

Caractérisation du processus d'autocicatrisation dans les conduites de béton armé

Nathalie Lasnier, ing
Tubécon

Richard Gagné, ing Ph.D.
Université de Sherbrooke



LES PRODUITS DE CIMENT
DE SHERBROOKE LTÉE



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE



Centre de recherche sur les
infrastructures en béton



29 – 30 novembre 2021
Édition virtuelle

TUBECON.QC.CA

Contenu

- Enjeu global de la gestion des actifs de réseaux d'égouts et des critères d'acceptation
- Inspections TV et système de codification
- Interprétation des inspections TV en fonction des matériaux et de leur comportement structural
- Autocicatrisation des fissures
- Projet de recherche à l'Université de Sherbrooke – Phases 1 et 2
- Conclusions



Inspections TV

Système de codification selon CERIU
/ NASSCO / PACP

Termes: fissures ou fractures

Chapitre 11 BNQ1809-300 mentionne
une analyse des inspections
télévisées



Autocicatrisation des TBA



Autocicatrisation d'une fissure longitudinale



Autocicatrisation d'une fissure circulaire

Lauer and Slate (1956).
Autogenous healing of cement
paste. Journal of the American
Concrete Institute. No 52-63.

Quelques références:

Adam Neville (2002). Autogenous
healing-A Concrete Miracle?
Concrete International.

M.W. Loving (1942). Concrete Pipe
Lines. American Concrete Pipe
Association.

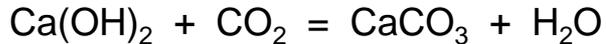
Carola Edvardsen (1999). Water
Permeability and Autogenous
Healing of Cracks in Concrete. ACI
Materials Journal.

B.Savija and E. Schlangen (2016).
Autogenous healing and chloride
ingress in cracked concrete. HERON
Vol.61 No.1.

Autocicatrisation des TBA

Les fines fissures longitudinales qui peuvent apparaître (souvent à la couronne ou au radier de la conduite) ne constituent pas un dommage structural. Une fois cicatrisées, ces fissures en forme de V ne seront pas une source de corrosion et ne causeront pas de fuite car elles n'atteignent pas les aciers d'armature.

Le phénomène de scellement des fissures par des cristaux de carbonate de calcium s'opère à la suite d'une réaction chimique entre la chaux libre (hydroxyde de calcium) dans le béton et le bioxyde de carbone en présence d'humidité. Ce scellement des fissures par les cristaux de carbonate de calcium est appelé autocolmatage ou autocicatrisation.



Détermination de la présence de carbonate de calcium et de calcite constituant le produit cicatrisant. Source: Rapport de SIMCO (2014).

Académie française des Sciences. 1836. J. Hendrickson (1961). The significance of cracks in reinforced concrete pipe. Highway Research Board Proceedings. Vol. 40.

Niveaux de service pour la résistance structurale



Designation: C1840/C1840M – 17

Standard Practice for
Inspection and Acceptance of Installed Reinforced Concrete
Culvert, Storm Drain, and Storm Sewer Pipe¹

Niveaux de service pour la résistance structurale

La norme ASTM
C1840 prend en
considération le
processus
d'autocicatrisation

8.2.7 *Multi-Directional Crack Patterns*—Remediate multi-directional cracks where the damage zone extends over one quadrant (more than 25 % of inside circumference) at a single location and crack widths exceed 0.05 in. [1.5 mm].

8.2.8 Cracks filled with calcium carbonate and not measured larger than or equal to 0.10 in. [3 mm] do not require remediation. Cracks larger than 0.10 in. [3 mm] require further evaluation by the engineer.

8.2.9 Spalling of concrete does not need to be remediated unless the spall exposes structural reinforcement or reduces the concrete cover over the steel reinforcing below acceptable limits of the project specification.

8.2.10 Scaling is indicative of the durability of the concrete under service conditions and the need for remediation shall be evaluated by the engineer.

8.2.11 Slabbing is a serious condition that should be evaluated by the engineer prior to any remediation.

Essai des trois génératrices

Tiré de la norme BNQ 2622-126

D_{0,3}

Appliquer la charge au taux prescrit jusqu'à la formation d'une fissure de 0,3mm de largeur sur une longueur continue de 300mm ou plus et une profondeur minimale de 1,5mm, mesurée parallèlement à l'axe de la conduite.

Cette première fissure n'atteint pas les aciers d'armature. La fissure de 0,3mm est un critère d'essai pour des conduites vérifiées suivant la méthode des trois génératrices et **ne doit pas être considérée comme une indication d'une conduite chargée au-delà de sa limite ou d'une conduite ayant failli dans des conditions d'installation.**

D_{ultime}

La charge totale qui est nécessaire pour obtenir la rupture (lorsque la conduite ne peut plus supporter une charge supplémentaire).



