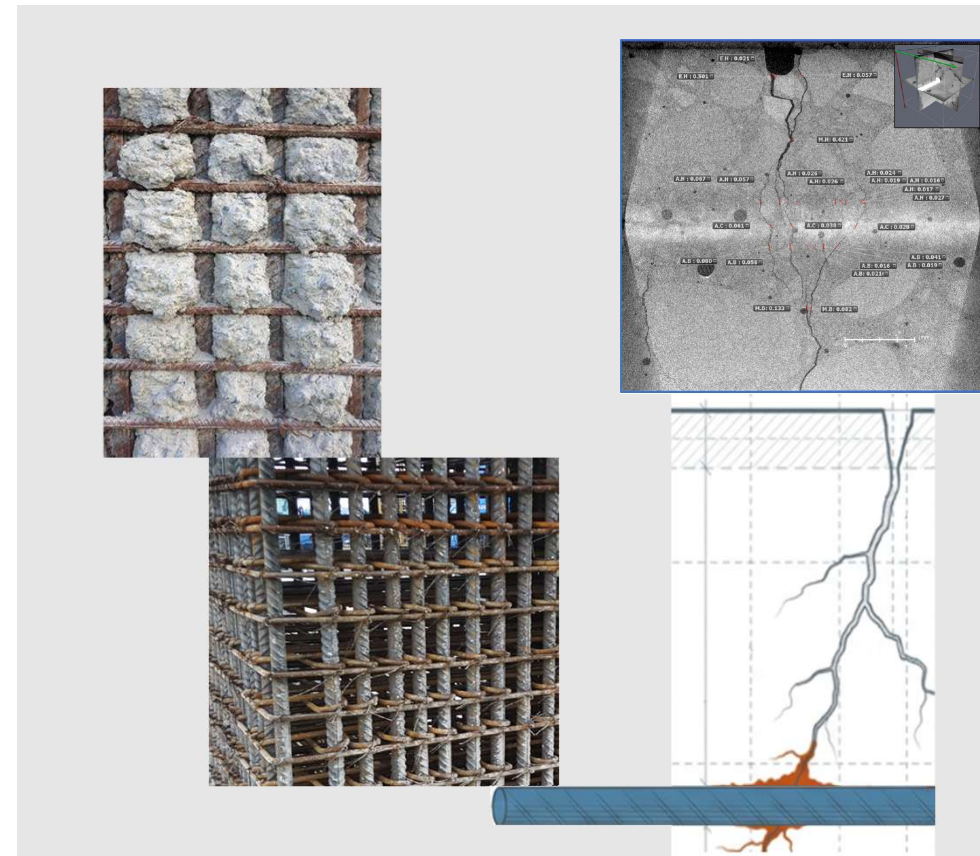
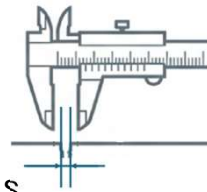


Fissuration et corrosion : vers une meilleure gestion de la durabilité des infrastructures en béton armé



Paradoxe environnemental et normatif

Contexte normatif



Limitations des ouvertures de fissures dans les environnements agressifs

Sections et enrobages importants, gros diamètres
 ↗ ratio d'armature

Tableau 7.1N : Valeurs recommandées de w_{max} (mm)

Classe d'exposition	Éléments en béton armé et éléments en béton précontraint à armatures non adhérentes	Éléments en béton précontraint à armatures adhérentes
---------------------	---	---

Tableau 7.1NF – Valeurs recommandées de w_{max} ⁽¹⁾ (mm)

Exposure class	Corrosion sensitive ¹			Lightly corrosion sensitive ¹		
	L100 ²	L 50	L 20	L 100	L 50	L 20
XC0	-	-	-	-	-	-
XC1	0.40	0.45	-	0.45	-	-
XC2	0.30	0.40	0.45	0.40	0.45	-
XC3, XC4	0.20	0.30	0.40	0.30	0.40	-
XS1, XS2, XD1, XD2	0.15	0.20	0.30	0.20	0.30	0.40
XS3, XD3	0.10	0.15	0.20	0.15	0.20	0.30

¹⁾ Corrosion Sensitive is any reinforcement with diameter smaller than 4 mm, tendons or cold worked steel that permanently have tension greater than 400 MPa.
²⁾ For determining w_f should be taken into account the intended working life



Dôme de réservoir GNL

Conséquence : surconsommation d'acier
 (grosses infrastructures de génie civil)

Gain de durabilité avéré ?

