

RENDEZ-VOUS DES ÉCOMATERIAUX

21/10/2025

LA BIORÉPARATION DES BÉTONS FISSURÉS

NICOLAS BADETS - ETUDIANT AU DOCTORAT

ENCADRÉ PAR :

PROFESSEURS RICHARD GAGNÉ ET CHRISTINE LORS



Université de
Sherbrooke



IMT Nord Europe
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille



CRIB

*Centre de recherche sur les
infrastructures en béton*

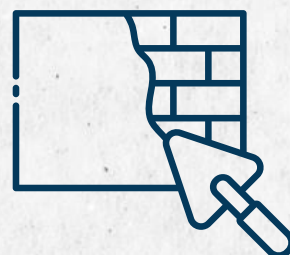


Région
Hauts-de-France

SOMMAIRE



Le béton et la fissuration



Les méthodes de réparations conventionnelles



La biominéralisation

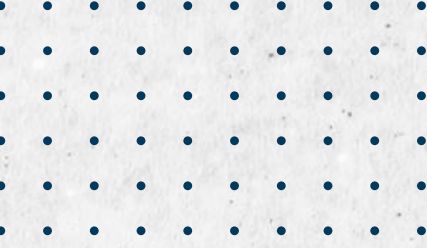


La bioréparation

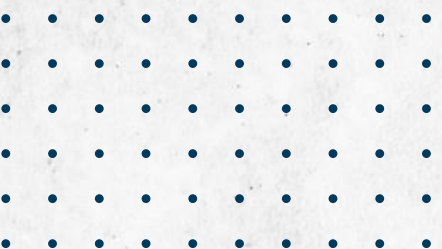


Applications du procédé

Le béton



- ▶ Omniprésent
- ▶ De nombreux atouts
- ▶ Mais sujet à certaines pathologies



La fissuration

Phénomènes physiques

- ▶ Gradients thermiques
- ▶ Problèmes mécaniques
- ▶ Fatigue



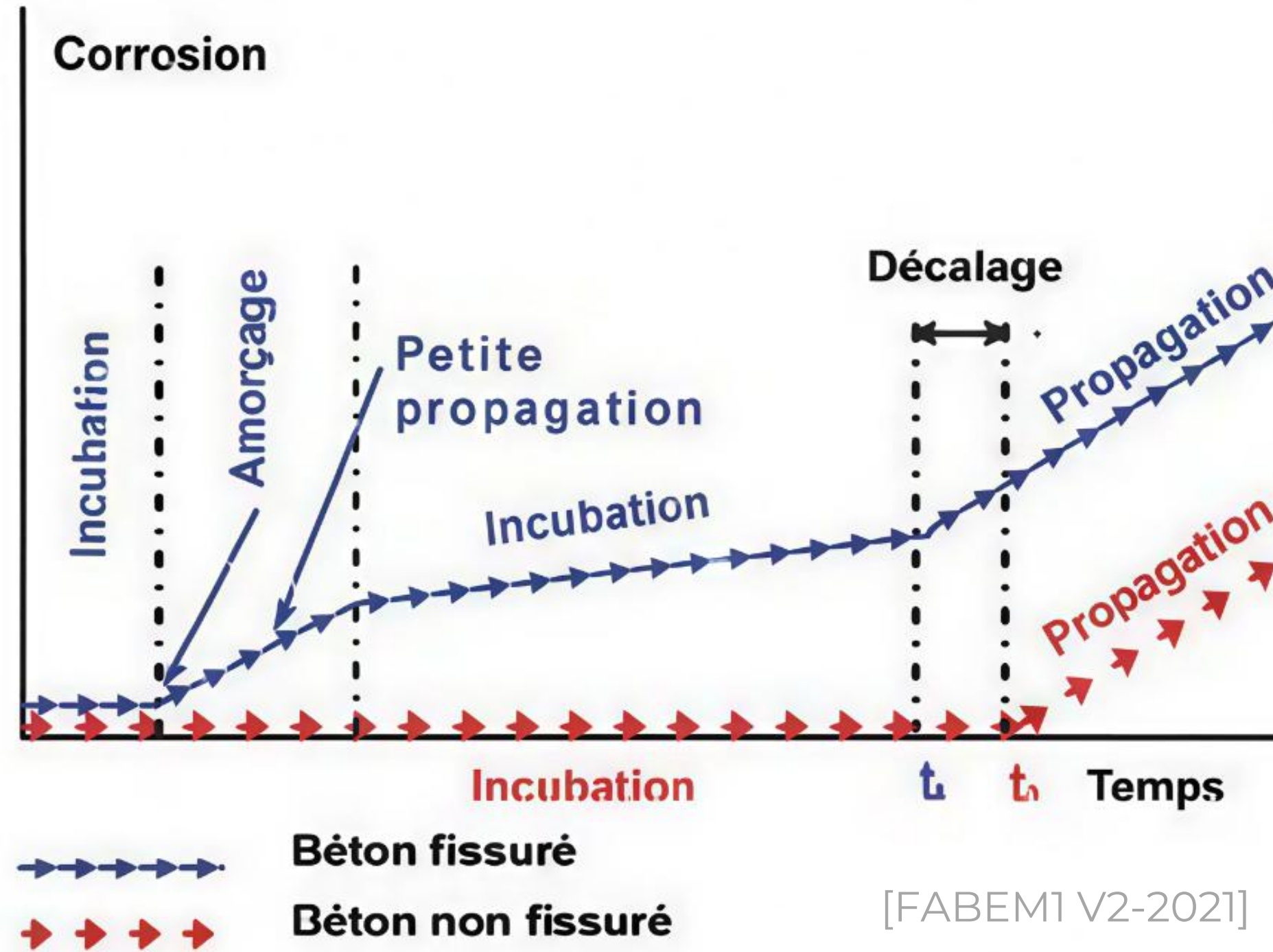
La fissuration

Phénomènes physico-chimiques

- ▶ Retrait
- ▶ Corrosion
- ▶ Gel/Dégel
- ▶ Réaction sulfatique interne
- ▶ Réaction sulfatique externe
- ▶ Réaction alcali-silice



La fissuration



Problématique dans un environnement néfaste

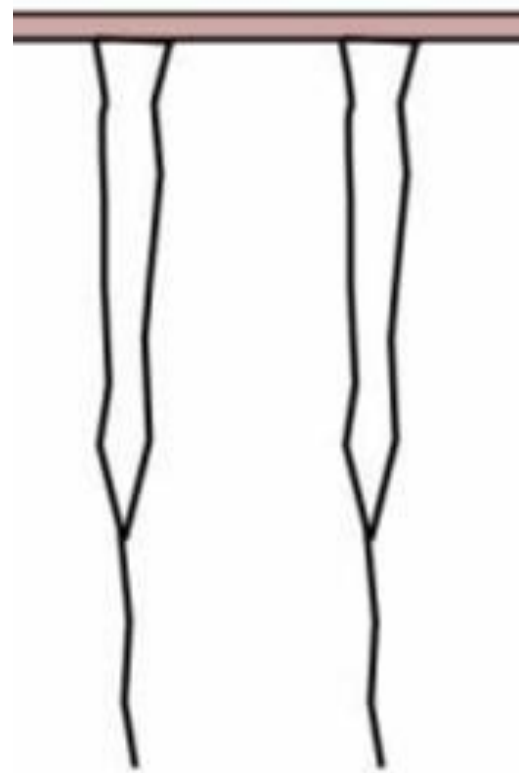
- ▶ Chlorures
- ▶ CO_2
- ▶ Sulfates
- ▶ Ruissellements d'eau

Les méthodes de réparations conventionnelles

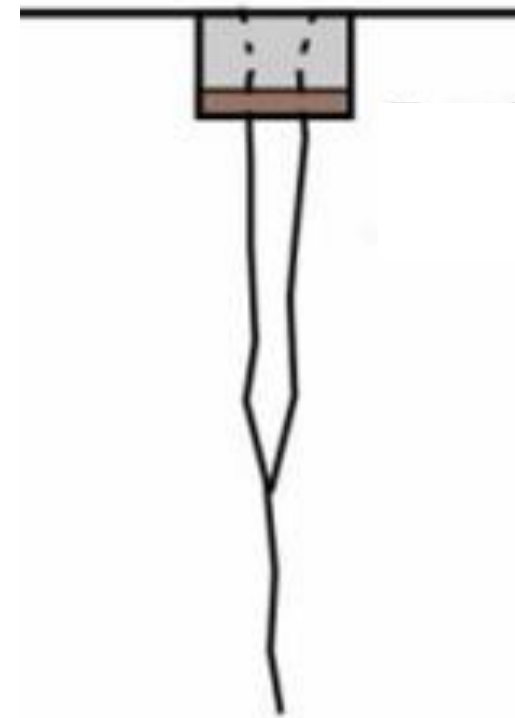
Techniques de réparation



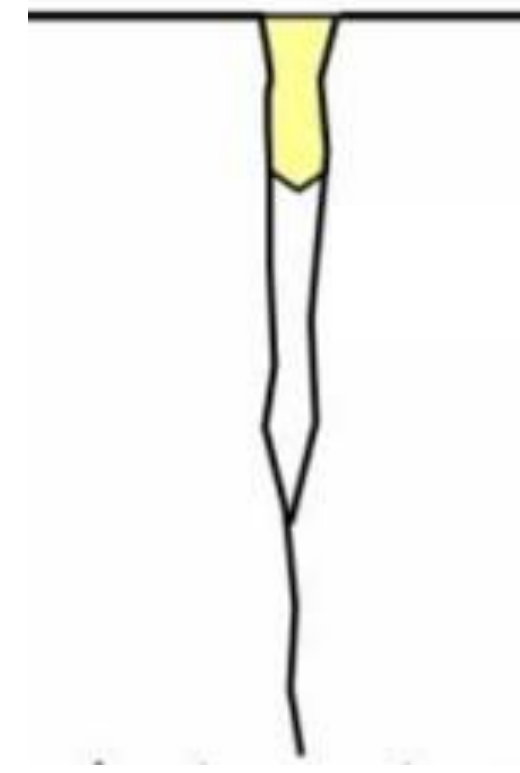
Pontage



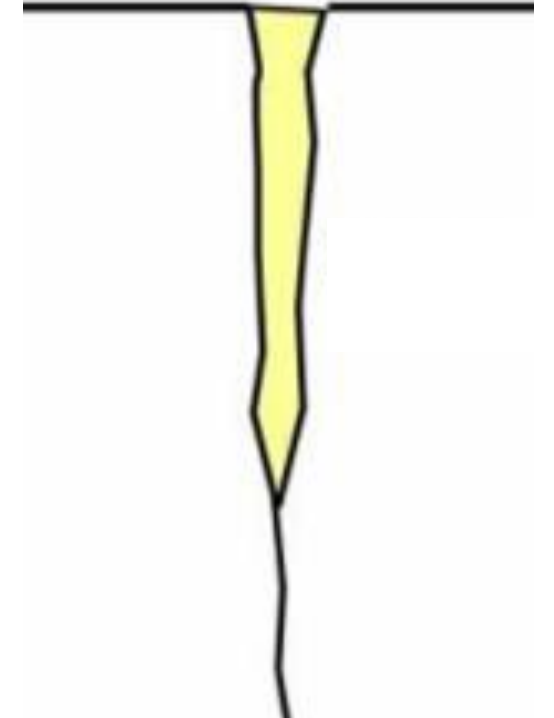
**Protection
généralisée**



Calfeutrement



Colmatage



Injection

Les méthodes de réparations conventionnelles

Matériaux d'injections

- ▶ Résines méthacrylates
- ▶ Résines polyacrylamides
- ▶ Résines polyesters
- ▶ Silicates
- ▶ Acryliques
- ▶ Coulis mixtes
- ▶ **Coulis de ciment**
- ▶ **Résines époxydiques**
- ▶ **Résines polyuréthanes**



Les méthodes de réparations conventionnelles

► Coulis de ciment



Mises en œuvre délicates



Peu écoresponsables

► Résines époxydiques et polyuréthanes



Peu écoresponsables



Mises en œuvre délicates

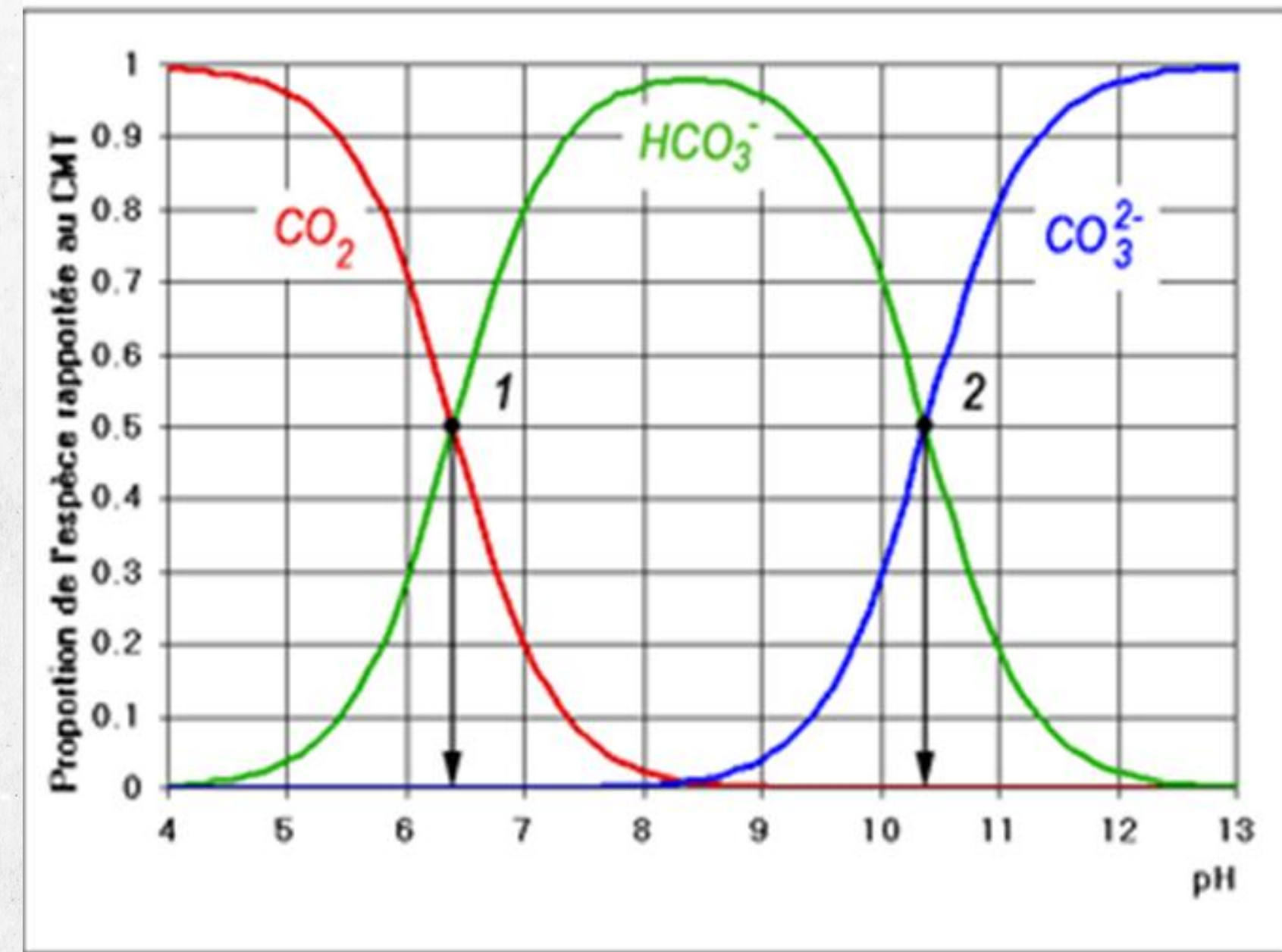
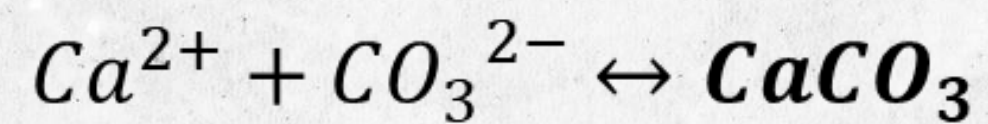
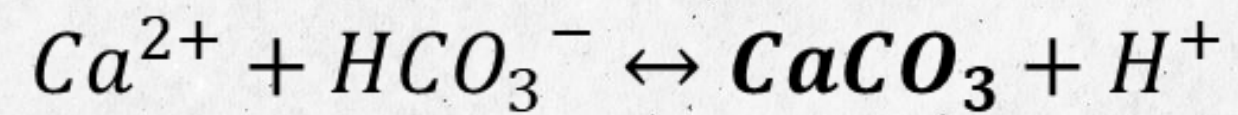