La forme des fissures est importante

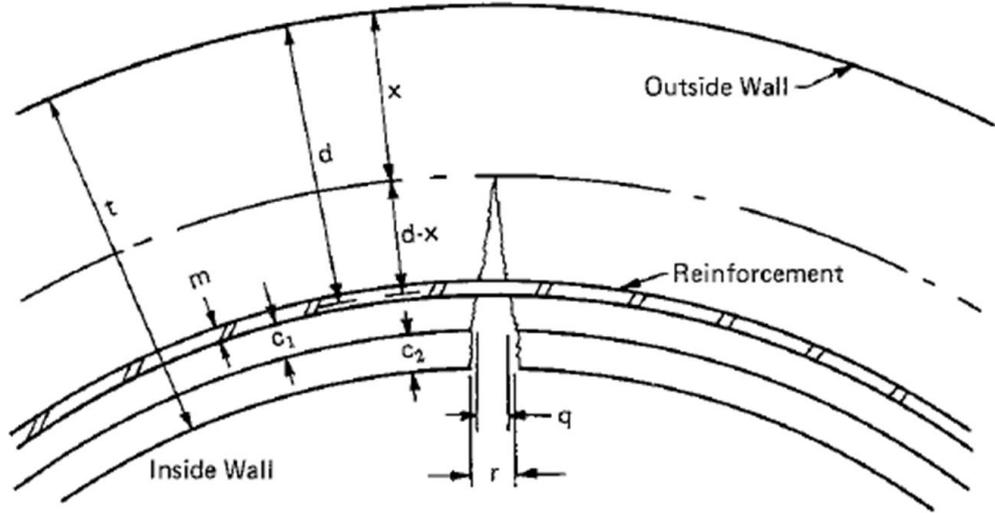


Figure 1. Geometric relationships of cracks.

**Relation entre la largeur de la fissure et sa profondeur.
Pas de lien entre l'essai de chargement en laboratoire et les performances en chantier.**

Le projet de recherche avec
l'Université de Sherbrooke
visait:

Documenter le processus
d'autocicatrisation

Documenter l'étanchéité de la
zone cicatrisée



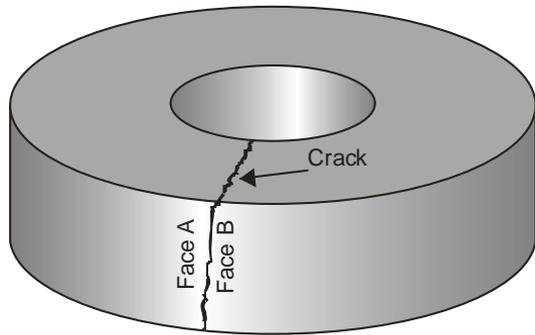
Évaluation en laboratoire du potentiel d'autocicatrisation de tuyaux de béton armé



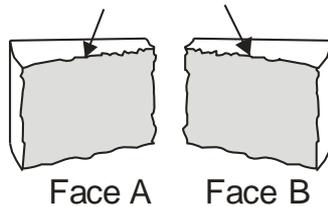
Mécanismes de l'autocicatrisation

Deux principaux mécanismes

- Formation de calcite (CaCO_3) par carbonatation de la Portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)
- Hydratation des grains de ciment non hydratés le long de la fissure



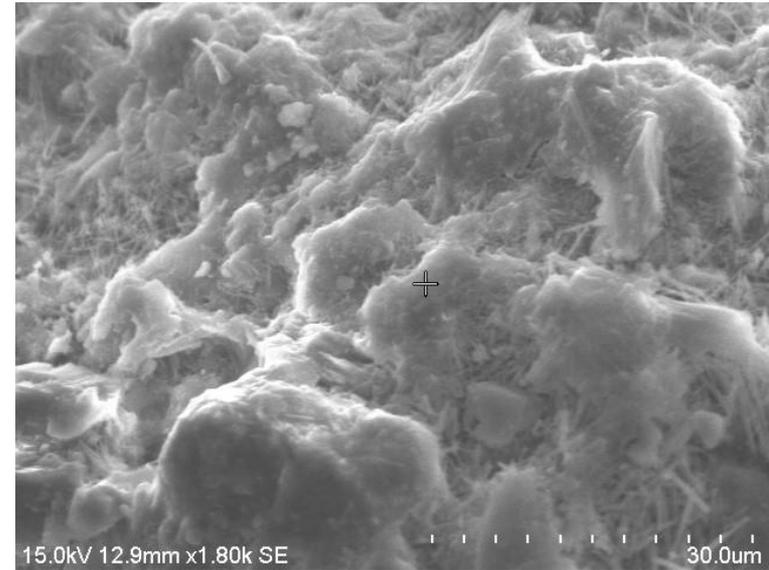
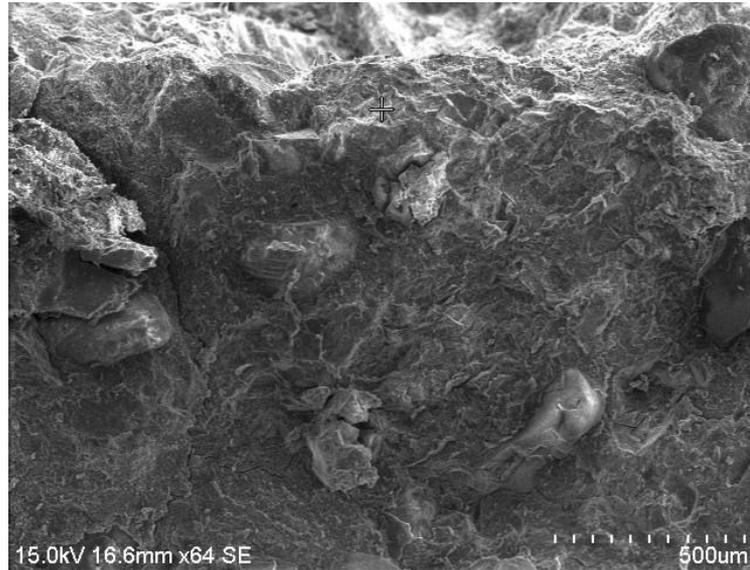
Internal crack surfaces