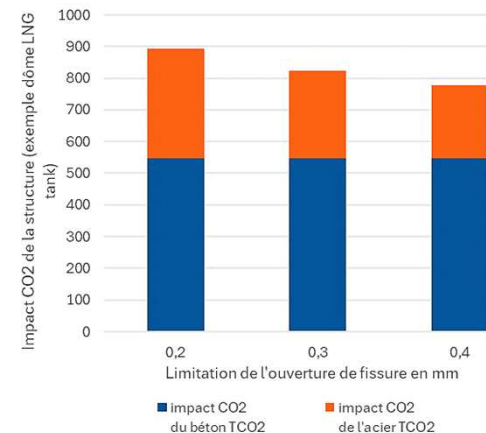


Enjeu environnemental

Décarbonation du secteur de la construction

Béton armé : décarbonation exige de travailler sur le béton ET l'acier

Béton bas carbone



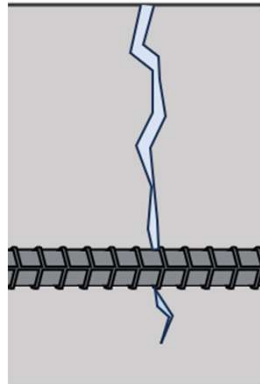
Acier
 (quantité ↔ ouverture de fissures)



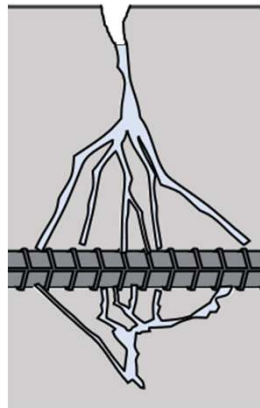
Difficultés techniques...

Ouvertures de fissures...