Peu durables



La biominéralisation

Le carbonate de calcium



La biominéralisation

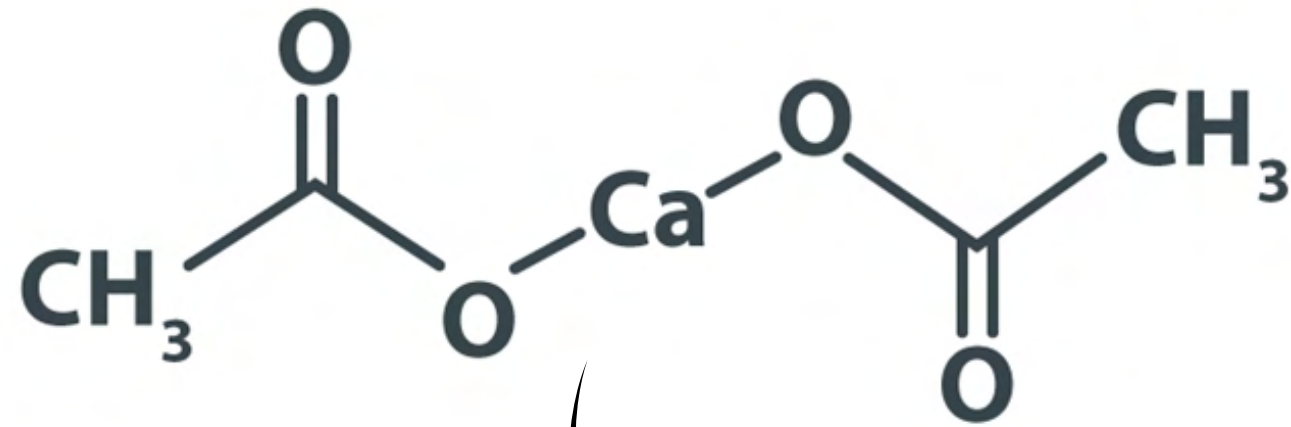


Différents types de minéralisation

- ▶ Minéralisation naturelle
- ▶ Minéralisation biologiquement contrôlée
- ▶ Minéralisation biologiquement induite

La biominéralisation

Molécule d'acétate de calcium

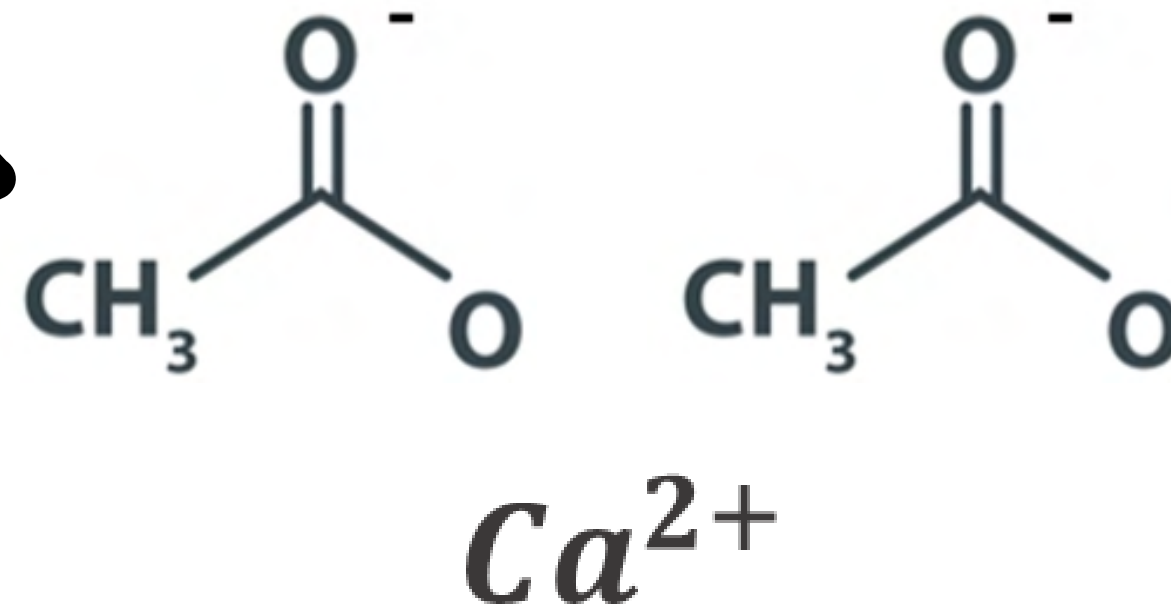


Oxydation d'acides organiques :

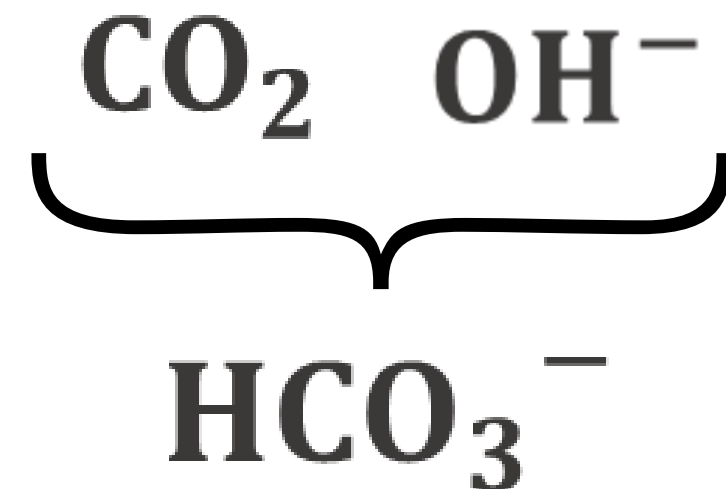
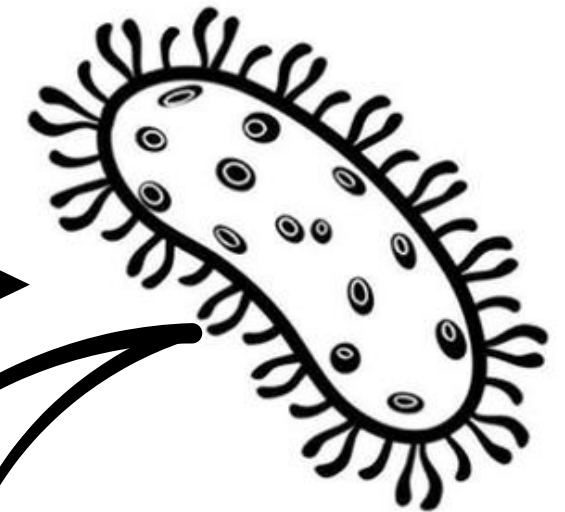
En conditions aérobies

Dissolution

2 ions acétates et 1 ion calcium



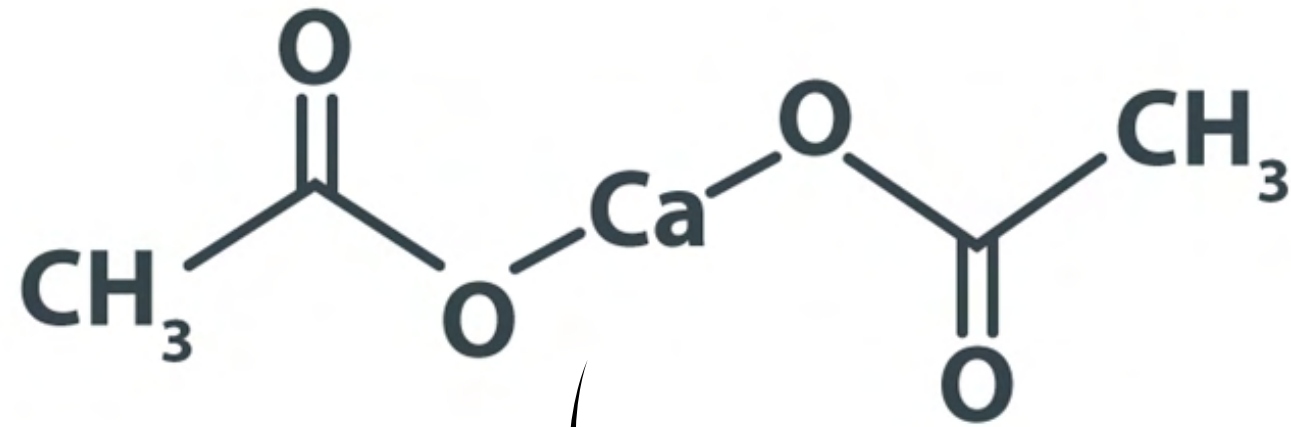
Métabolisation



En conditions
basiques

La biominéralisation

Molécule d'acétate de calcium

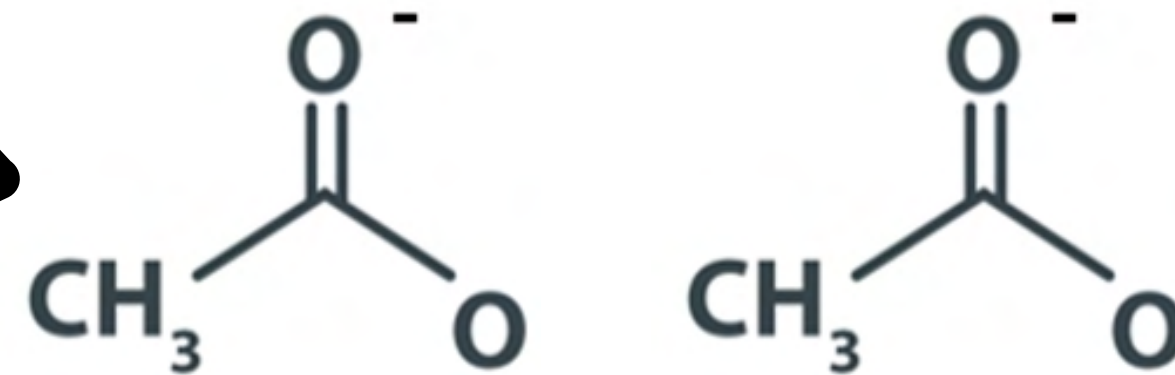


Oxydation d'acides organiques :

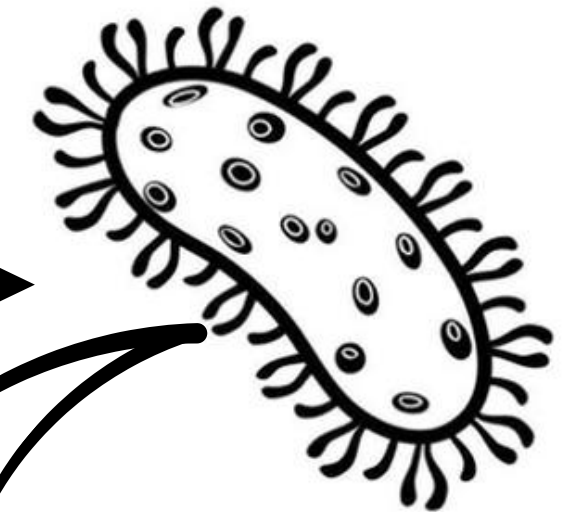
En conditions aérobies

Dissolution

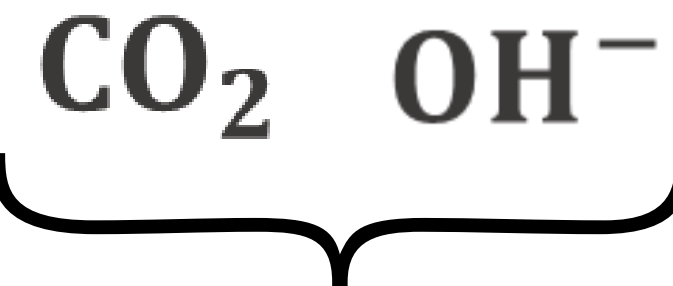
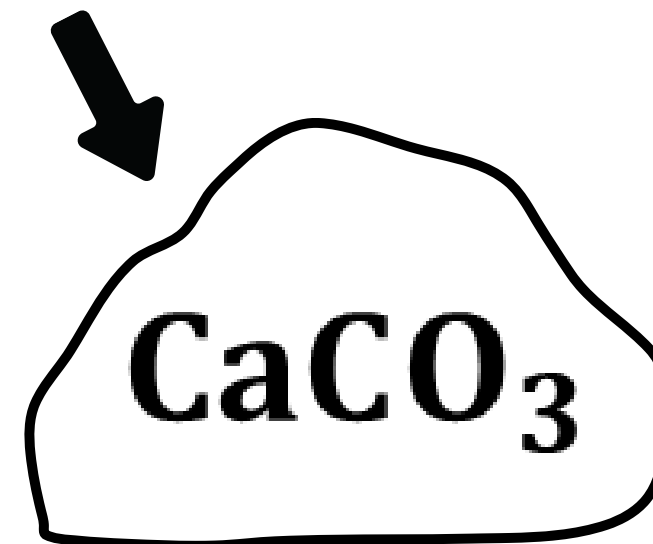
2 ions acétates et 1 ion calcium



Métabolisation



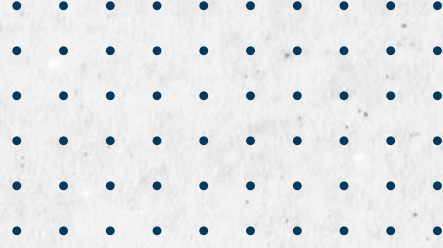
Ca^{2+}



En conditions basiques



La biominéralisation



Barrage en
béton

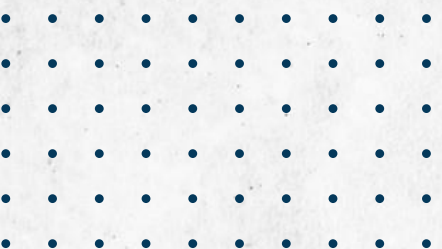
Concrétion naturelle

Les bactéries

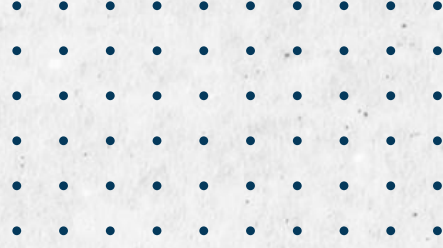
- ▶ Alcalino-tolérantes / Alcalinophiles
- ▶ Multitude de souches biominéralisantes et de voies métaboliques