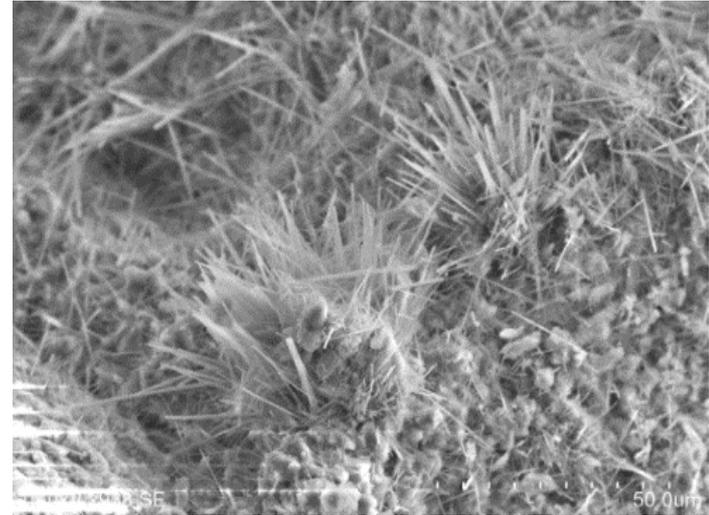
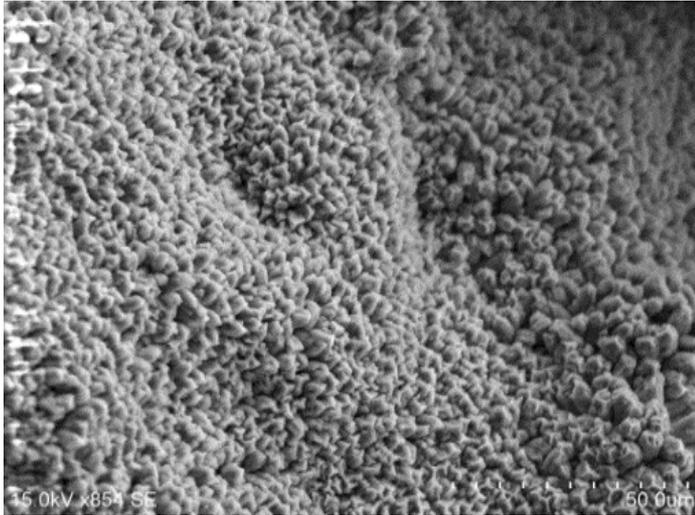
SEM & XRD
on fresh surfaces

Étude avec des
fissures d'ouverture
constante

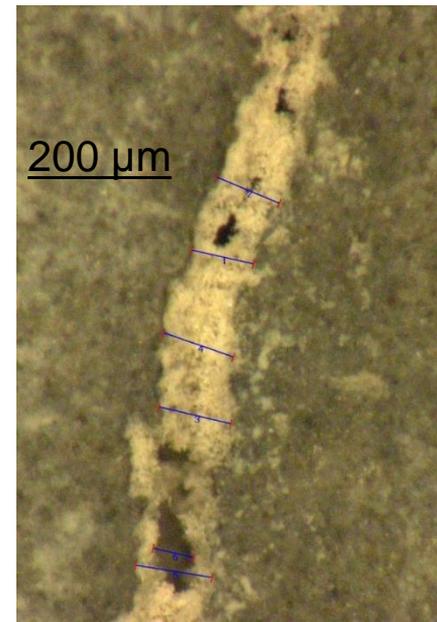
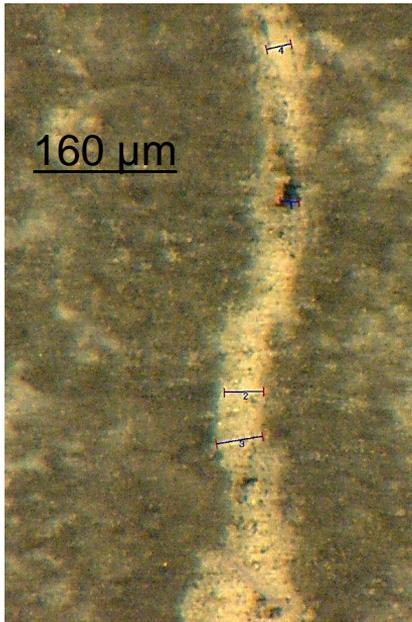
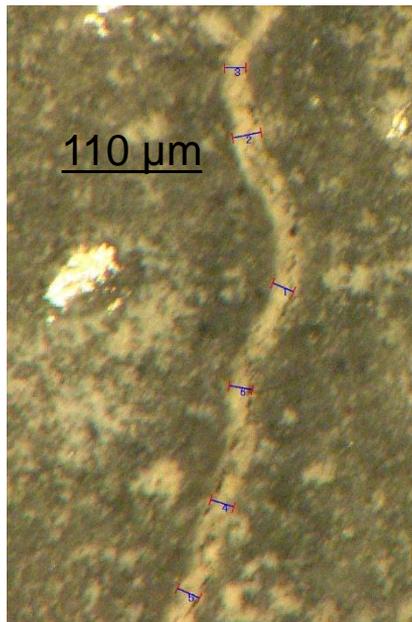
Aspect typique de la surface interne d'une fissure fraîche



Aspect typique des produits d'autocicatrisation sur les parois interne d'une fissure



Aspect typique externe des produits d'autocicatrisation dans une fissure



[Argouges, 2012]

