

PROJET DE RECHERCHE

CraCoDub

Crack, Corrosion & Durability

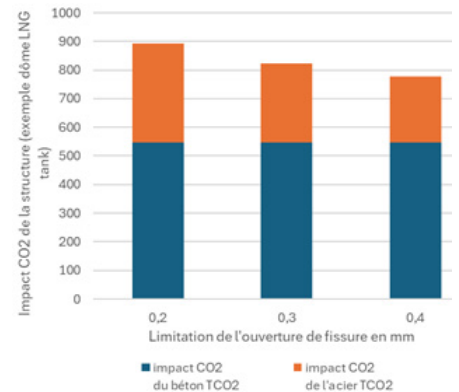
L'optimisation
de la conception
des procédés
et des performances

Contexte

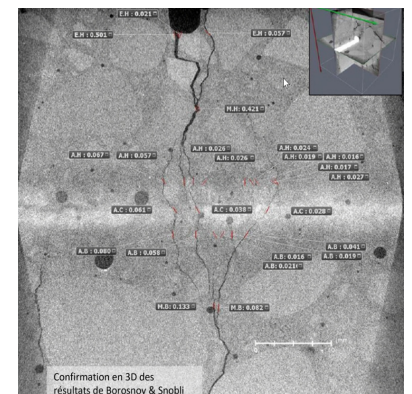
Bien que de nombreux efforts soient déployés actuellement pour réduire l'empreinte carbone du matériau béton (par la réduction de la part de clinker, l'adoption d'une approche performancielle...), **peu d'initiatives sont mises en œuvre pour optimiser la quantité d'acier utilisée dans les structures en béton armé**. La production d'acier est très énergivore et représente environ 1,8 à 2,1 tonnes de CO₂ par tonne d'acier produite et l'impact CO₂ de l'acier dans une structure en béton armé représente entre 30 à 40%, voire plus pour les structures immergées. **Optimiser son utilisation est primordial** pour une réduction globale de l'impact environnemental de la structure.

Les normes de conception actuelles, comme l'Eurocode 2 (EC2), imposent des limites **d'ouverture des fissures**, généralement entre **0,2 et 0,4 mm**, afin de garantir la durabilité des structures. Bien qu'inévitables, les fissures sont perçues comme un facteur de dégradation en raison de leur **lien avec la corrosion** des armatures.

Ces prescriptions strictes des normes, entraînent une **surconsommation de l'acier** qui génère un surcoût économique considérable et un **impact environnemental important**. Par exemple, pour la construction d'un réservoir de classe d'exposition XS1, une limitation à 0,2 mm, impose environ 25 % d'acier en plus par rapport à 0,3 mm, ce qui alourdit les coûts et l'impact environnemental. En outre, la forte densité d'armature augmente la complexité des travaux, rendant l'exécution des ouvrages plus difficile et coûteuse. Cependant, les seuils d'ouverture des fissures sont remis en question par des récentes recherches. En effet, **la corrosion des armatures est initiée dès la formation de fissures** (qui se ramifient jusqu'à l'armature), indépendamment de leur taille, ce qui soulève des doutes sur l'efficacité réelle de ces limites.

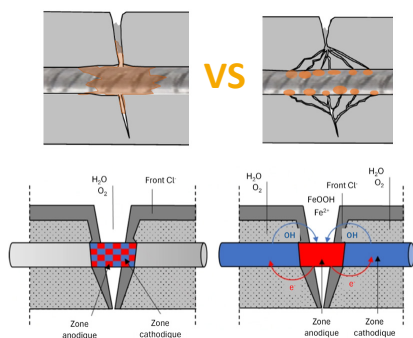


*Influence de la limitation d'ouverture de fissure sur l'empreinte CO₂ d'une structure (exemple dôme d'un LNG tank)
© VINCI Construction Grands Projets*