Zone de prélèvement

Vue au microscope optique
de la population bactérienne



La biominéralisation

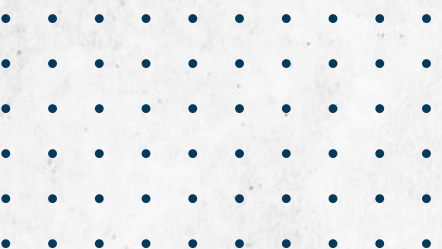


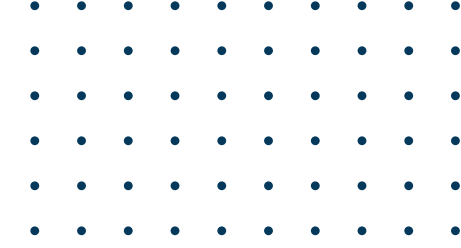
Optimisation des milieux bactériens et nutritifs

- ▶ Mise en concurrence de milieux bactériens
- ▶ Mise en concurrence de milieux nutritifs
- ▶ Sélection d'un milieu optimisé

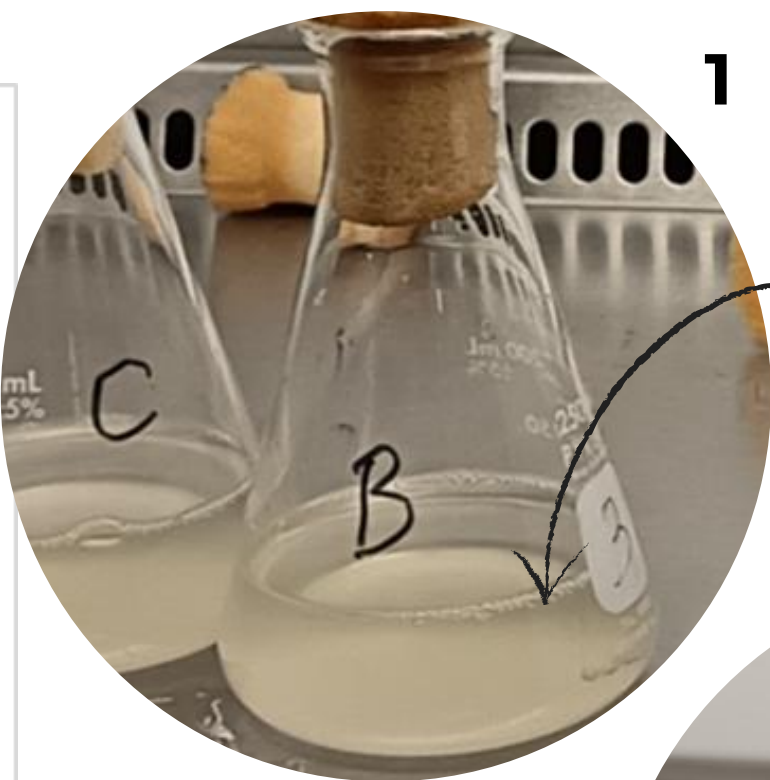
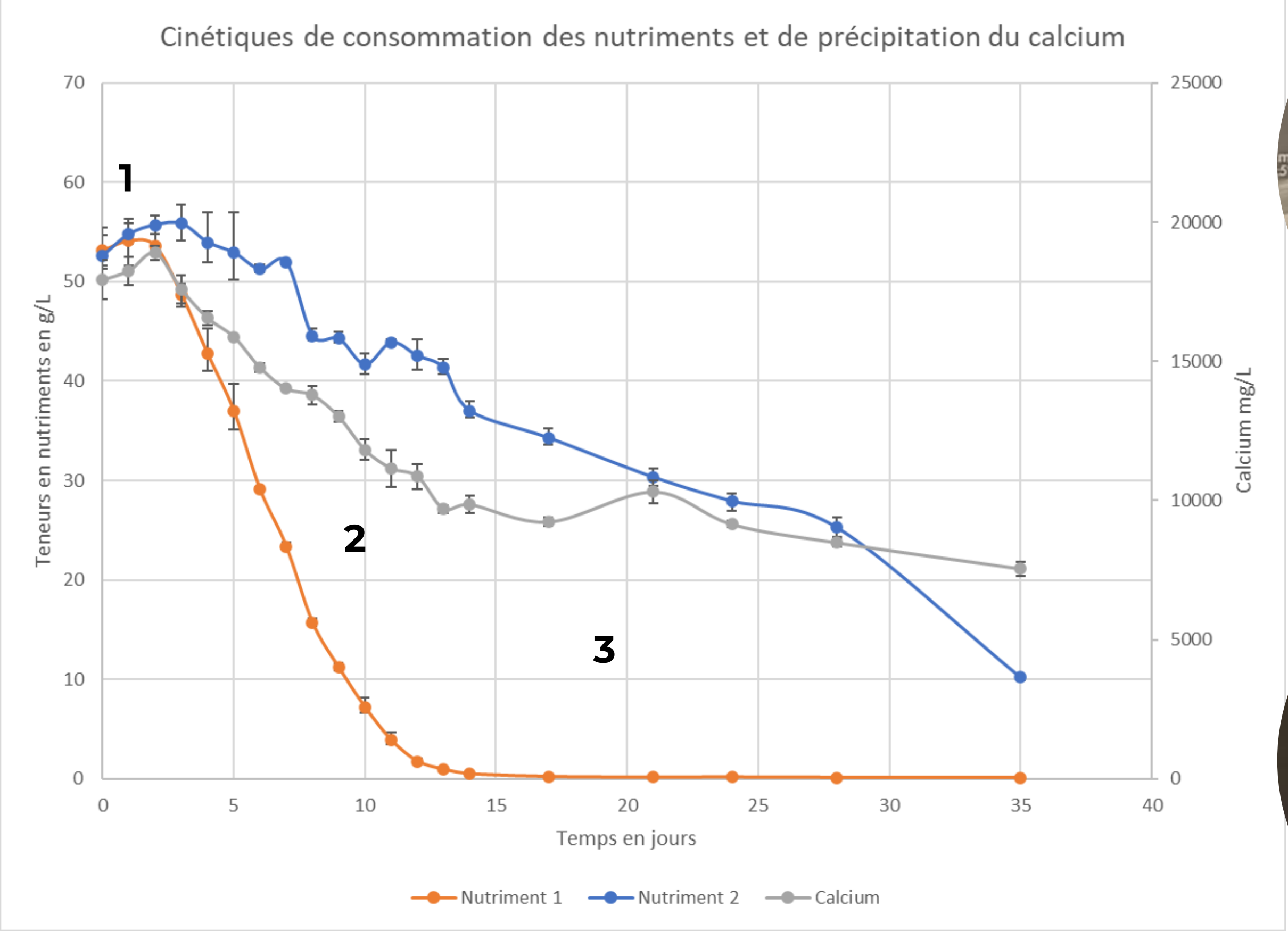


