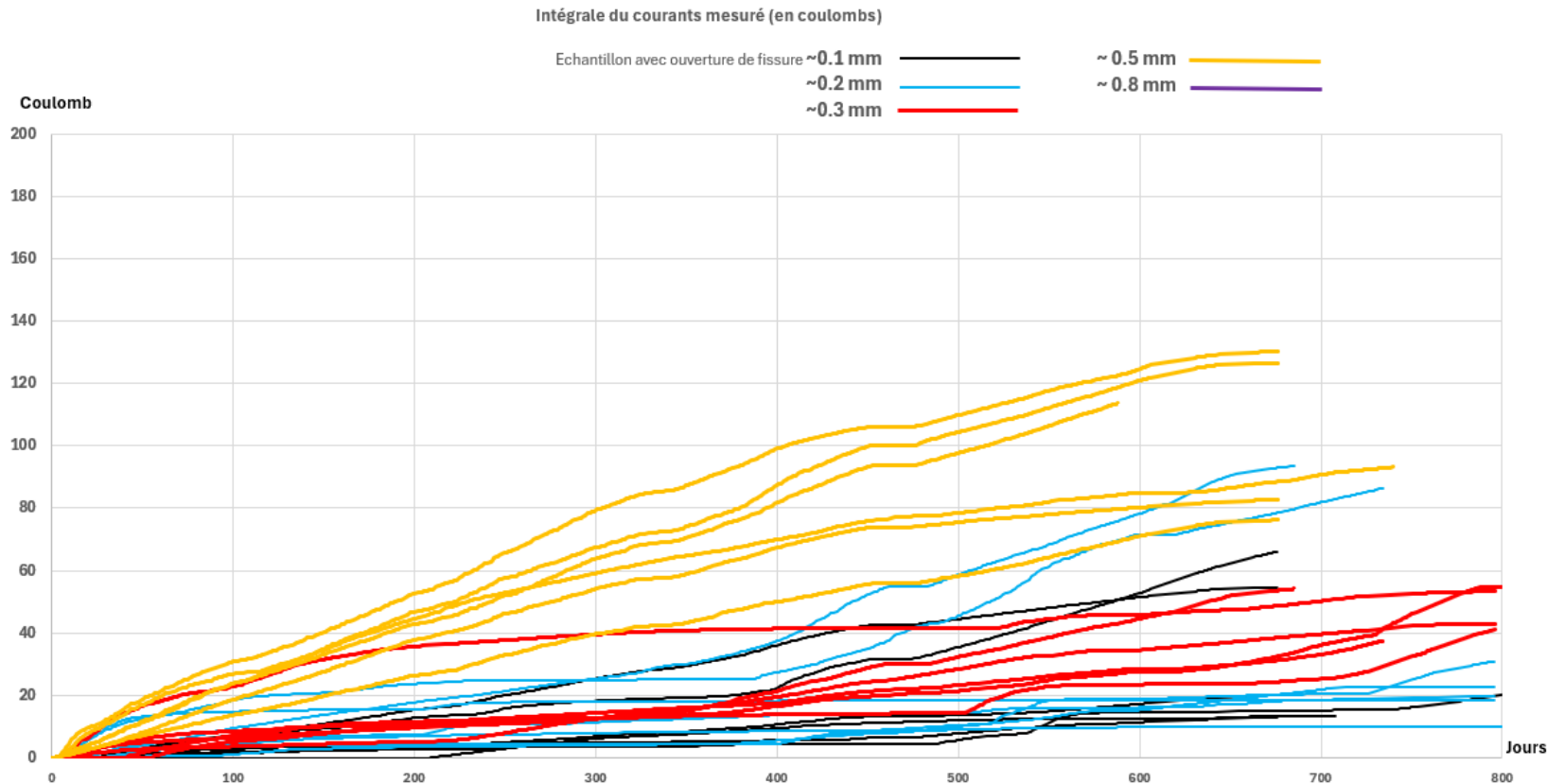
L'intégrale du courant $i=V/R$
 renseigne sur la quantité de fer
 dissout par corrosion.
100 C ~ 29 mg Fe ~ 3.7 mm³