Étude de l'autocicatrisation des fissures dans des TBA

- 6 Tuyaux de 450 mm
- Ciment Gu
- Ouverture maximale des fissures comprise entre 0,2 mm et 1,5 mm
- Deux phases de travaux:
 - Charge hydraulique de 10 cm
 - Charges hydrauliques de 1 m et 3 m

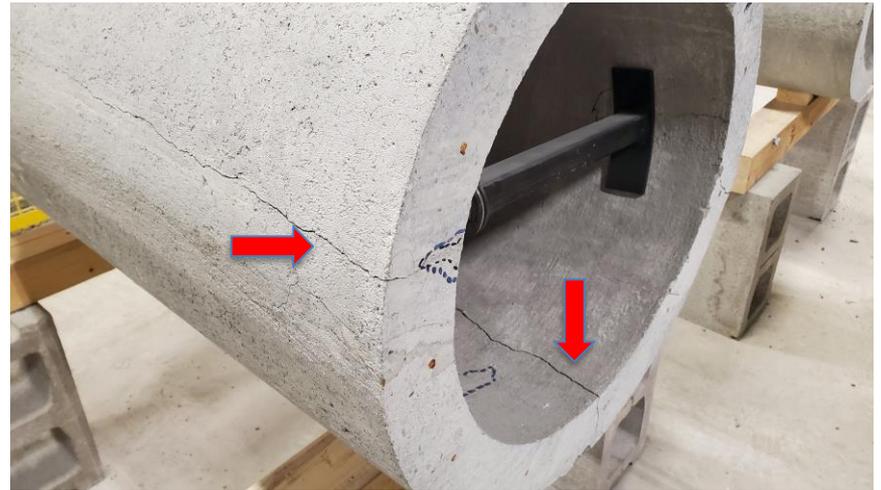
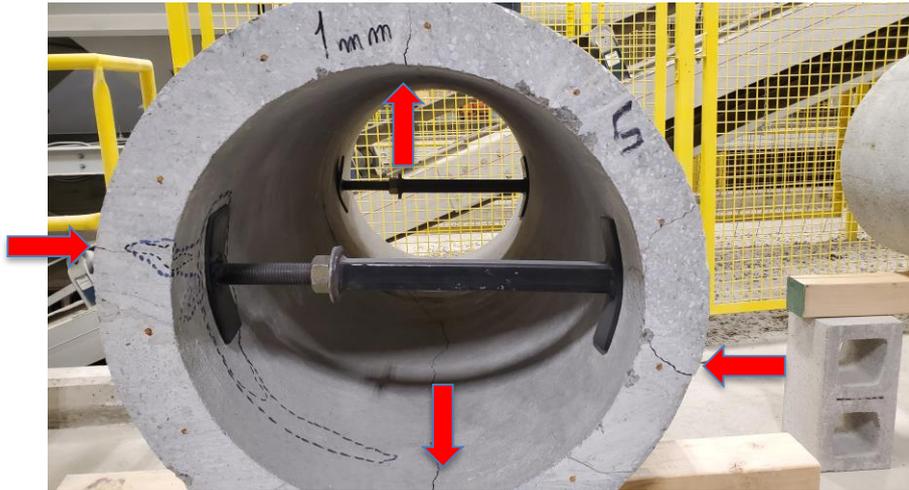
10 cm

Charge hydraulique

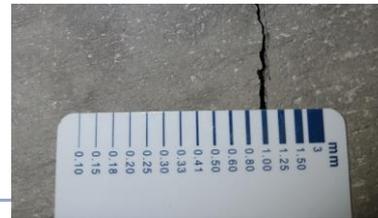
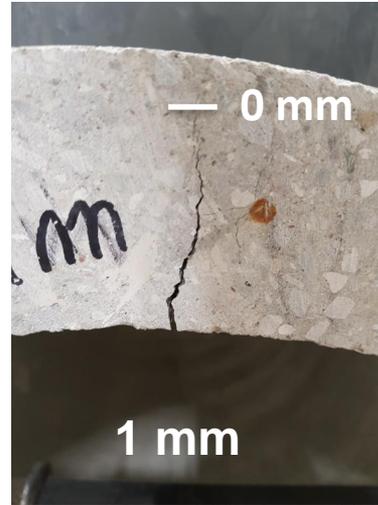
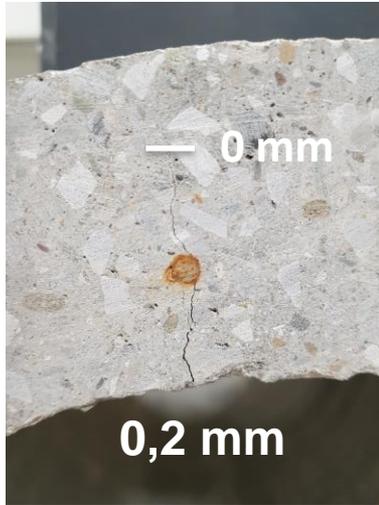
1 m et 3 m
(1,4 et 4,3 psi)