Carbonate de calcium



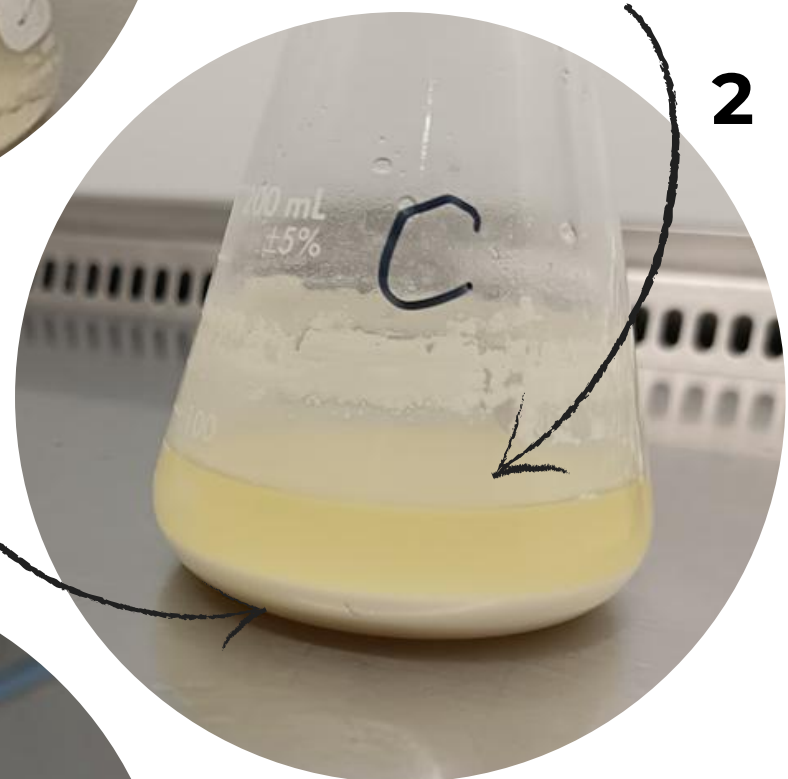


La biominéralisation

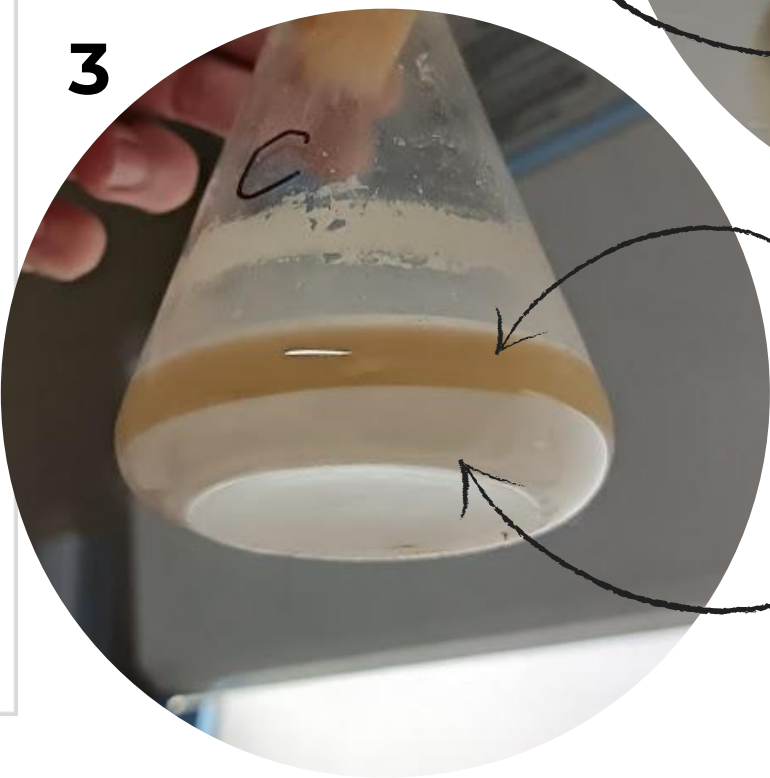


Milieu nutritif

Milieu nutritif et bactérien



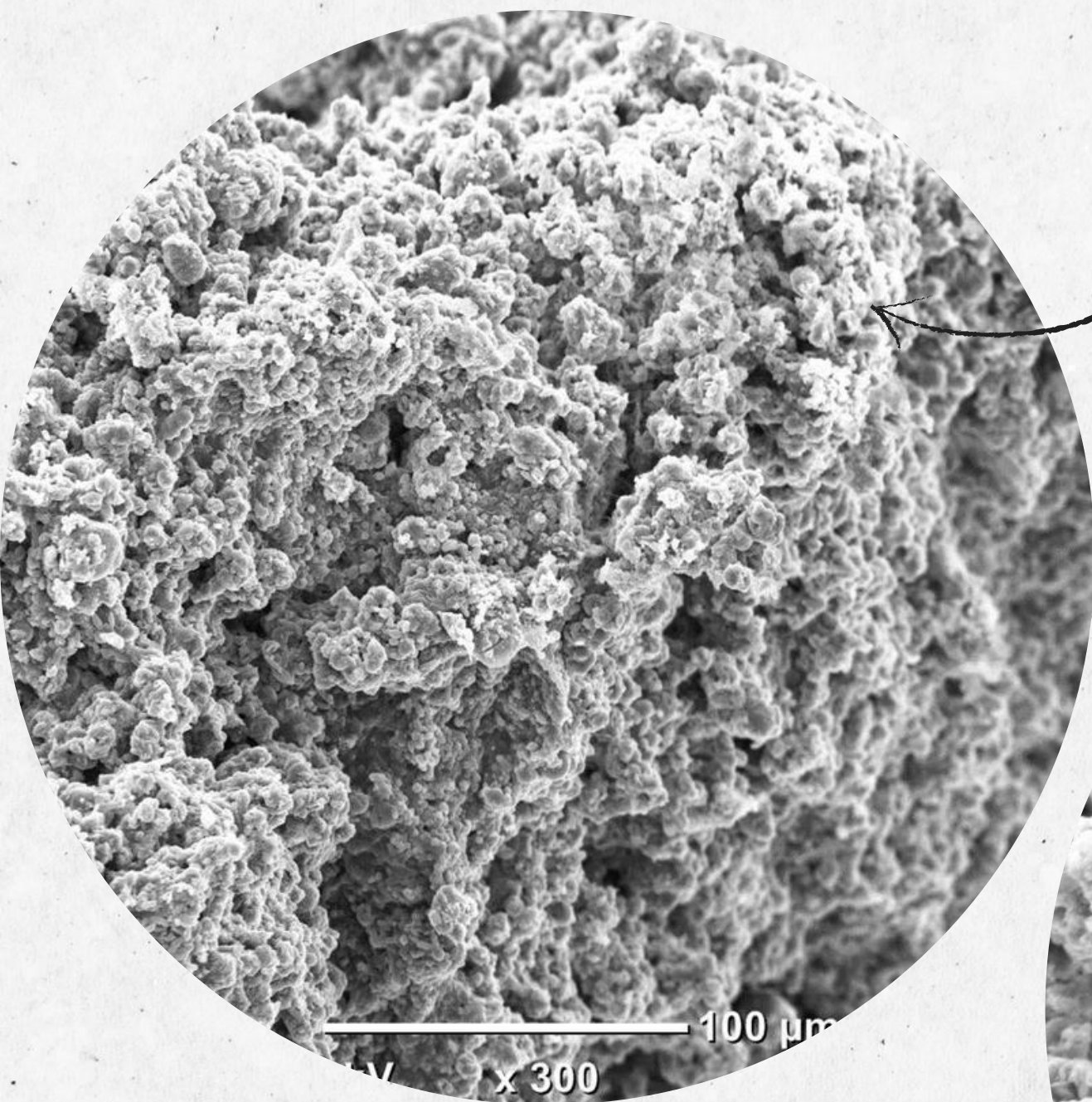
Carbonate de calcium



Déclin de certaines bactéries

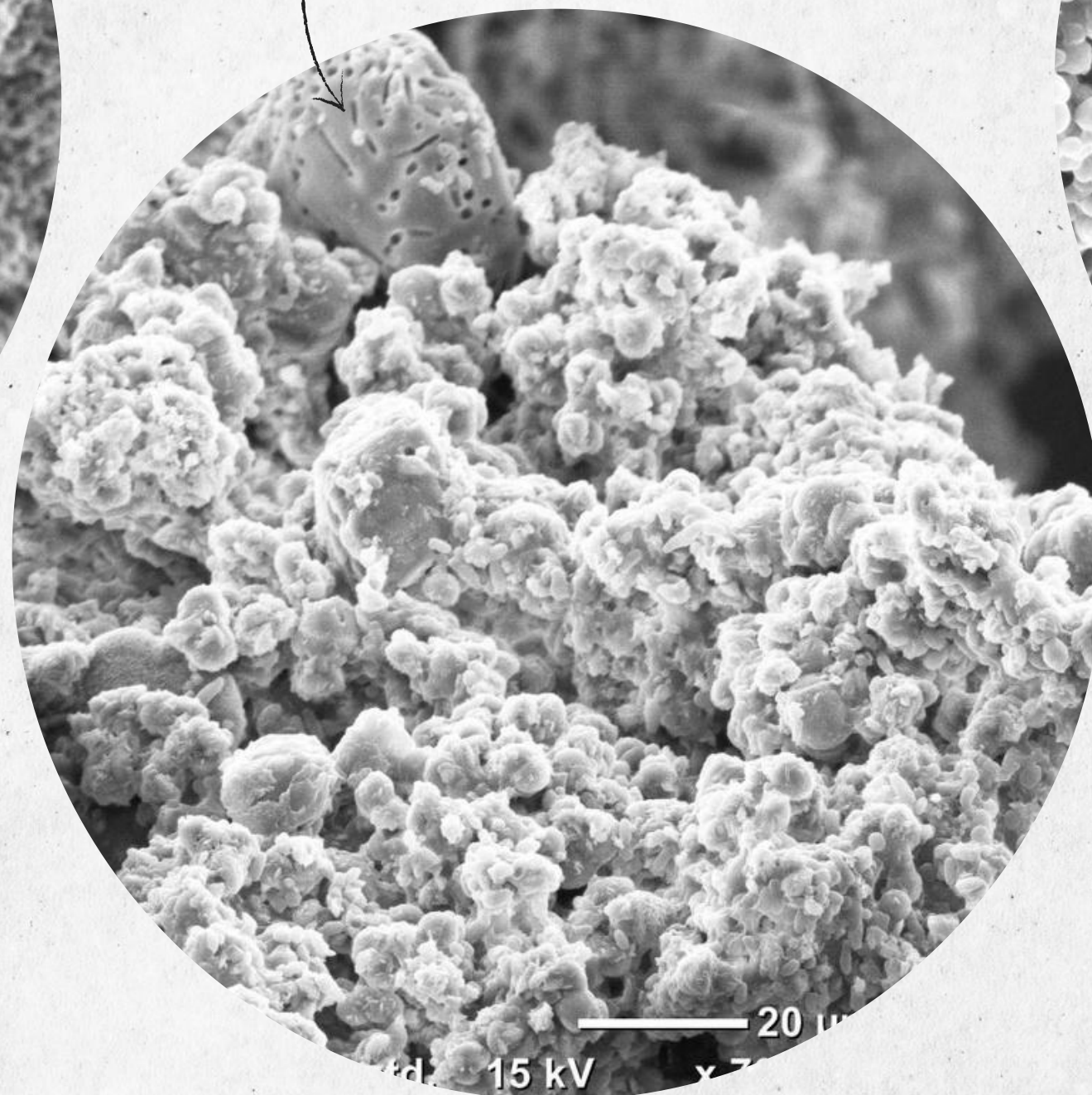
Carbonate de calcium

La biominéralisation

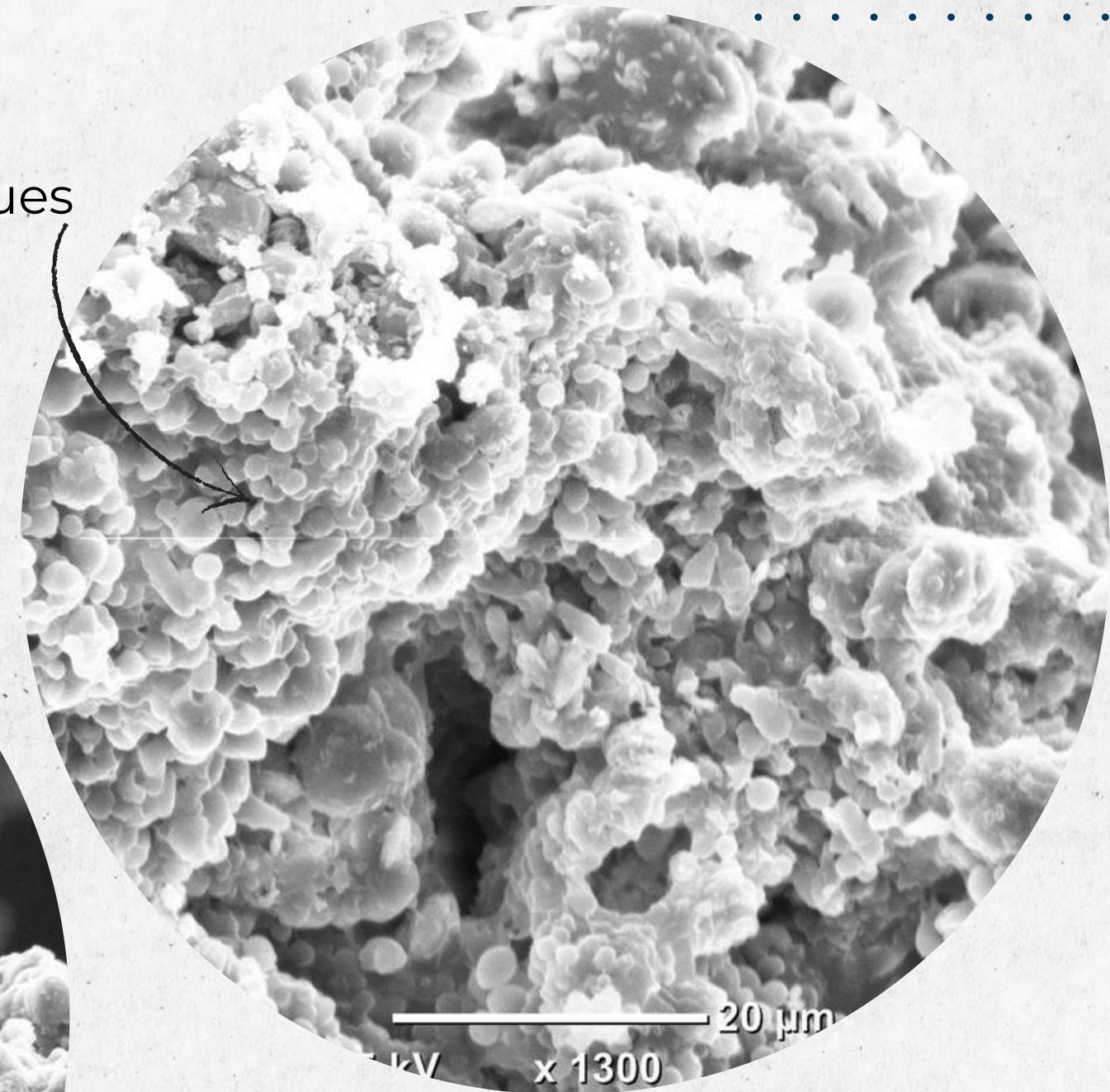


Agglomération

Empreintes bactériennes



Coques



La biominéralisation



[Biocalcis - Soletanche]



[Biocalcis - Soletanche]

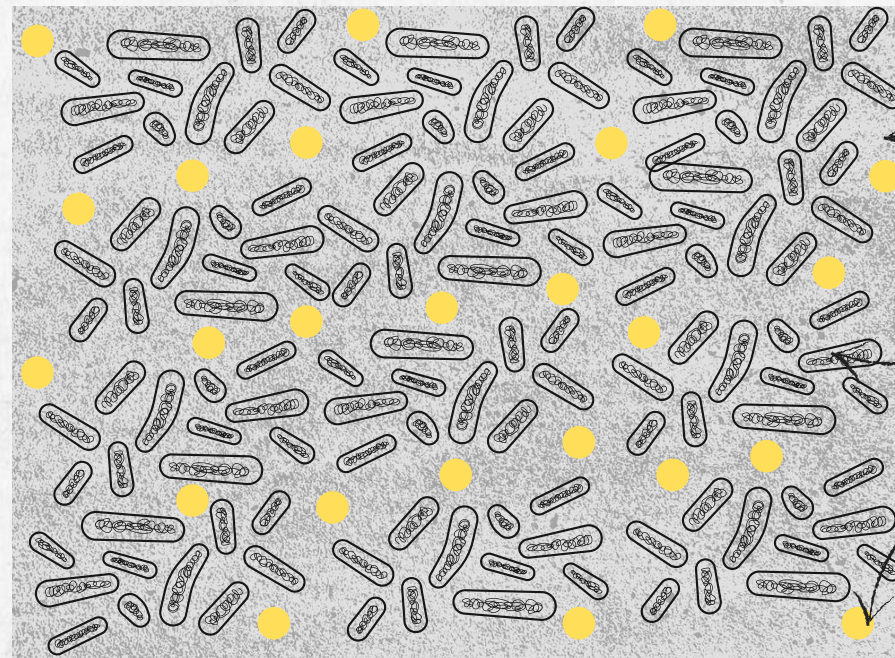


Exemples d'utilisations

- ▶ Stabilisation des sols
- ▶ Biobétons
- ▶ Protection, restauration ou renforcement d'éléments architecturaux
- ▶ Réparation de fissures dans le béton :
 - Autobiocicatrisation
 - Exobiocicatrisation

La bioréparation

Béton autobioréparant

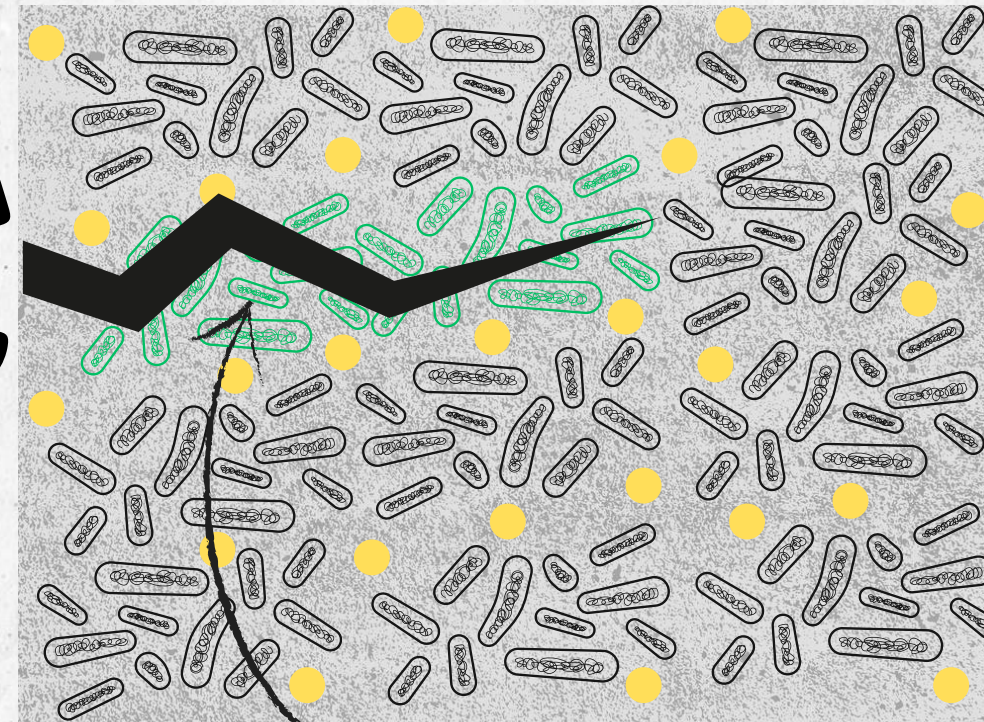


Matrice cimentaire durcie

Bactéries sous forme de spores

Nutriments

Fissuration



Oxygène

Humidité

Carbonate de calcium

Béton autobioréparé

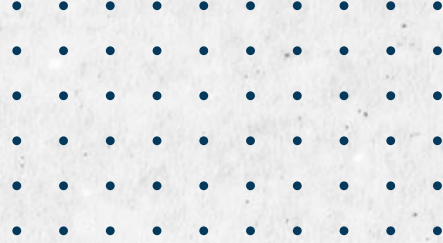


Activation des bactéries

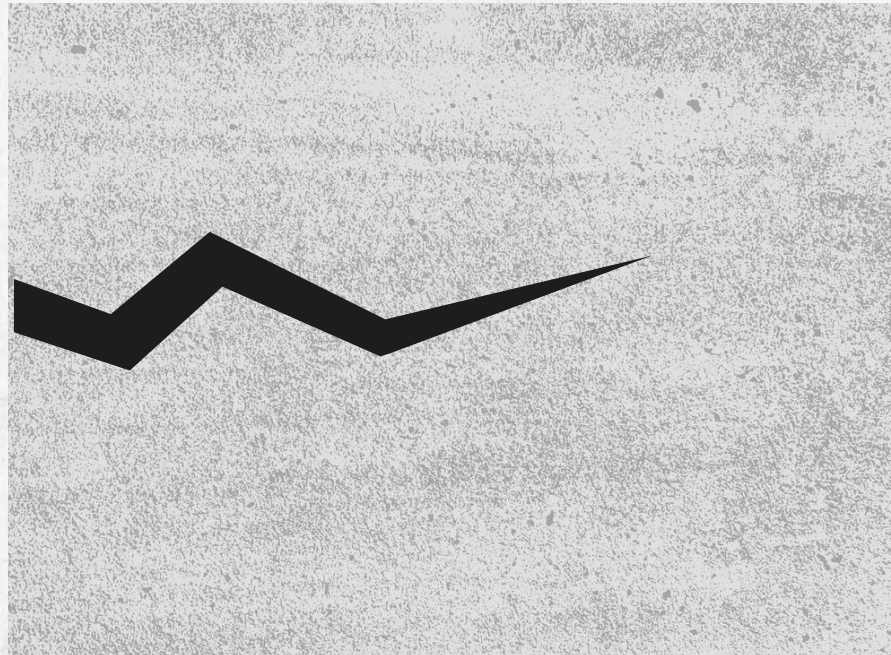
L'autobioréparation

- **Principe :**
Insertion des milieux dans le béton lors du malaxage
- **Objectif :**
Réparation autogène de la fissure
- **Limites :**
Influence sur les résistances mécaniques
Coûteux
Faible viabilité dans le temps
S'adresse à des ouvrages inexistant