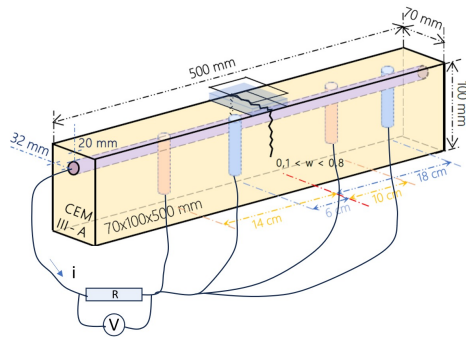
► Thèse Lucas HESS (LMDC – CEA 2024) – mesure de courant



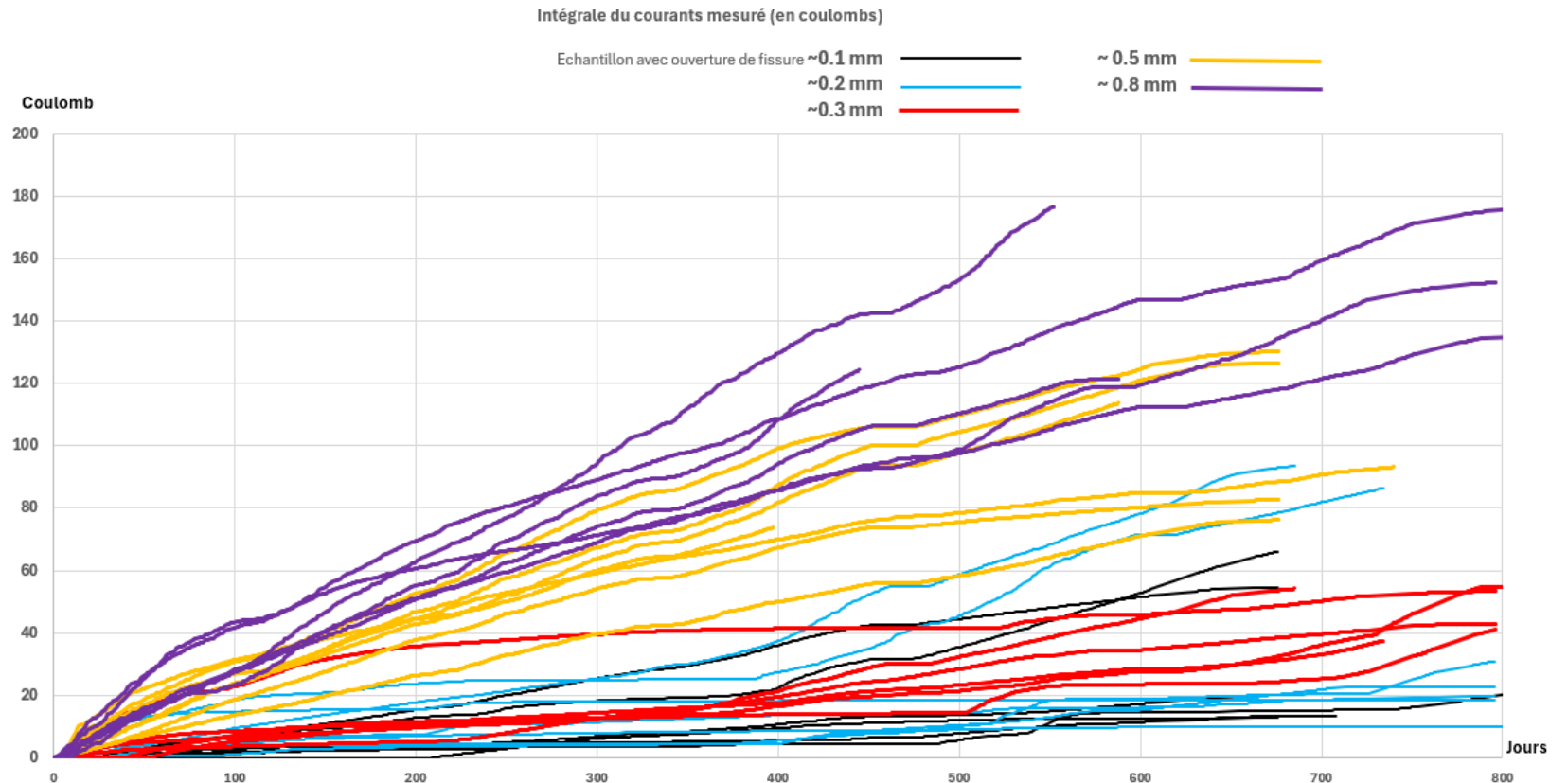
L'intégrale du courant $i=V/R$
 renseigne sur la quantité de fer
 dissout par corrosion.
100 C ~ 29 mg Fe ~ 3.7 mm³