Deux écarteurs ajustables pour produire un état de fissuration déterminé

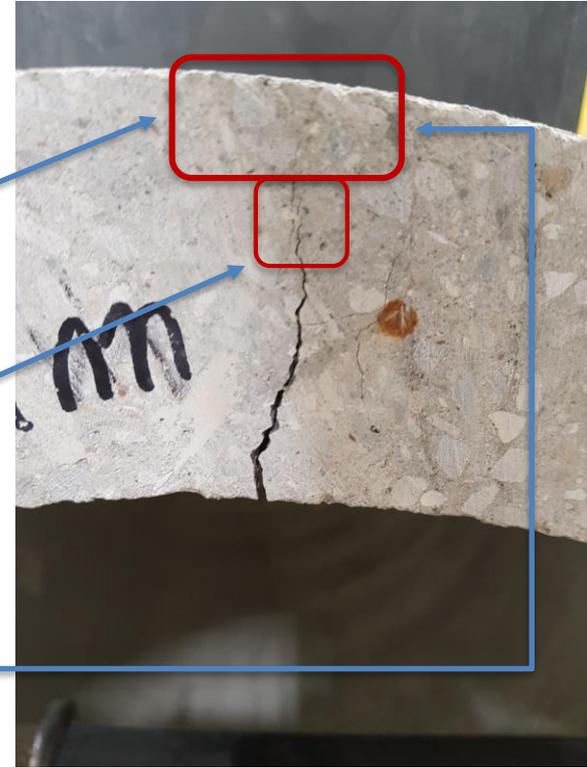


Fissures d'ouverture variable et non traversantes



La fermeture de la fissure dans la zone comprimée engendre une zone ayant un grand potentiel d'autocicatrisation

- Réservoir de réactifs pour les produits d'autocicatrisation
- La très fine pointe de fissure est favorable pour l'autocicatrisation
- Imperméabilité intrinsèque de la zone non fissurée !

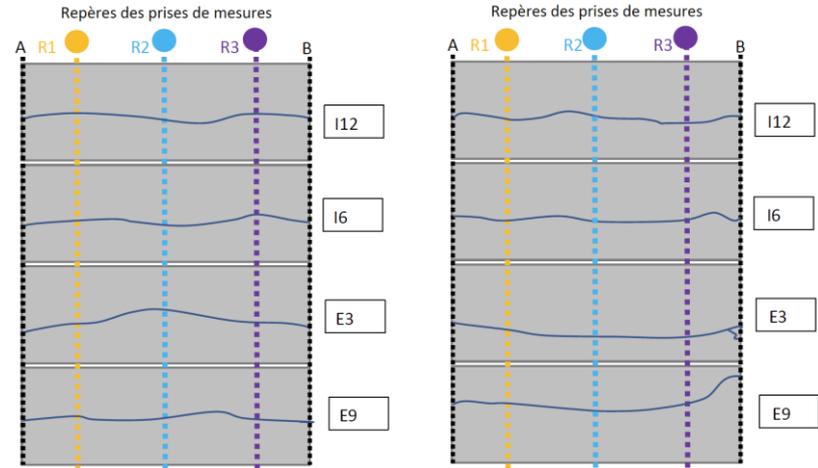
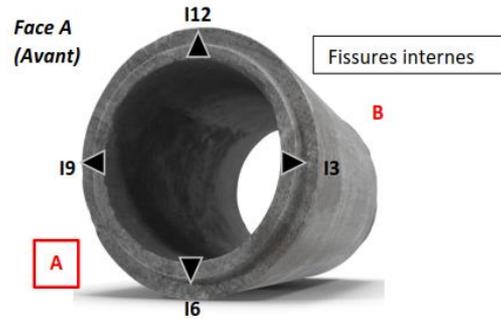
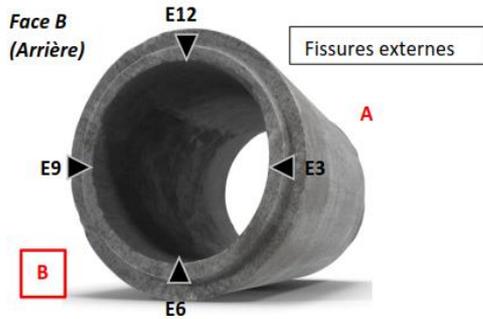