La bioréparation

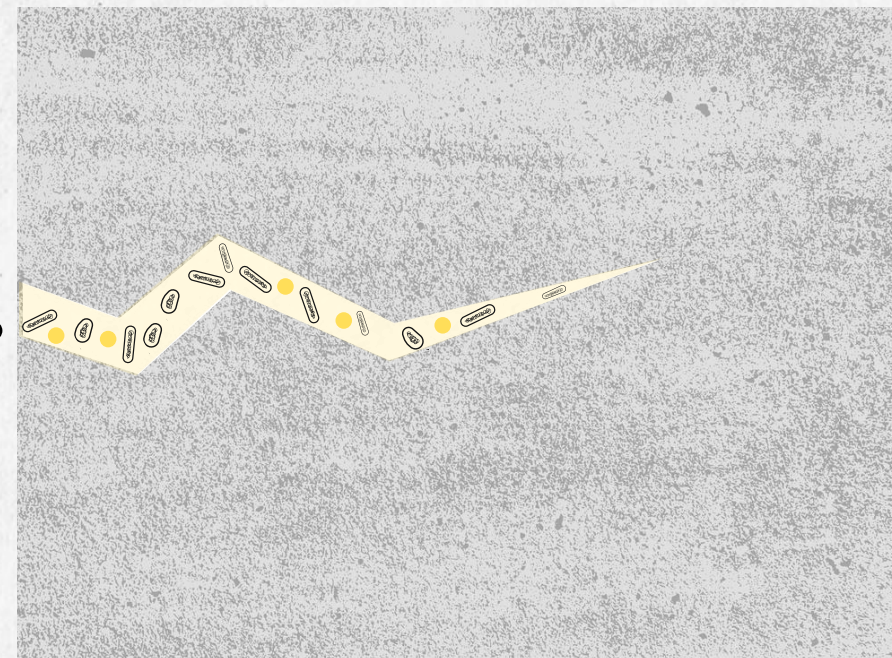


Béton standard fissuré

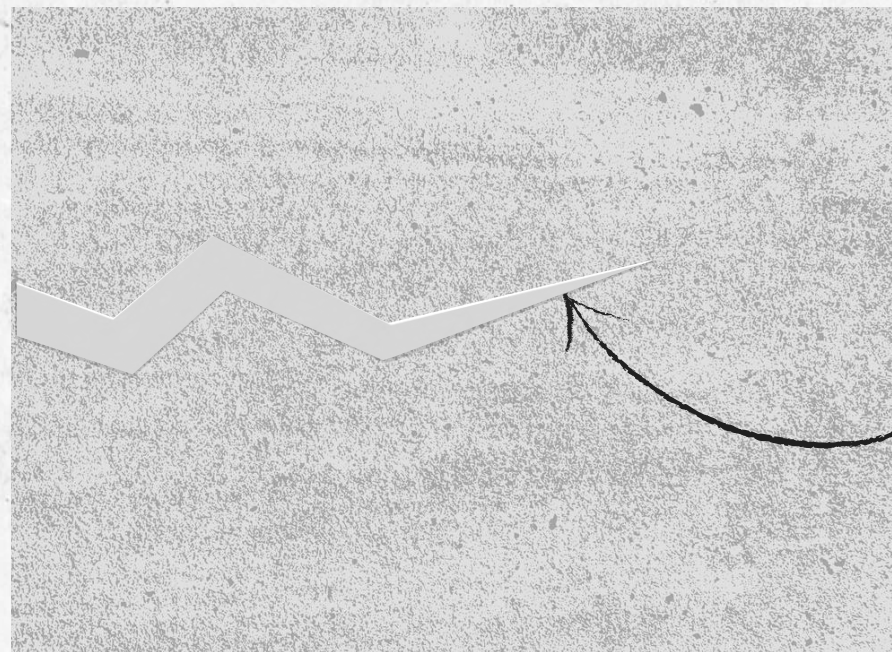


Milieu bactérien
(actif) et nutritif

**Insertion des milieux dans
la fissure**



Béton bioréparé



Carbonate de
calcium

L'exobioréparation



Principe :

Insertion des milieux dans la fissure

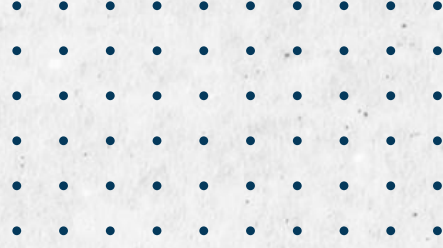


Objectifs :

Réparation de fissures sur tous types
d'ouvrages en béton

Fournir une alternative aux solutions de
réparations conventionnelles

La bioréparation

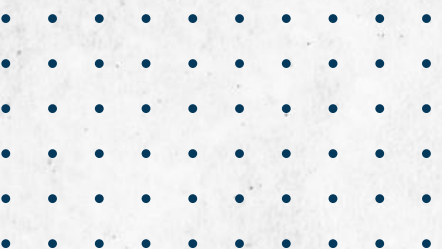


Méthodes

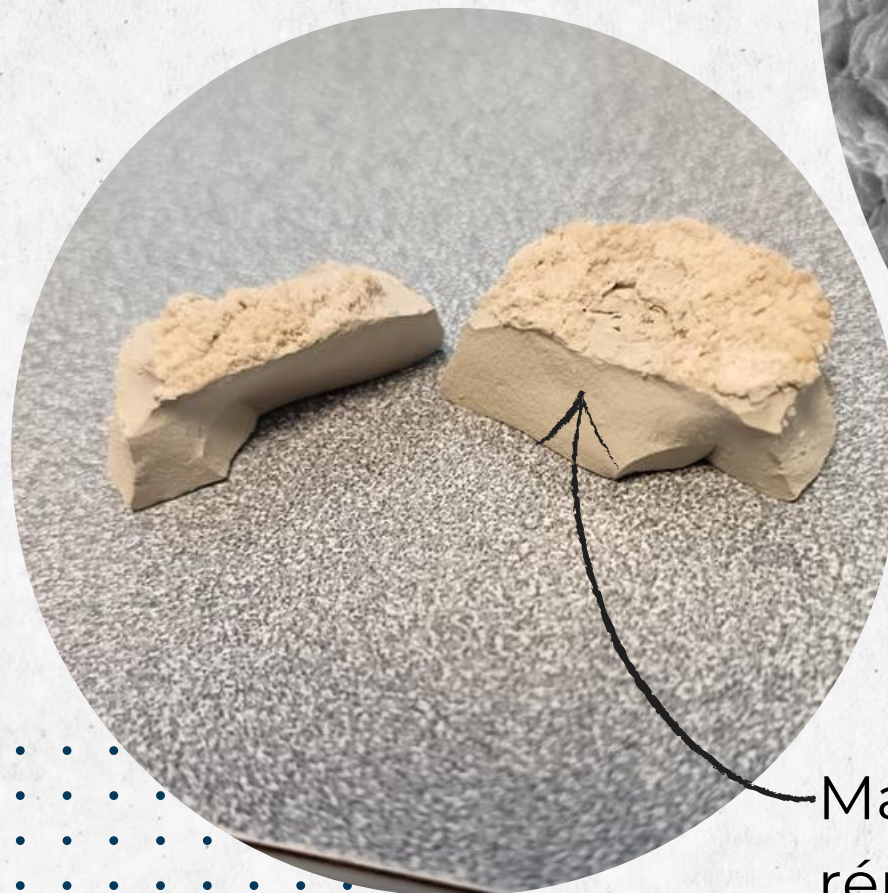
- ▶ Imprégnation
- ▶ Traitement de surface
- ▶ Injection



[PERRIN-2022]



La bioréparation

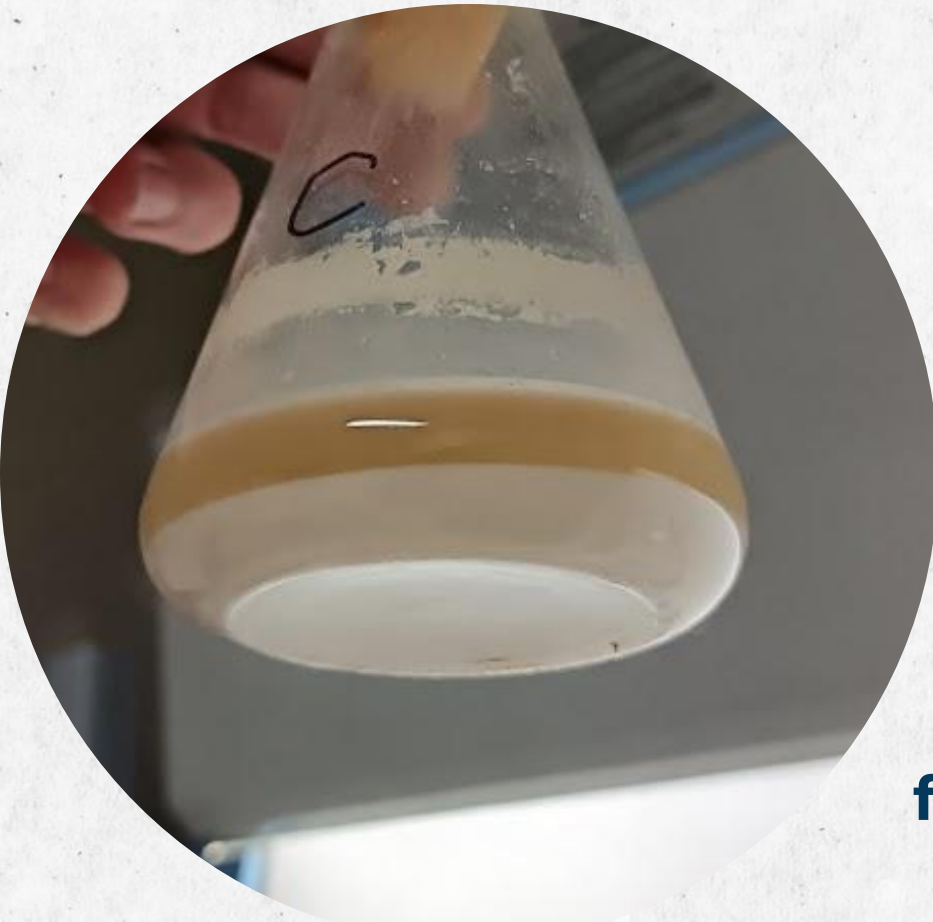


Apport d'une charge minérale

- ▶ Epaississement des milieux
- ▶ Apport bénéfique à la biominéralisation
- ▶ Colmatage plus efficace

Application du procédé : Démarche multi-échelles

In-vitro



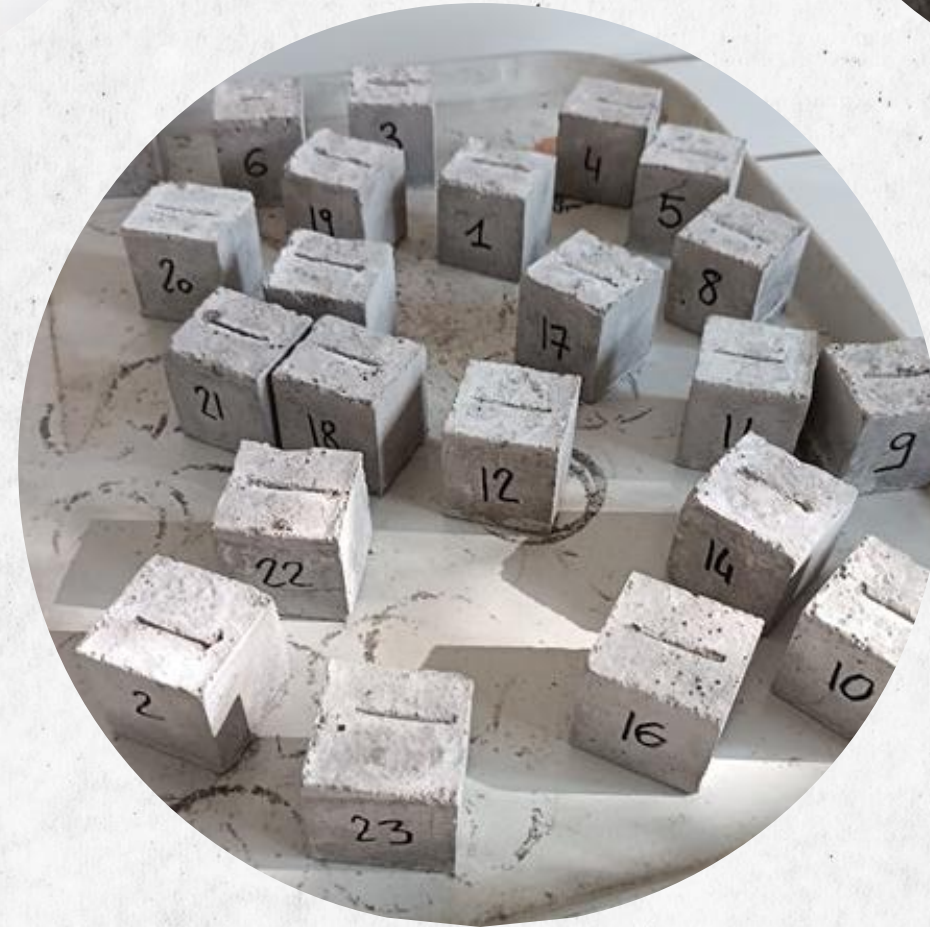
Eprouvettes
fissurées échelle 2



In-situ



Eprouvettes
fissurées échelle 1



Echelle pilote



Application du procédé : Eprouvettes échelle 1

Coulage de cubes



Carbonatation



Applications de pré et post traitements



Hydratation



Validation du protocole



Application du procédé : Eprouvettes échelle 2

Fendage d'éprouvettes confinées



Collage des têtes et pontage des fissures



Ouverture de l'éprouvette et observation de l'injection



Mesure des fissures



Injection du milieu coloré



Application du procédé : Echelle pilote

Coulage d'une dalle



Carbonatation



Mesure de la perméabilité à l'eau



Fissuration



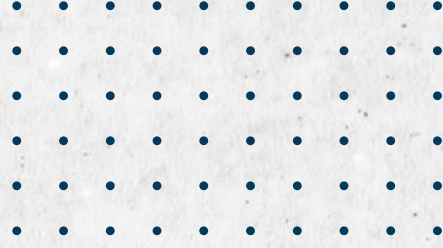
Mesure des ouvertures



Eprouvette graduée

Plaque

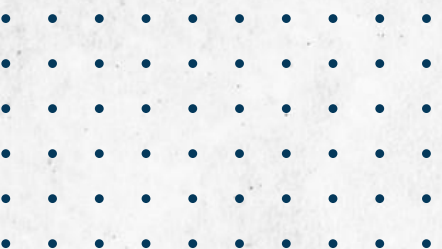
Application du procédé : Echelle pilote



Injection

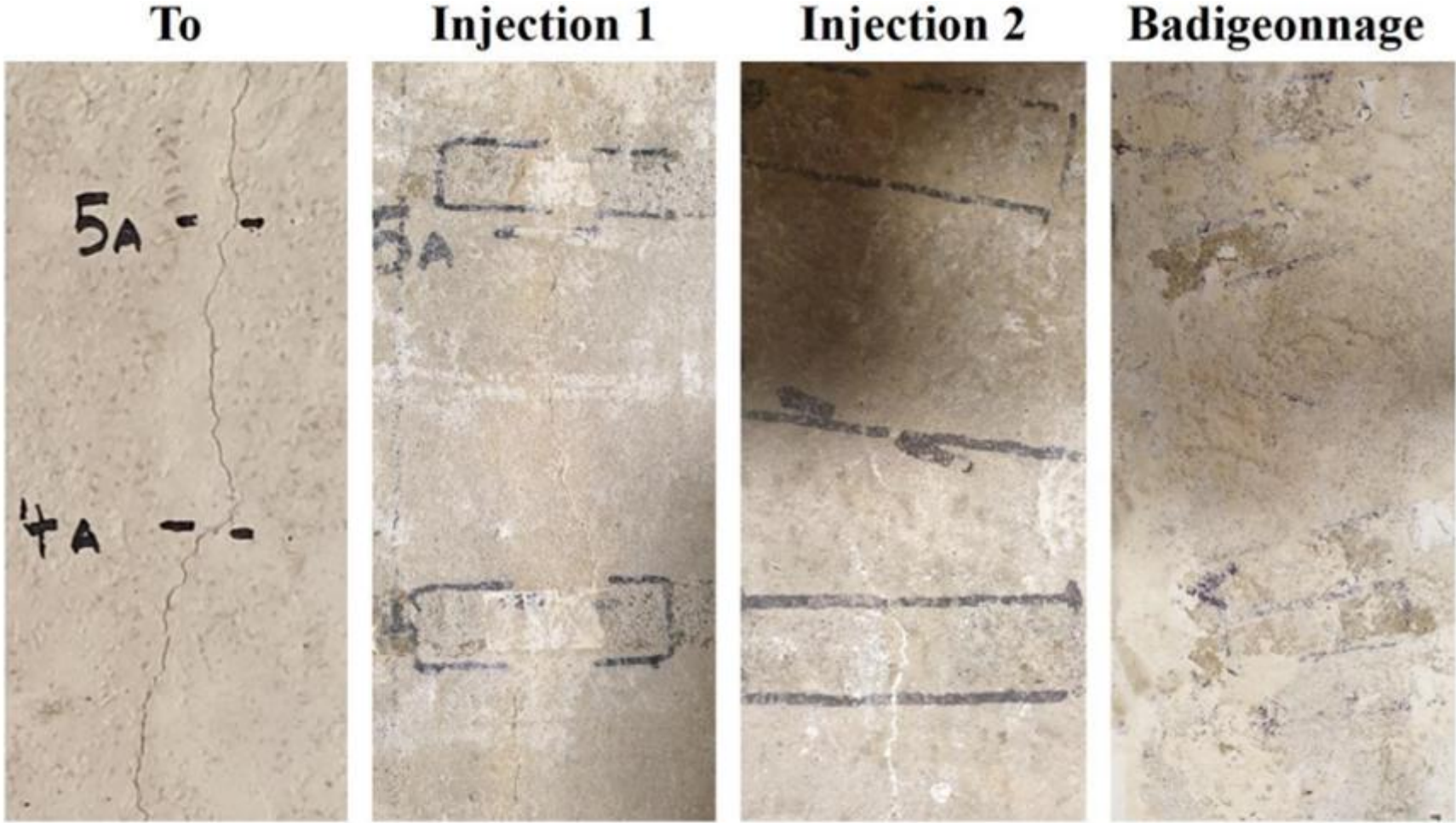


- ▶ Collage de têtes d'injection
- ▶ Pontage de la fissure
- ▶ Injection des milieux à la seringue