► Thèse Lucas HESS (LMDC – CEA 2024) – mesure de courant

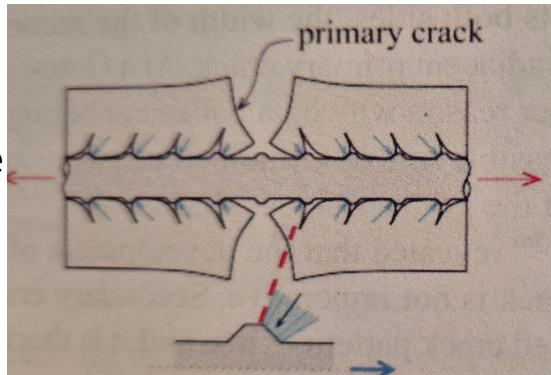


L'intégrale du courant $i=V/R$
renseigne sur la quantité de fer
dissout par corrosion.
 $100 \text{ C} \sim 29 \text{ mg Fe} \sim 3.7 \text{ mm}^3$



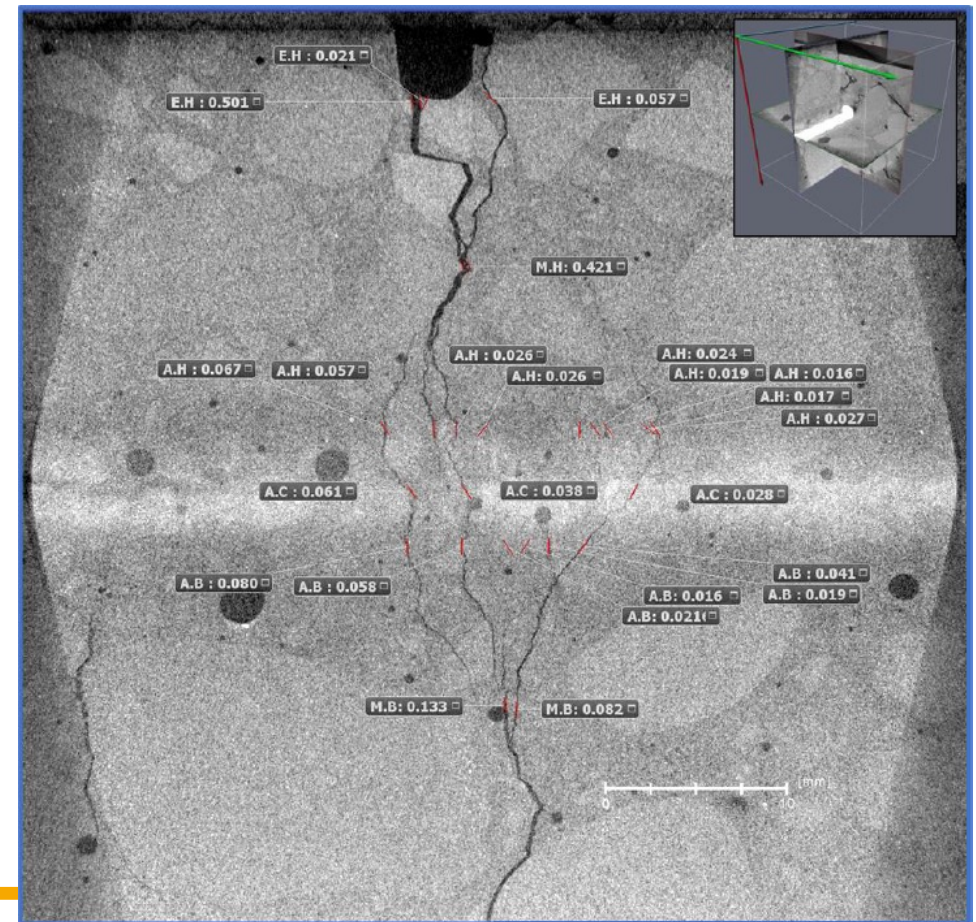
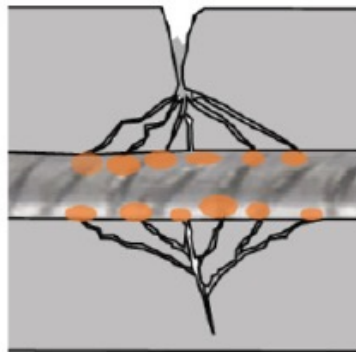
- Thèse Lucas HESS (LMDC – CEA 2024)
 - Faciès de fissure