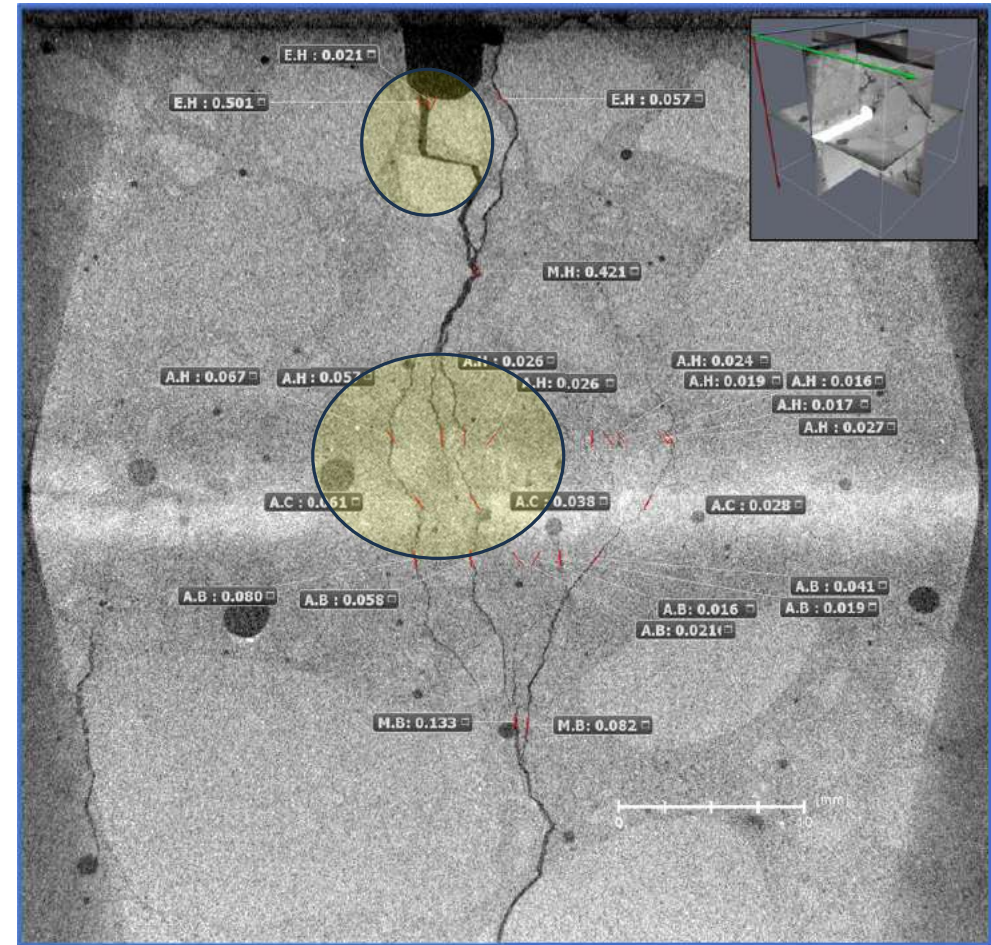
Vision classique
de la fissure



Vision plus réaliste:
ramifications jusqu'au
niveau de l'armature

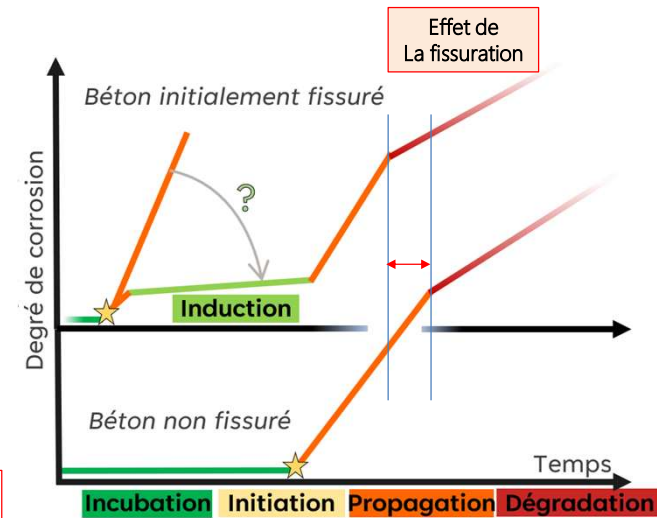
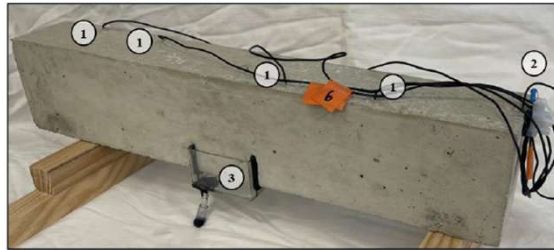


Morphologie des fissures ?