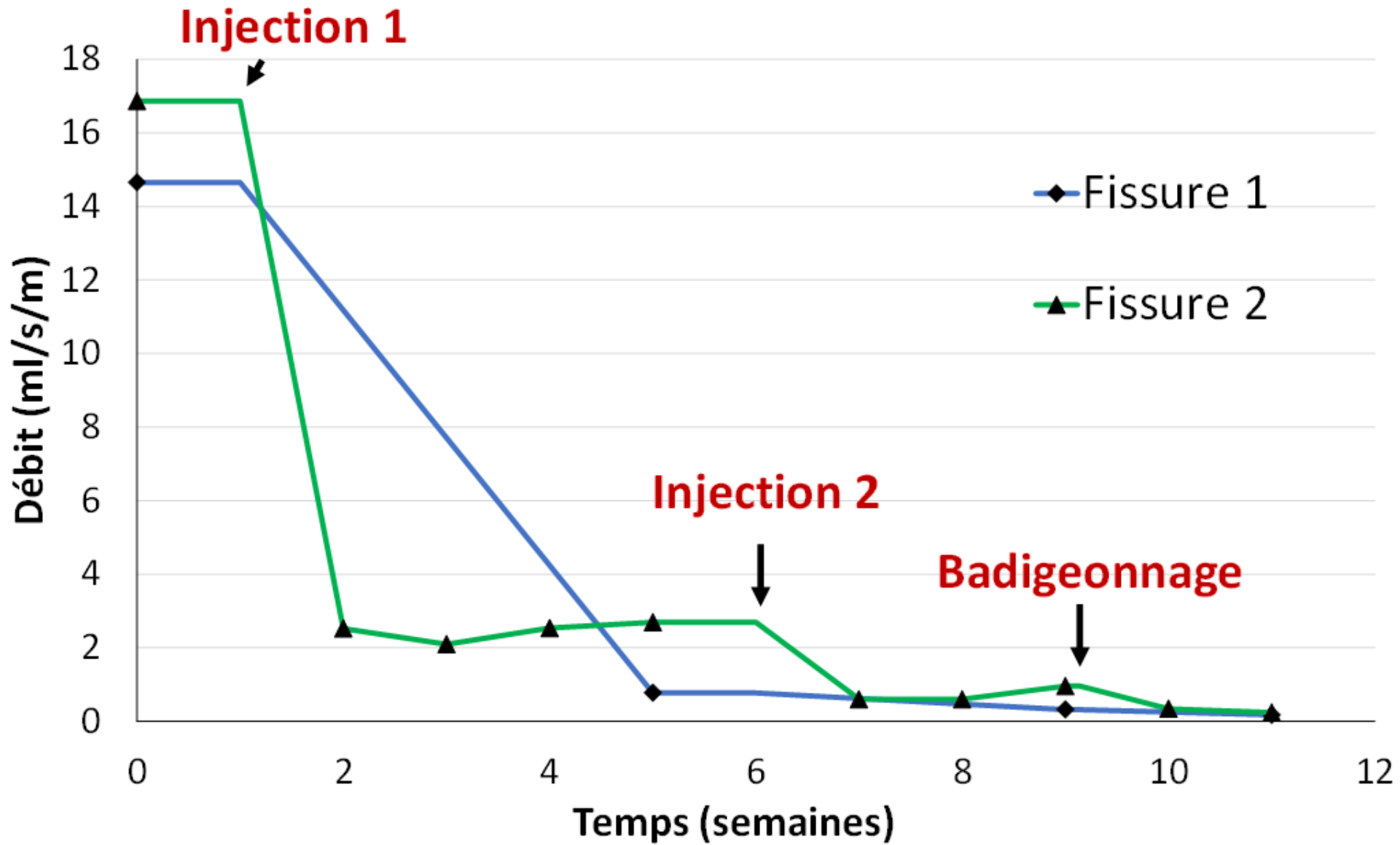


Application du procédé : Echelle pilote

Fissure 1



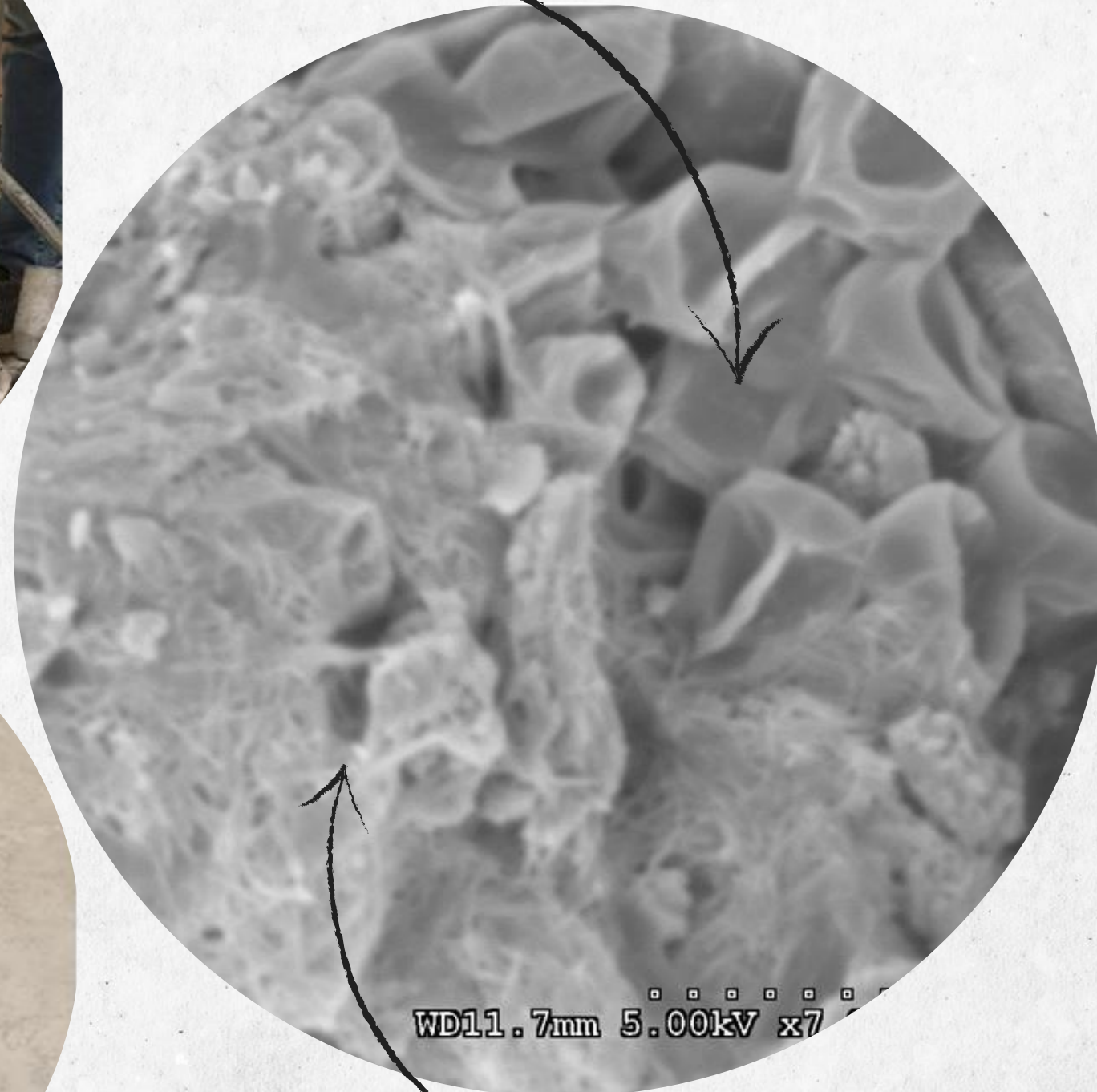
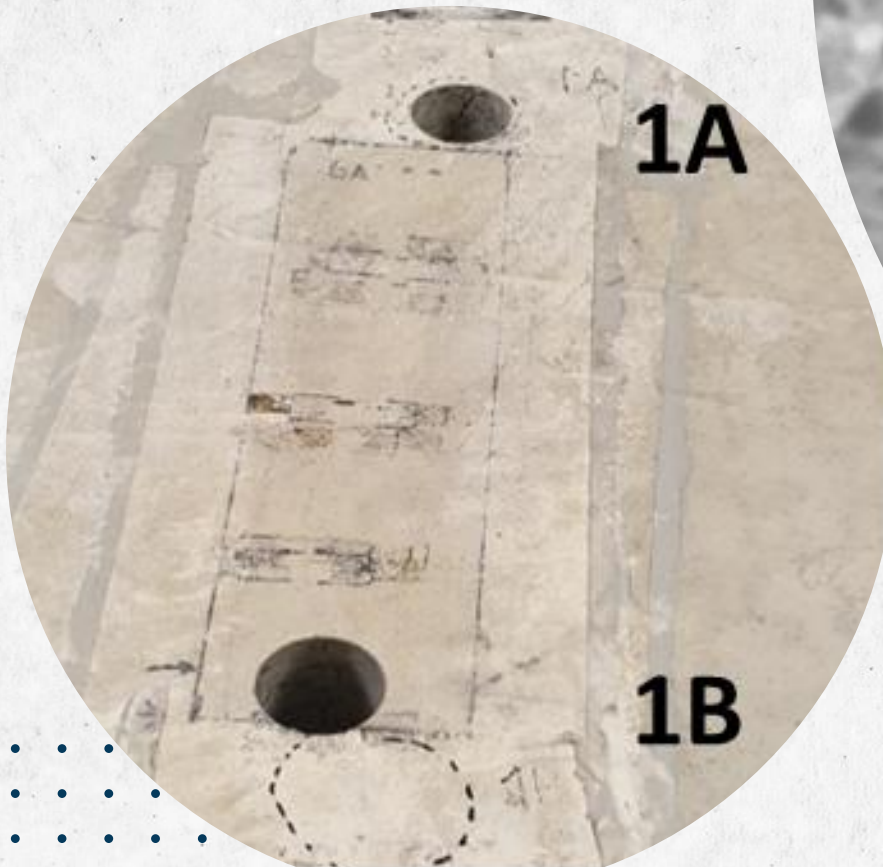
Fissure 2



Application du procédé : Echelle pilote



Bactéries
déshydratées



- ▶ Colmatage efficace de la fissure
- ▶ Apport de la charge minérale
- ▶ Biominéralisation visible

Agglomération d'argile et
de matériel biologique

Application du procédé : Echelle pilote

Optimisation du matériel d'injection

Pompe haute pression



Seringue



Pot à pression



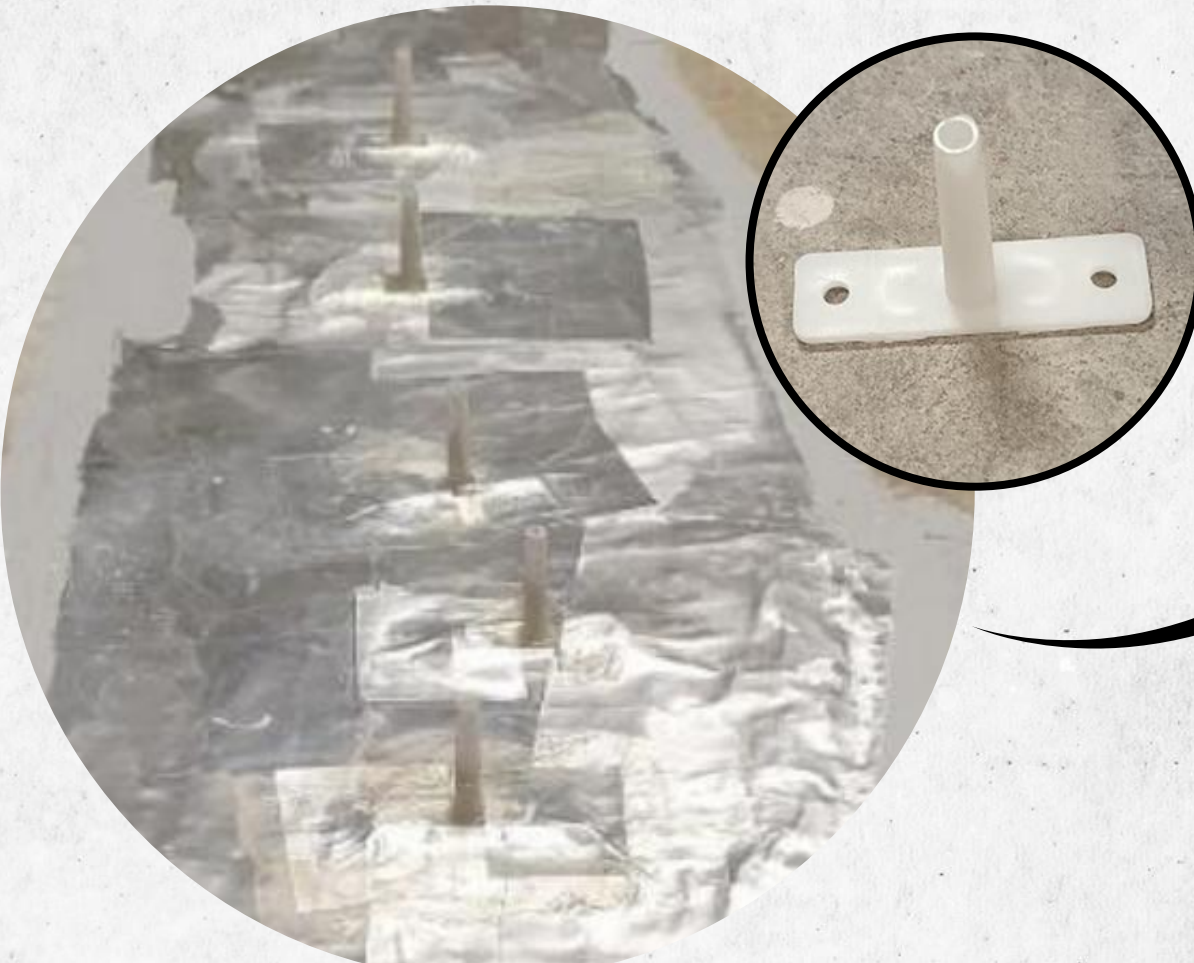
Application du procédé : Echelle pilote

Optimisation du matériel d'injection

Têtes forées



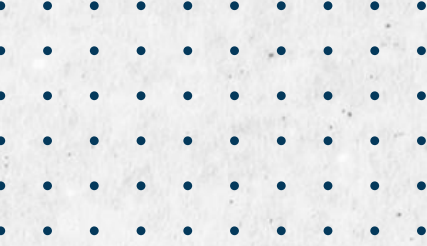
Têtes collées de grande distribution



Têtes collées conçues par impression 3D



Application du procédé : Echelle pilote



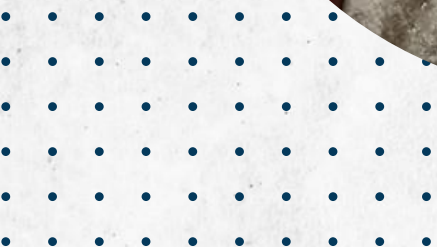
Injection de la troisième dalle fissurée