Vision classique



Bulletin fib 114 – Background document of fib Model code 2020 – Nov 2024

Vision récente
ramification au
niveau de
l'armature

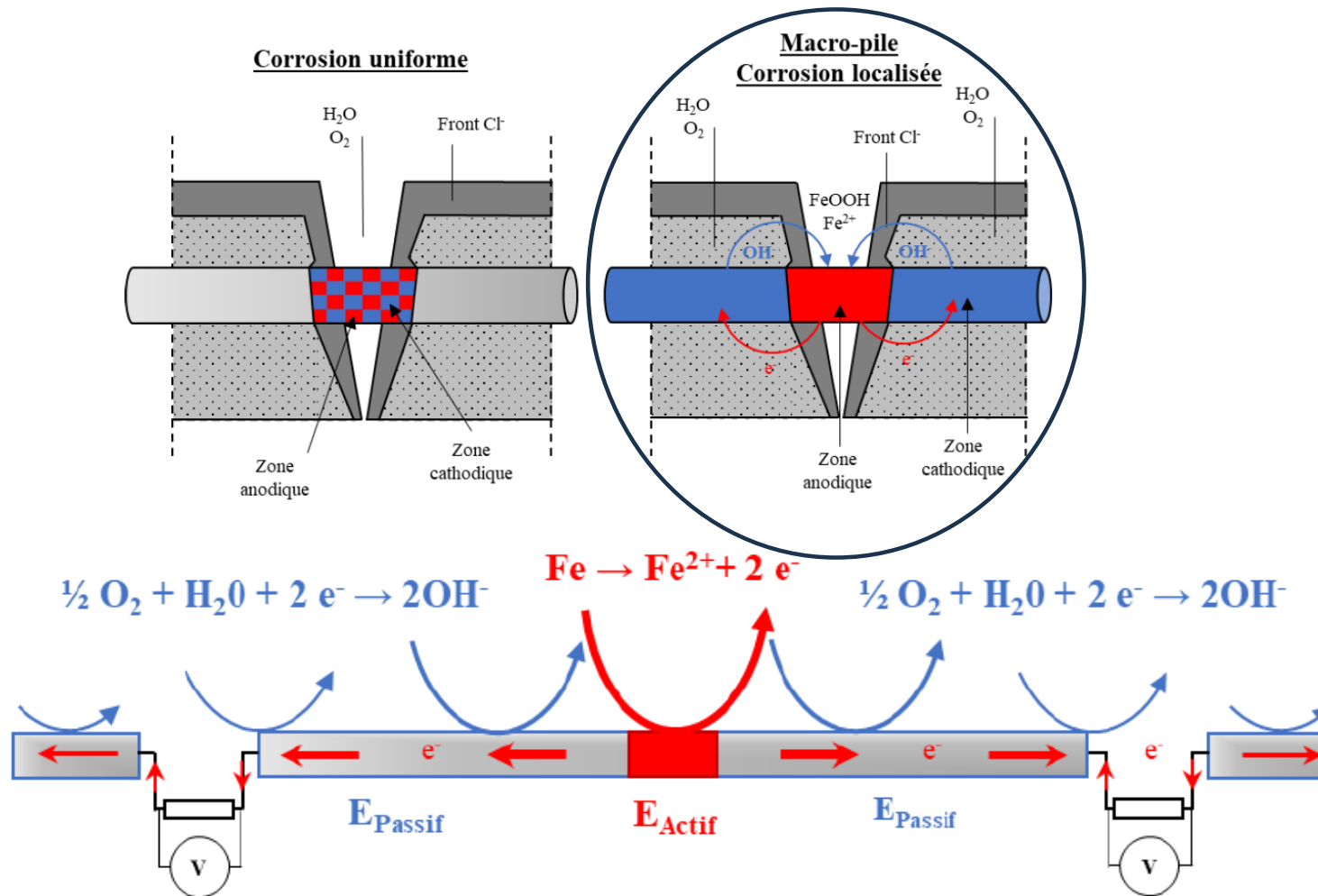


Micro-Tomographie X (CEA)