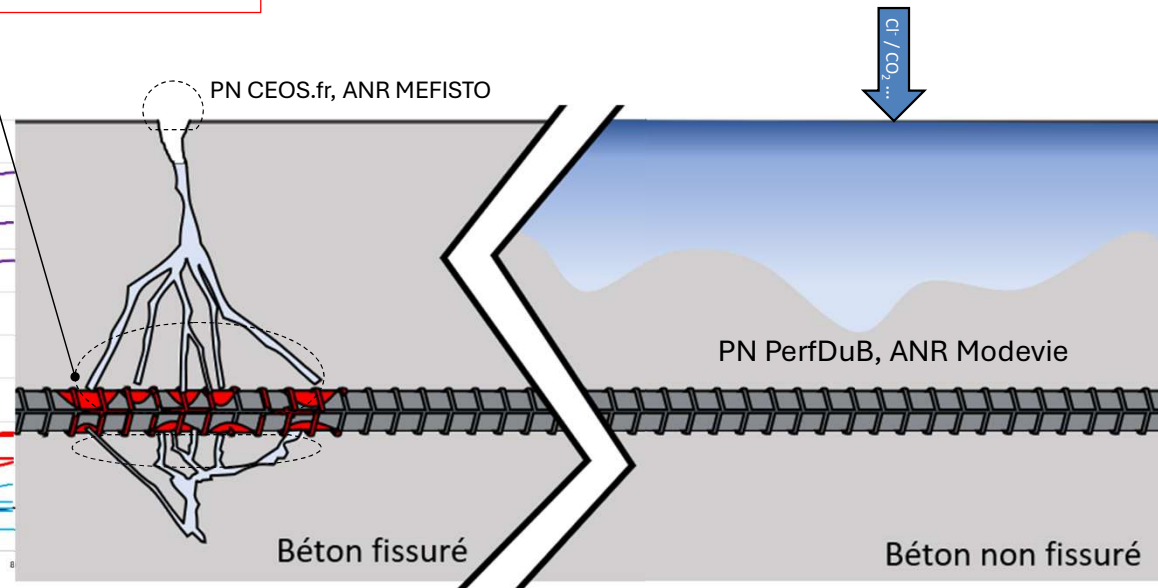
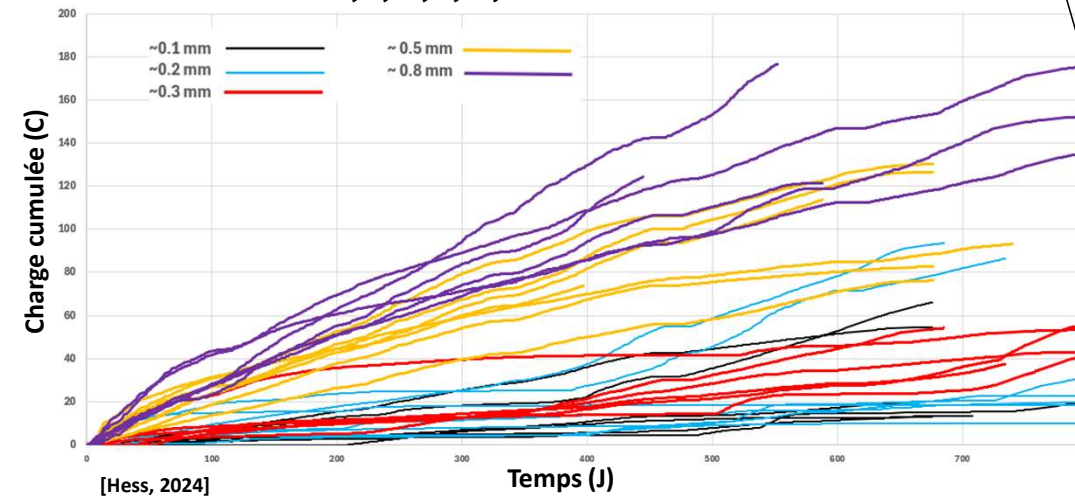
Micro-Tomographie X (Hess, 2024)

Corrosion...



Quels facteurs pilotent la corrosion en fond de fissure ?

En présence de chlorures
0,2, 0,3, 0,5 mm ?



Objectifs du PN

- Mieux comprendre la **géométrie des fissures** (au voisinage des armatures)
- Mieux comprendre les **mécanismes pilotant l'évolution de la corrosion** en fond de fissure en présence de chlorures ou de carbonatation.
- Identifier et **quantifier** les **facteurs influençant** dans un sens ou dans l'autre cette évolution
- Identifier, élaborer et (pré)évaluer des **stratégies et techniques** permettant de **garantir la durabilité** des structures à **moindre impact** environnemental et coût financier.
- Fournir des résultats suffisamment solides et confirmés pour produire des **recommandations** et faire **évoluer efficacement les normes**.