► Collage des têtes

► Pontage

► Injection

► Post-traitement



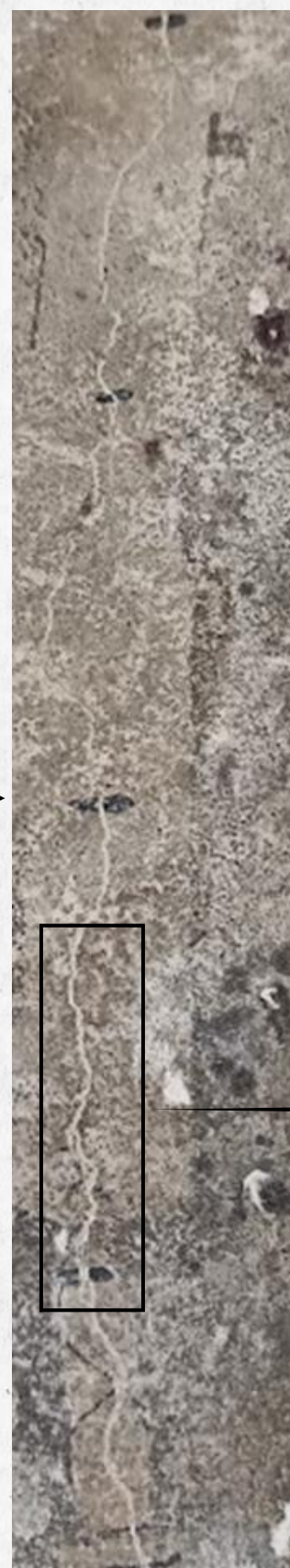
Application du procédé : Echelle pilote

Injection de la troisième dalle fissurée

Avant traitement



1 injection
3 semaines de
biotraitement



Remplissage
efficace de la
fissure grâce à
l'injection

Avant traitement



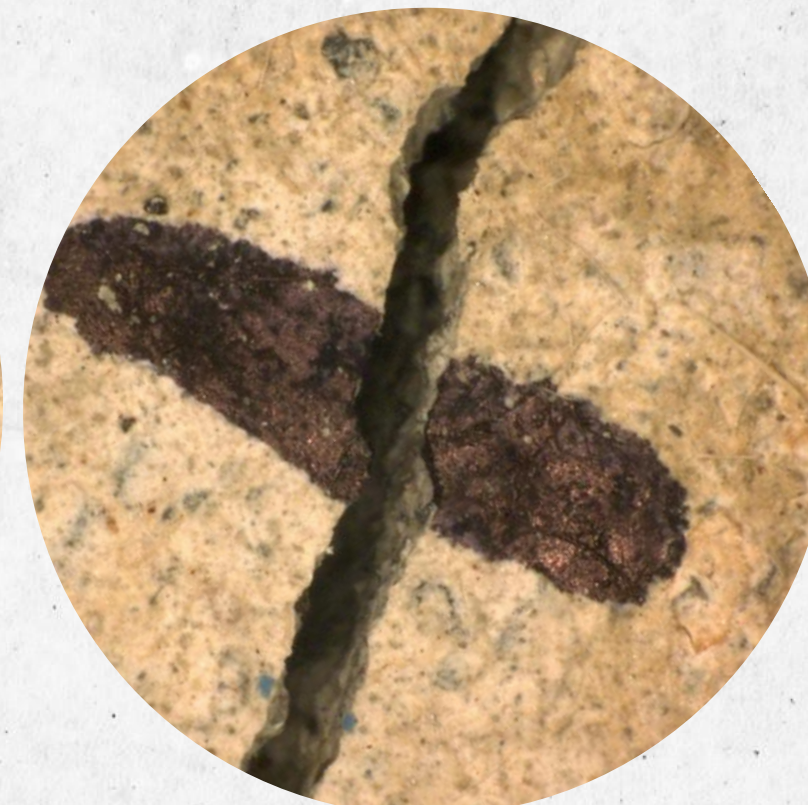
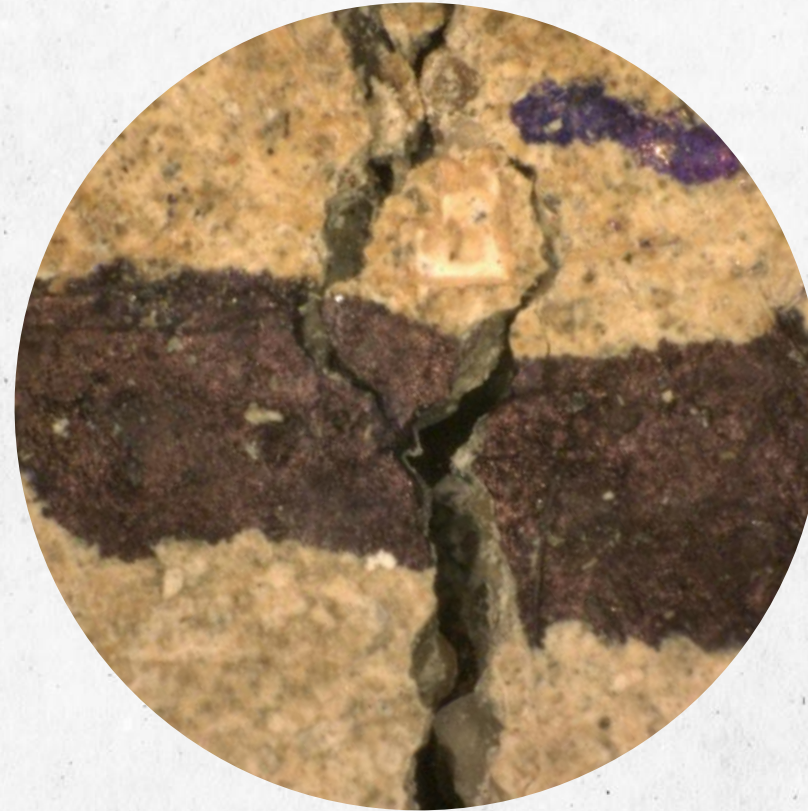
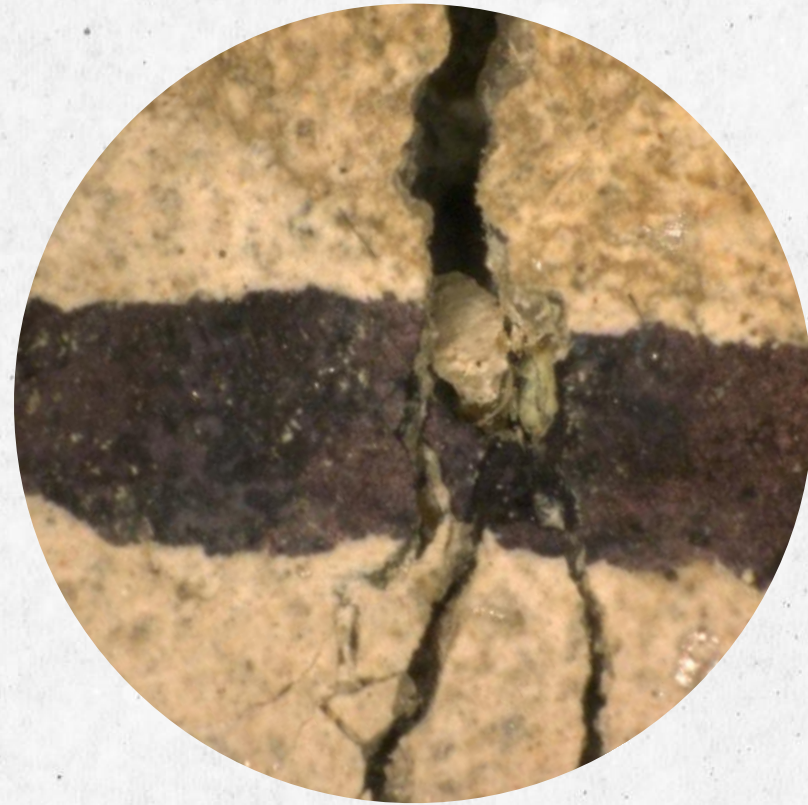
Couche de
calcite favorisée
par le post-
traitement

1 injection
3 semaines de
biotraitement

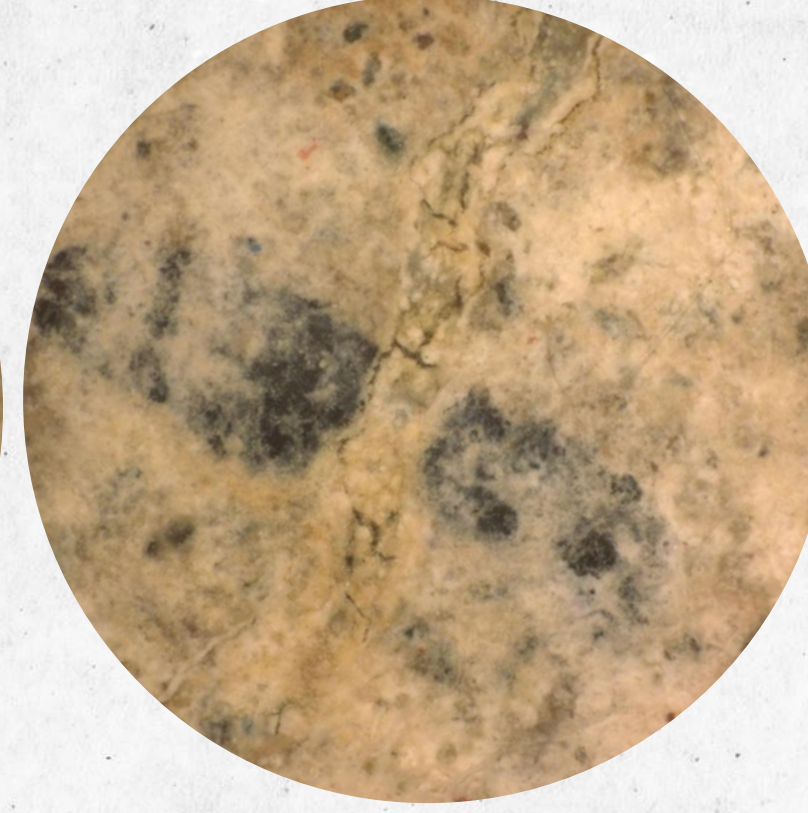
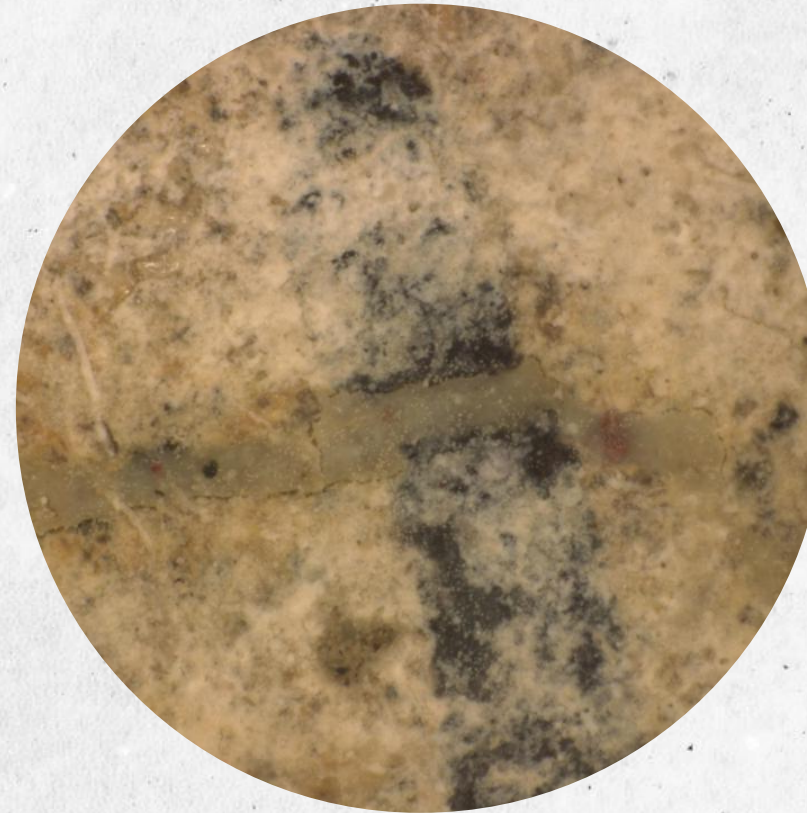
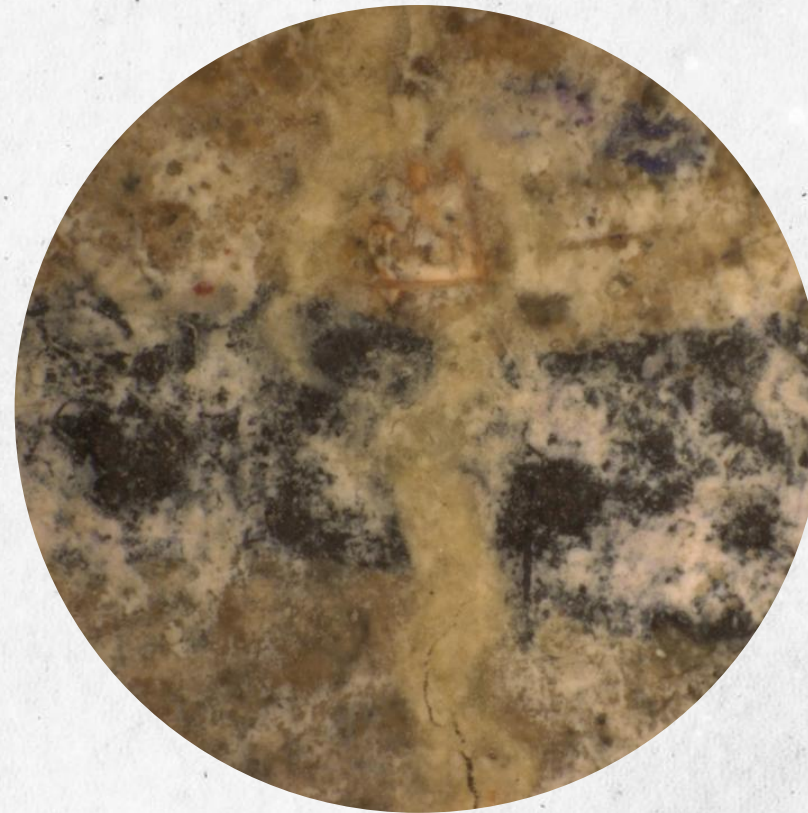
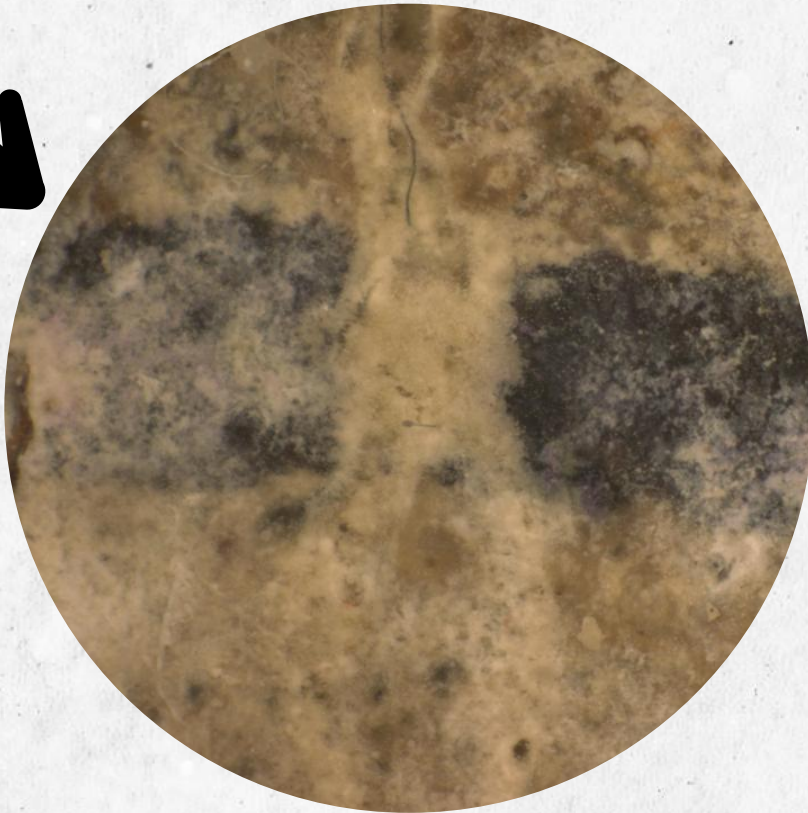