Workshop GIS DECADE, La Rochelle
13/05/2025

► Thèse Lucas HESS (LMDC – CEA 2024) – Type de corrosion (avec Chlorures)



Axe 1 - Essai Laboratoires

- ▶ Définition de protocoles de fissuration et d'exposition
- ▶ Faciès de fissuration => Identifier & classier les faciès obtenus sur des corps d'épreuves variés (flexion, traction, enrobage et diam variables, cadres, qualité interface...)

Chlorures

- ▶ Cinétique V/S ouverture => Etudier l'effet de l'ouverture de fissure sur des sur des corps d'épreuves et des modes d'agression variés.
- ▶ Type de Corrosion => Démontrer la prépondérance du mode Macropile.
- ▶ Investiguer et quantifier l'influence de différents paramètres ,=>, qualité de l'interface, résistivité du béton, cicatrisation colmatage, présence initiale de chlorures sur les armatures, humidité du béton et présence eau liquide dans les fissures,



- ▶ Migration et analyse des produits de corrosion
- ▶

Carbonatation

- ▶ Cinétique V/S ouverture => Etudier l'effet de l'ouverture de fissure sur des sur des corps d'épreuves et des modes d'agression variés.
- ▶

Modélisation

- ▶ Développement de modèles comportementaux



Axe 2 - Essai IN SITU => Effet des fissures sur l'évolution de la corrosion in situ

⚡

- ▶ **Sélection et identification d'ouvrage** => Avec fissures, ancien (>20ans mais pas trop. Le front de pénétration des agents agressifs n'a pas traversé l'enrobage) et destiné à la démolition partielle ou totale.
- ▶ **Définition d'un plan d'auscultation** et organisation d'une task force
- ▶ **S'organiser** pour aller sur site réaliser les mesures et prendre les échantillons dans un délai court lorsque l'occasion se présente.
- ▶ **Autopsier les carottages** et comparer avec essais labo
- ▶ **Valider** la similitude des phénomènes in situ et des phénomènes labo



Axe 3 - Promouvoir ou atténuer les effets influençant la corrosion

- ▶ **Proposer et tester** l'efficacité de solutions de mitigation des facteurs perçus comme accélérant le vieillissement.



Axe 4 - Dissémination Internationalisation

- ▶ **Mise en œuvre** d'actions visant à disséminer les résultats du PN
- ▶ **Internationalisation** => inviter des personnalités influentes internationale susceptible d'apporter un Rex et de relayer les résultats
- ▶ Maximiser la prise en compte des résultats du PN dans la Normalisation et la pré-normalisation (Modèle code *fib*, recommandations, annexe française des Eurocodes, Eurocodes)



Programme prévisionnel

- 09h00** – Accueil-café
- 09h30** – Ouverture
- 09h40** – Introduction
- 09h50** – Contexte du projet
- 10h20** – Dispositif Projet National
- 10h30** – Présentation des groupes de travail :
 - GT1. Expérimentations en laboratoire
 - GT2. Etudes sur site
 - GT3. Solutions, prévention
 - GT4. Dissémination
- 11h30** – Pause
- 11h45** – Organisation du projet
Rétroplanning du montage & Projet ANR
- 12h00** – Discussions, table ronde :
Quels intérêts pour les différents acteurs ? Quels freins ? Quelles actions ?
- 12h30** – Déjeuner cocktail



QR code pour le téléchargement du Flyer

Infos pratiques

- 📍 Maison des Travaux Publics – 3 rue de Berri, 75008 Paris
- 📅 Vendredi 6 juin 2025 – De 9h00 à 13h30
- 🍷 Cocktail à l'issue des échanges
- 📄 17 Inscription gratuite mais obligatoire avant le 30 mai 2025



Workshop GIS DECADE, La Rochelle
13/05/2025