Structuration

Projet National CraCoDub Crack-Corrosion-Durability

Conseil Scientifique International

- Consultation
- Recommandations
- Veille scientifique & intégration européenne

Axe 1 – Expérimentations (laboratoire)

- Caractérisation géométrie 3D des fissures
- Corrosion par carbonatation
- Corrosion par ions chlorure
- Modélisation

Axe 2 – Études in situ

- Structures réelles avec fissures
- Investigations CND et destructives
- Autopsie et comparaison avec essai laboratoire

Axe 3 – Prévention & Correction

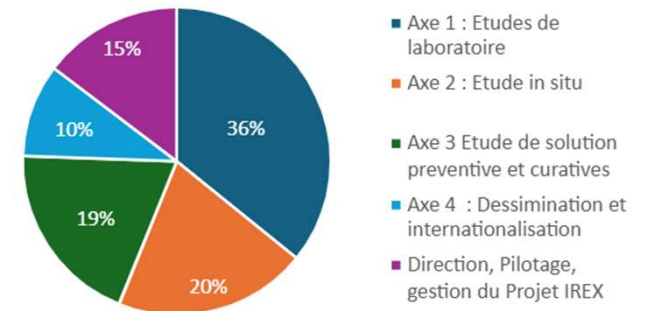
- Tester et valider la pertinence technique de solutions préventives et/ou correctives.
- Evaluation environnementale et technico-économique de ces solutions.

Axe 4 – Dissémination & Internationalisation

Publications scientifiques, conclusions et recommandations (FR, EN), supports de formation.
Proposition d'évolution des normes (EC2, fib)

Projet ANR (Complémentaire)

- Expérimentation
- Modélisation avancée faciès de fissuration au voisinage des armatures
- Définitions des protocoles



Budget prévisionnel 4M€

Résultats attendus

- Compréhension approfondie du lien entre ouverture de fissures d'origine mécanique et évolution de la corrosion en fond de fissure.
- Optimisation des armatures (impact carbone et économique) et meilleure durabilité
- Évaluation des mesures préventives et correctives
- Développement de modèles couplés mécanique/électrochimie représentatifs

Impact à moyen/long terme

- Évolution des normes (EC2, fib, RCC-IV)
- Recommandations constructives et réglementaires

Axe 1 – Expérimentation en laboratoire

BETTER-Dub AAPG2026

Objectifs scientifiques de l'Axe 1

01 Etude des fissures et de leur géométrie au voisinage de l'armature

Protocole, morphologie 3D (injections, découpes, Tomo X)



02 Etude de la corrosion induite par les agents agressifs (carbonatation & chlorures via la fissure)



Influence de cette morphologie sur les transferts, mécanismes électrochimiques (Micro/Macro piles), colmatage

03 Améliorer la modélisation des phénomènes de corrosion en contexte fissuré

Cadre pour coupler mécanique de la fissuration, transferts et électrochimie



Axe 2 – Etudes in situ sur structures réelles

Objectifs scientifiques de l'Axe 2

S'assurer de la similarité des phénomènes étudiés en laboratoire avec les mécanismes de corrosion en fond de fissure potentiellement présents sur ouvrages réels

Méthodologie :

Identifier des structures cibles

Caractériser leur constitution et leur environnement (exposition)

Au droit de la fissuration, évaluer de façon non-destructive et destructive :

- Faciès de fissures en profondeur

- L'activité résiduelle de corrosion, les quantités d'acier dissoutes

- La nature des produits de corrosion / de colmatage

- Pénétration des agents agressifs perpendiculairement à la fissure



Cibler les bons ouvrages
(fissuration **avant** la corrosion)

Axe 2 – Etudes in situ sur structures réelles

Exemples de critères de sélection des structures

- ▶ Structure ou élément de structures destinés à une démolition
- ▶ Âge : ouvrages de plus de 20 ans (comportement représentatif du «long terme»)
- ▶ Zones non fissurées en phase d'incubation (fronts de carbonatation / chlorures n'ont pas atteint la totalité de l'enrobage)

la corrosion présente en fond de fissure est liée à la fissuration et non l'inverse