Application du procédé : Echelle pilote

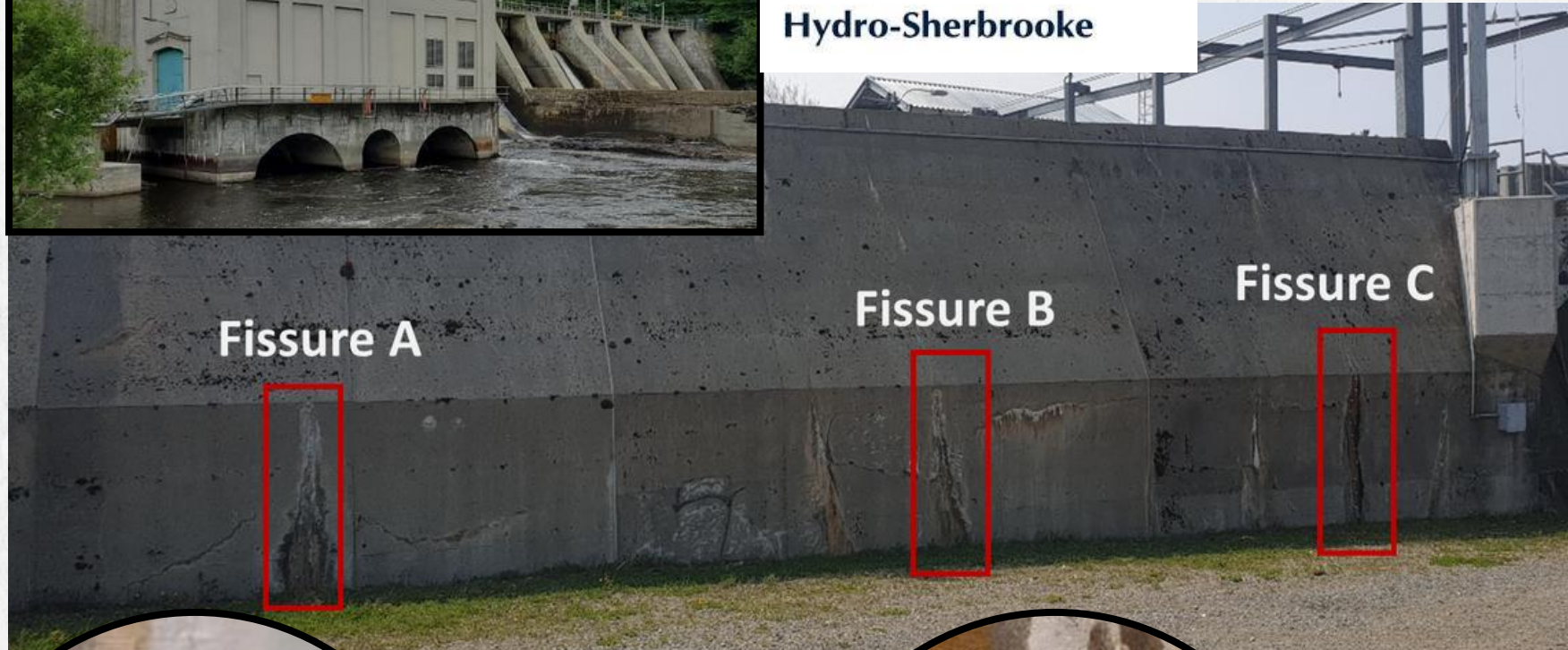
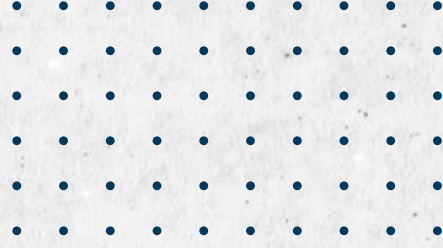
Injection de la troisième dalle fissurée



1 injection
3 semaines de
biotraitement



Application du procédé : in-situ

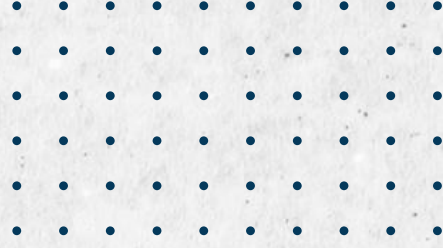


Barrage de Weedon

► Traitement de 3 fissures fuyardes :

- Retrait de la calcite
- Forage et mise en place des têtes
- Injection
- Badigeonnage

Application du procédé : in-situ



T0

7 jours

21 jours

2 ans



Barrage de Weedon



Fissure 1 :

- Colmatée dès la première semaine
- Colmatage maintenue à 2 ans

Application du procédé : in-situ



T0

7 jours

21 jours

2 ans

Barrage de Weedon



Fissure 2 :

- Suintements en partie basse les premières semaines
- Entièrement colmatée à 2 ans

Application du procédé : in-situ

T0



2 ans



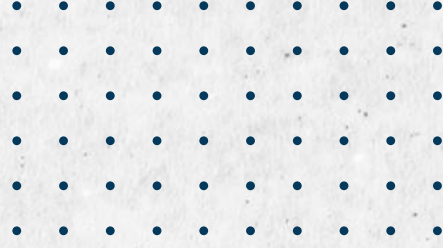
Barrage de Weedon



Fissure 3 :

- Suintements à 2 ans
- Réduction de la perméabilité

Application du procédé : in-situ

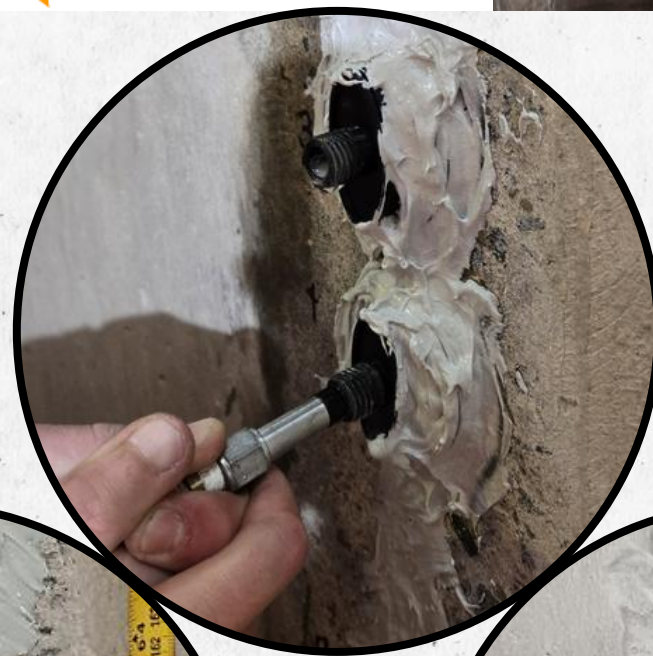
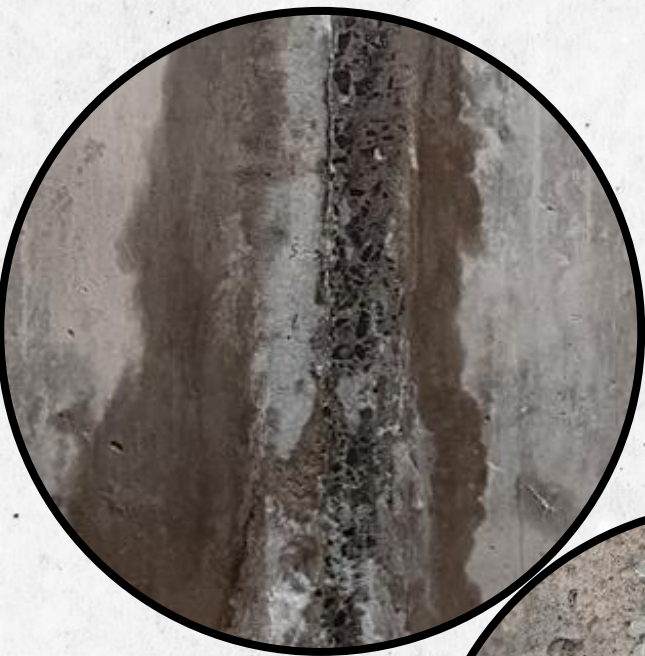


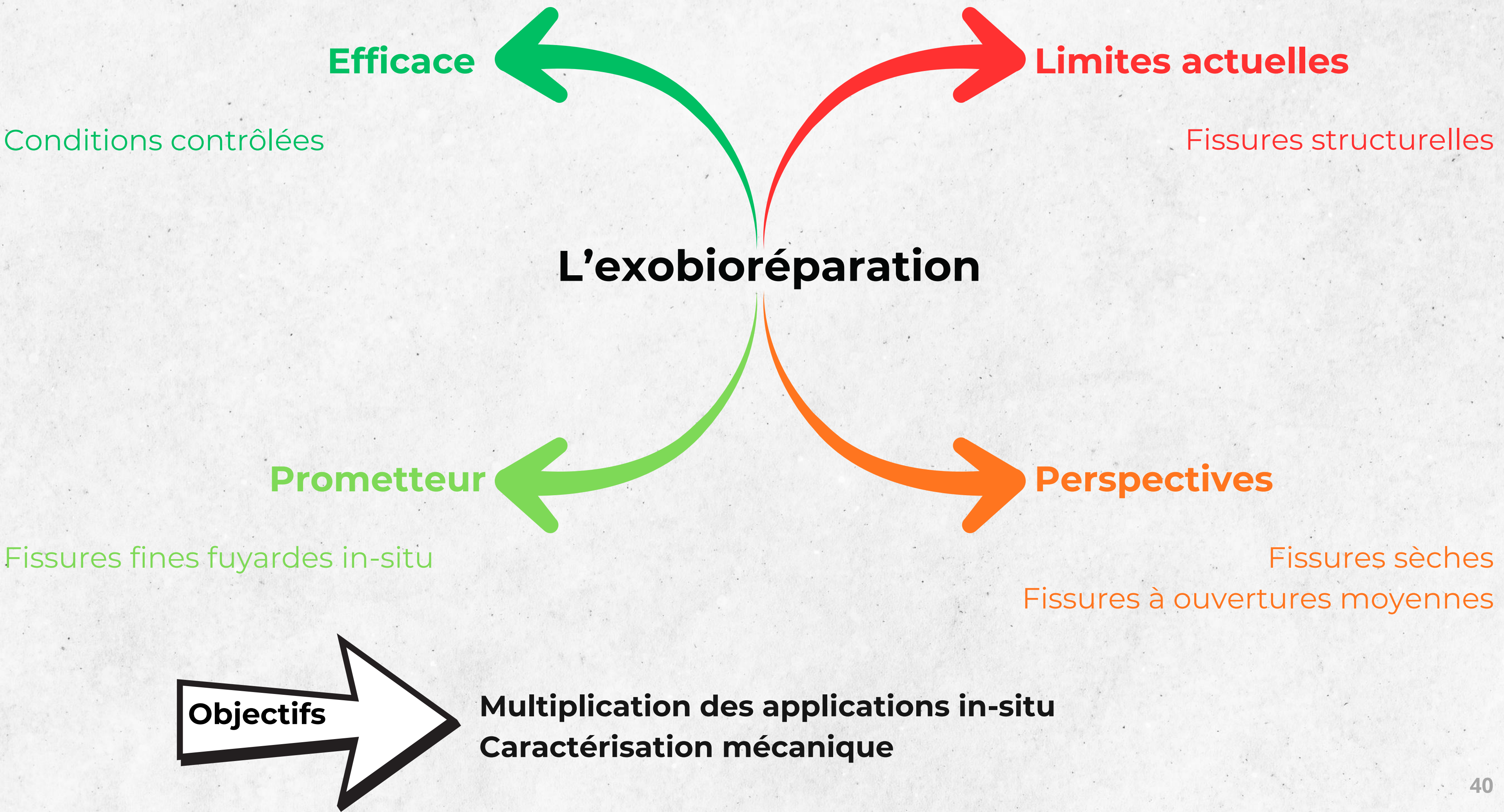
Barrage de Rocher de Grand-Mère



Traitement d'une fissure fuyarde

- Retrait de la calcite
- Collage des têtes et pontage de la fissure
- Injection
- Retrait des têtes et du pontage
- Badigeonnage





RENDEZ-VOUS DES ÉCOMATERIAUX

21/10/2025

MERCI

NICOLAS BADETS - ETUDIANT AU DOCTORAT

ENCADRÉ PAR :

PROFESSEURS RICHARD GAGNÉ ET CHRISTINE LORS

nicolas.badets@usherbrooke.ca



Université de
Sherbrooke



IMT Nord Europe
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille



CRIB

*Centre de recherche sur les
infrastructures en béton*



Région
Hauts-de-France