Charge hydraulique de 10 cm

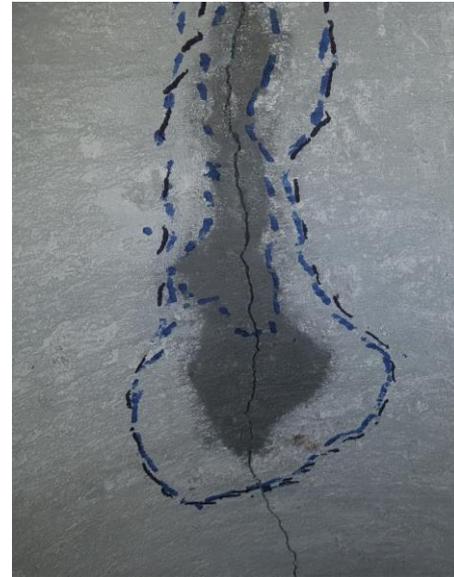
Procédure expérimentale



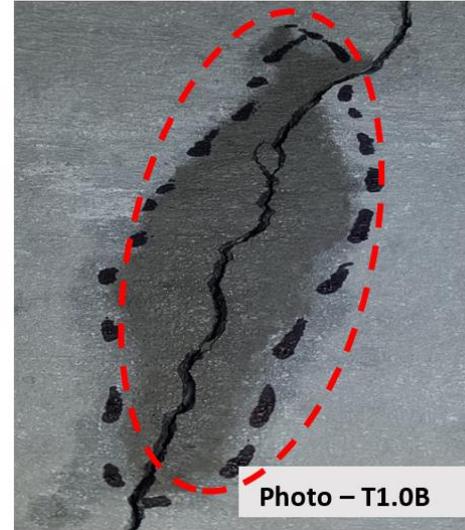
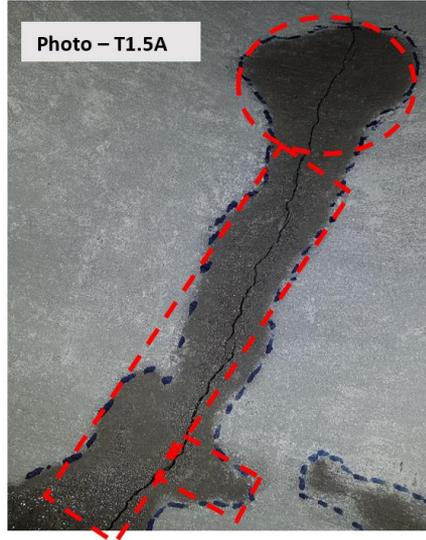
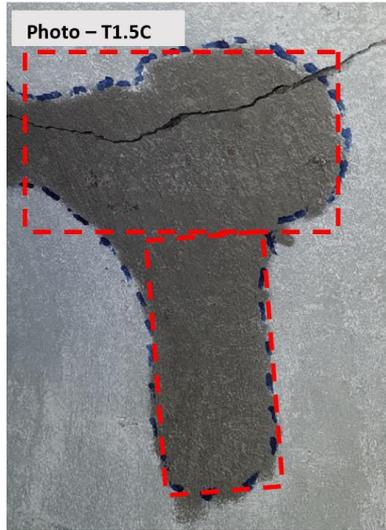
Cartographie et mesure des fissures



Évolution de la surface des taches en fonction du temps

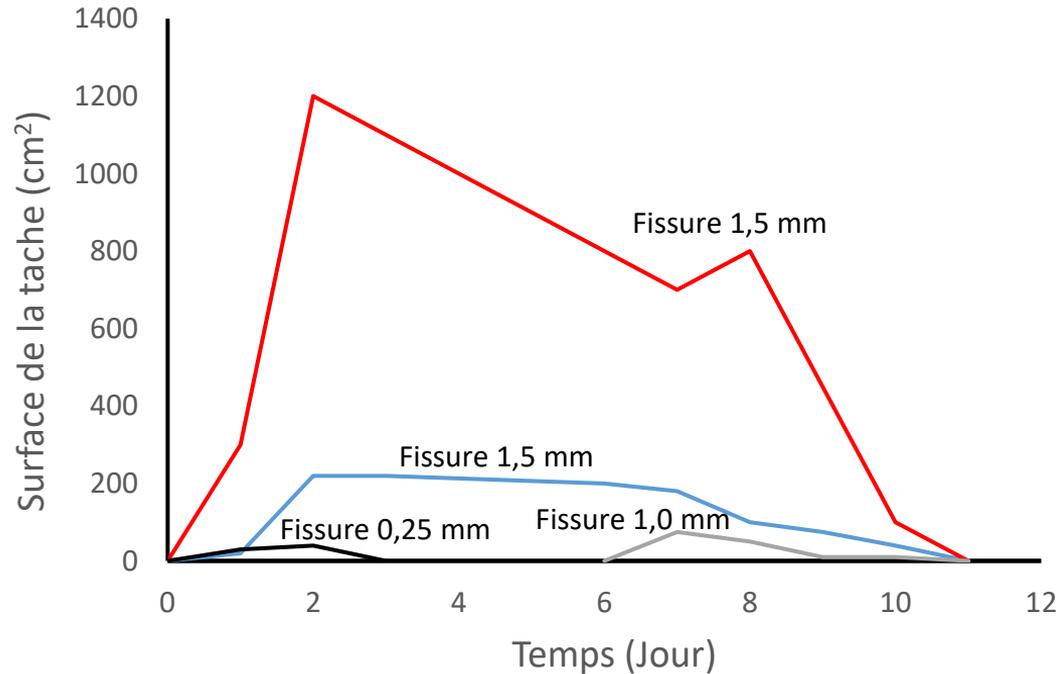


Assimilation géométriques des taches humides pour caractériser l'évolution de l'infiltration



Cinétique de l'autocicatrisation en fonction de l'ouverture de la fissure

Charge hydraulique de 10 cm



Autocicatrisation sous une faible charge hydraulique

- Autocicatrisation démontrée pour des fissures jusqu'à 1,5 mm d'ouverture intérieure
- La **fermeture en pointe de fissure** est une caractéristique géométrique favorable et **essentielle** pour l'autocicatrisation
- Colmatage complet  protection des aciers d'armature

- Un des six tuyaux du projet sur l'autocicatrisation en cours à l'Université de Sherbrooke a été carotté
- Fissure de 1,5 mm
- La fissure autocicatrisée n'est plus détectable dans la couche externe du tuyau