- ▶ Présence de documentation / dossier d'ouvrage (plans d'exécution, formulations, contrôle qualité, suivi, inspections visuelles, ...)
- ▶ Présence de comportements « inattendus »
 - fissures de grande ouverture : $> 0,5 - 0,7$ mm) sans corrosion apparente
 - Fissures fines conformes aux normes présentant une corrosion avancée

**Exhiber des cas concrets qui ⚠
contredisent L'Eurocode**

**Nécessite l'implication de maitres d'ouvrage
(EDF, SNCF, RATP, Ports autonome régions ou départements ...)**

Axe 3 – Identification & Evaluation d'actions préventives ou correctives

Objectifs scientifiques de l'Axe 3

Sur la base des protocoles et résultats de l'Axe 1 :

Proposer des solutions techniques visant à réduire la propagation de corrosion liée aux fissures.

Deux types d'approches sont considérées :

Actions préventives (précaution ou interventions en phase de conception ou d'exécution pour éviter l'apparition d'un facteur aggravant et/ou favoriser un facteur limitant)

Actions correctives (interventions après réalisation pour corriger un défaut d'exécution ouverture de fissure trop importante, tassement, ...)

Evaluer ces solutions sous les aspects d'efficacité technique et de durabilité et réaliser une analyse comparative des coûts économiques et environnementaux liés à la mise en place de ces actions

Axe 3 – Identification & Evaluation d'actions préventives ou correctives

Actions préventives :

Les protocoles d'essai définis et mis en œuvre à l'axe 1 pourront permettre de tester

- **De définir des critères de stabilité de la formule de béton** pour obtenir une bonne qualité d'interface
- **Explorer des pistes** comme l'utilisation de produits pour **accélérer l'autocicatrisation des fissures** (cristallisants, ...) ou évaluer l'intérêt de l'utilisation de **revêtements de surface**
- **D'évaluer l'intérêt** et valider une méthodologie **de rinçage des armatures** avant coulage en zone d'embruns marins ou d'exposition à des ions chlorures aériens avant coulage.

Actions correctives : en cas d'apparition d'ouverture de fissures excessives

- **Traitements** individuels des **fissures** (solutions autres que l'injection)
- **Revêtement de surface** (capotage, peintures, imprégnations, cristallisation...)
- **Autres solutions**

Axe 4 – Dissémination & Internationalisation

Objectifs:

Affiner et diffuser les résultats du projet auprès de la communauté scientifique, des acteurs du génie civil et des instances de normalisation en générant des **documents de référence** sur ce sujet avec une collaboration/dissémination à l'**international** en vue de **maximiser l'efficacité sur l'évolution des codes**

Méthodologie:

- Elaborer une documentation technique et scientifique complète
- Publications scientifiques et techniques pour une diffusion large des avancées
- Participation à des conférences internationales en relation directe avec le sujet
- Intégration des résultats dans l'évolution des normes et codes de conception
- Formations

Axe 4 – Dissémination & Internationalisation

Prévision du comportement des structures

- Proposer des stratégies de prévision du comportement
- modèles de simulation plus sophistiqués qui intègrent les effets combinés de la fissuration, de la corrosion, des variations des propriétés du béton sur la durée de vie de la structure en fonction des conditions environnementales
- Évolution des normes : Les **Eurocodes**, notamment en lien avec la prise en compte de la fissuration et de la durabilité, le **fib Model Code**, pour adapter les critères liés à l'ouverture des fissures et à la protection contre la corrosion, RCC-CW