Ramification de la fissure © Thèse Lucas Hess

Objectifs principaux



Micro pile VS Macro Pile © P. Bamforth 1997

- Approfondir la compréhension des phénomènes de corrosion à **l'intersection acier / béton** et analyser l'évolution de leur cinétique à court, moyen et long terme
- Identifier et quantifier les facteurs influençant la progression de la corrosion dans le temps. (Cas carbonatation et pénétration par des ions chlorures).
- **Optimiser l'utilisation des armatures** dans les structures en béton armé pour **l'empreinte CO₂ du béton armé**, tout en garantissant la durabilité des ouvrages.
- Améliorer **la modélisation** des phénomènes de corrosion et affiner les règles de vérifications dans les calculs de durabilité.
- Contribuer à **l'évolution des normes** (Code Model fib, EC2 et RCC-W) ou de leurs annexes nationales.
- Développer une méthode de **surveillance et d'entretien** des ouvrages pour assurer leur pérennité à long terme.

CE PROJET DE RECHERCHE APPLIQUÉE ET COLLABORATIVE, DÈS LABELLISATION « PROJET NATIONAL », SERA :

- administré par l'IREX, Institut pour la Recherche appliquée et l'EXpérimentation en génie civil, co-fondateur du pôle de compétitivité infra2050 ;
- soutenu par le Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires ;

Verrous Scientifiques

- **Compréhension de la morphologie des fissures** au voisinage des armatures.
- **Analyse des paramètres influents** sur la cinétique de corrosion à l'interface acier/béton et son évolution dans le temps.
- **Interaction fissures-corrosion** : morphologie et processus de corrosion au niveau de l'interface armature/béton.

Programme de recherche proposé

Axe 1 - Expérimentations en laboratoire

- **Corrosion induite par la carbonatation** : Étudier les mécanismes de corrosion à l'interface acier-béton.
- **Corrosion induite par la migration des ions chlorure** : Analyser la propagation de la corrosion due aux chlorures et à la fissuration.
- **Développer des protocoles expérimentaux** afin d'étudier l'influence de différents facteurs sur l'évolution de la corrosion induite par carbonatation et chlorures et modélisation de l'évolution de la corrosion.

Axe 3 – évaluation d'actions préventives ou correctives

- **Prévention et correction** : Tester des solutions techniques pour ralentir la corrosion dans les fissures (revêtements de surface et d'autres solutions de protection).
- **Facteurs d'exécution** : Étudier les effets des défauts de mise en œuvre (ségrégation, ressuage, etc.) et leur influence sur la propagation de la corrosion due aux fissures.

Le dispositif «Projet National»

Un Projet National (PN) est une **procédure spécifique de mise en œuvre de la recherche collaborative et de l'innovation dans le domaine de la construction**.

Il rassemble les acteurs ayant des activités dans la conception, la construction et la gestion des infrastructures : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, collectivités territoriales, entrepreneurs, industriels, laboratoires de recherche publics et privés, universités et écoles, assureurs, bureaux de contrôle...

Verrous Techniques

- **Reproduction réaliste du comportement structurel** : définition du protocole de fissuration et de scénarios d'agressions.
- **Validation des résultats obtenus en laboratoire** sur des structures réelles.
- **Modélisation représentative** de l'interaction fissure / corrosion

Axe 2 – Etudes in situ sur structures réelles

- **Sélection des structures** fissurées de plus de 20 ans, analyser la corrosion des armatures et les produits formés au voisinage des fissures à travers des autopsies ciblées et des analyses physico-chimiques.
- **Analyse des données** : Corréler les observations in situ avec les résultats de laboratoire et les modèles numériques de corrosion induite par fissuration, tout en étudiant le rôle des formulations modernes de béton.

Axe 4 – Dissémination et internationalisation

- **Documents de référence / dissémination** : Élaborer des guides, publications et supports de formation et diffuser les résultats auprès de communautés scientifiques et industrielles.
- **Renforcement de la dimension internationale** : Créer un conseil scientifique international pour peser sur l'évolution des normes de conception et de maintenance.

Les Projets Nationaux se caractérisent par la **réalisation d'une partie de la recherche et de ses applications sur un chantier et/ou sur un ouvrage in situ**.

La **diffusion des résultats et des recommandations** auprès de la profession est assurée par des journées techniques, l'édition de synthèses des résultats et de guides techniques, la proposition d'évolution de la normalisation...