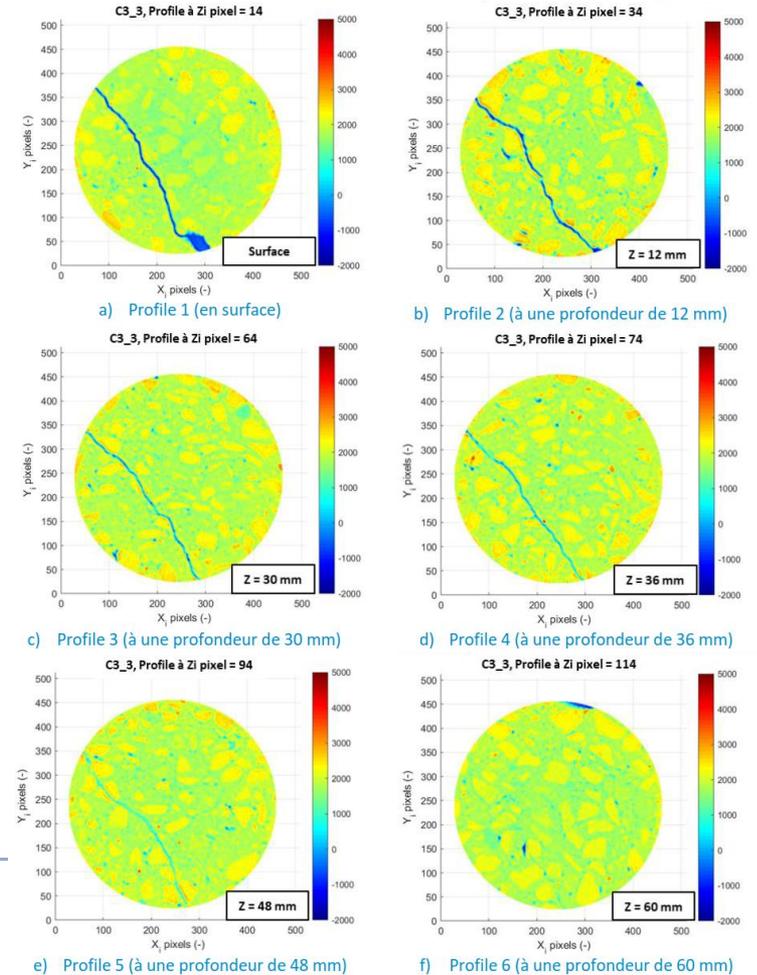
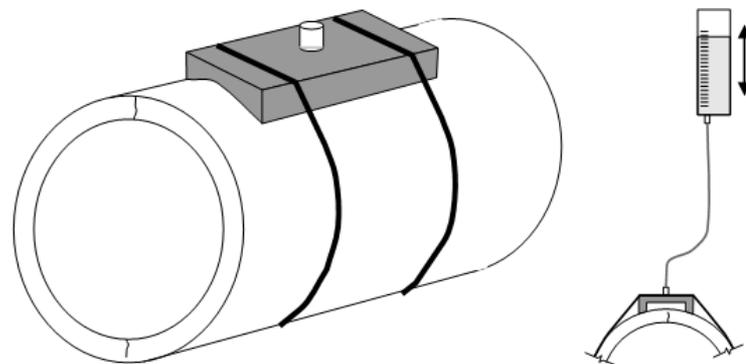


Figure 11 – Progression de la fissure sur la profondeur de l'échantillon

Caractérisation de l'autocicatrisation sous des charges hydrauliques de 1 m et 3 m

- Développement d'une technique expérimentale pour un suivi quantitatif de l'autocicatrisation
- Deux niveaux de charge hydraulique
 - 1 m
 - 3 m



Mesure du débit d'infiltration (mL/h) sur une longueur de 250 mm de fissure



Mesure du débit d'infiltration

Réserve d'eau pour la charge hydraulique de 1 m



Calibration des tubes pour la mesure du volume d'eau infiltré



1,24 mL / cm

Mesure du débit d'infiltration

- **Procédure simple et fiable**
 - Aucune fuite à l'interface plaque-béton
 - Mesure précise du débit d'infiltration
 - Équipement robuste
- **Le débit d'infiltration est exprimé en mL/h**
 - Volume d'eau (mL) qui entre dans la plaque de transfert divisé par le temps d'infiltration (h)
 - Mesures ponctuelles
- **Échelle de temps variable en fonction des conditions d'essai**
 - 15 minutes
 - 1 heure
 - 1 nuit
 - 2 jours

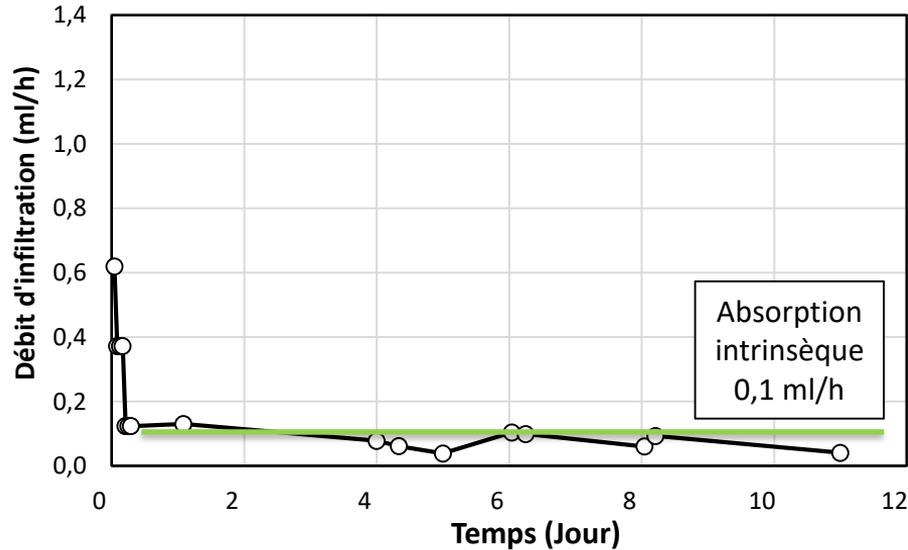
Programme des essais

- 1. Mesure du débit d'infiltration dans une zone non fissurée**
 - Absorption par le béton : cinétique de base de l'absorption
- 2. Débit d'infiltration d'un tuyau déjà autocicatrisé sous la charge hydraulique de 10 cm**
 - Fissure de 1 mm
 - Charges hydrauliques de 1 m et de 3 m
- 3. Débit d'infiltration dans une fissure de 0,3 mm à 3 m de charge hydraulique**
- 4. Débit d'infiltration dans une fissure de 1 mm**
 - Charge initiale de 1 m
 - Charge finale de 3 m
 - Refissuration à 1,5 mm
- 5. Débit d'infiltration dans une fissure de 1 mm à 3 m de charge hydraulique**