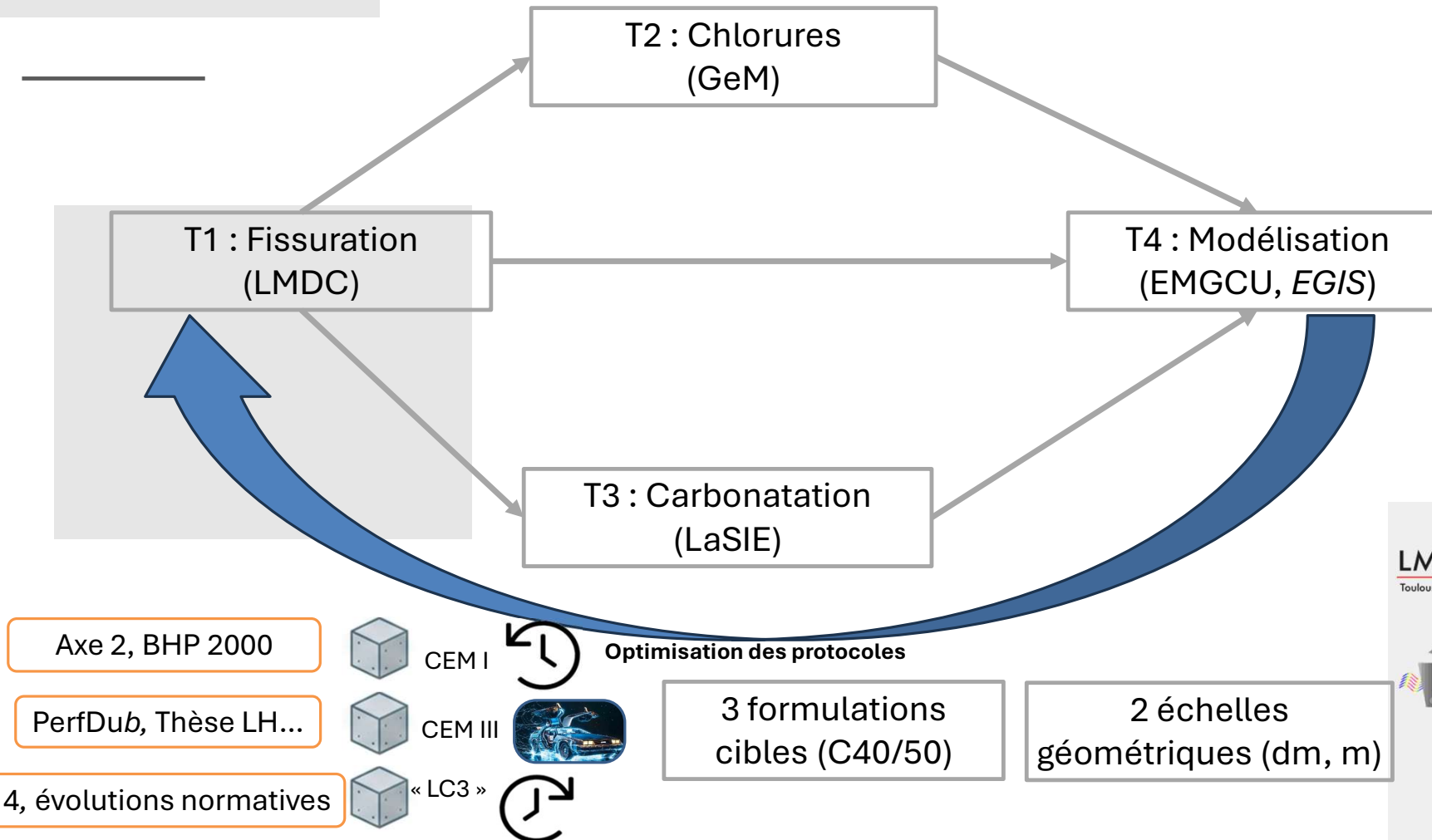
Spécifications pour les projets

- Des spécifications pour les entreprises de travaux (constructibilité et mise en place, qualité du béton)
- Des améliorations de la modélisation des phénomènes et le calcul (règles de vérifications)
- Méthode de surveillance et d'entretien des ouvrages

Internationalisation :

- Publication d'articles scientifiques
- Participation à des conférences internationales
- Création d'un groupe de réflexion scientifique international sur le sujet

Retour sur l'Axe 1 – BETTER-Dub



LMDC
Toulouse - Torbes

GeM
Institut de Recherche en
Géométrie et Mécanique

LaSIE
Université La Rochelle

Université
Gustave Eiffel

egis



Merci