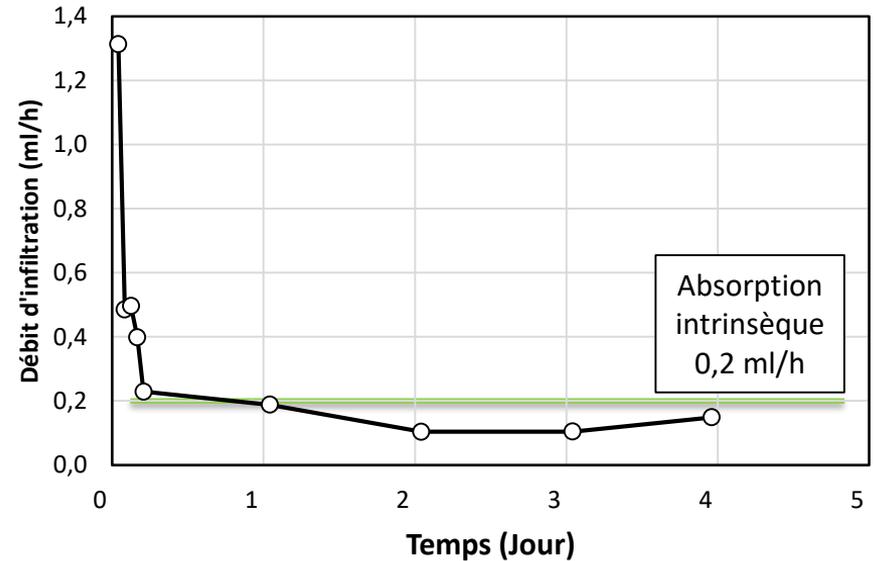
Débit d'infiltration dans la matrice du béton

Charge hydraulique

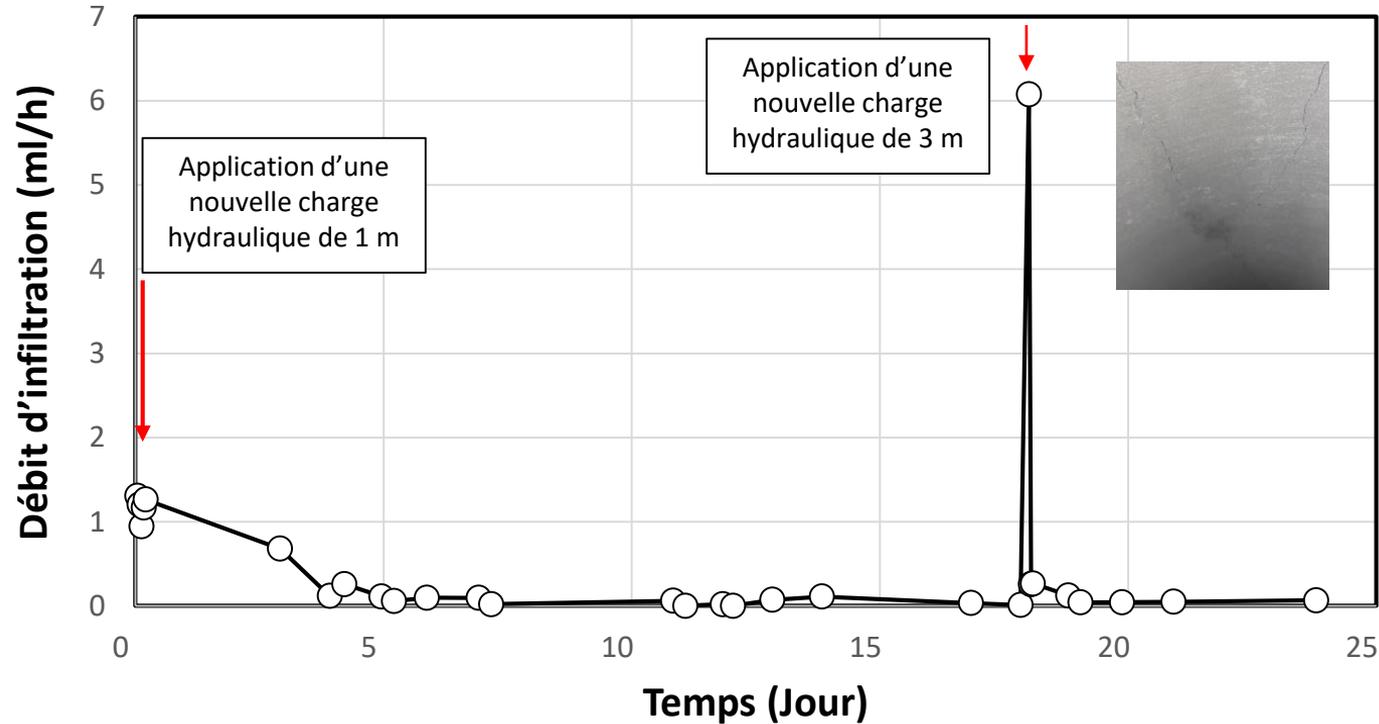
1 m



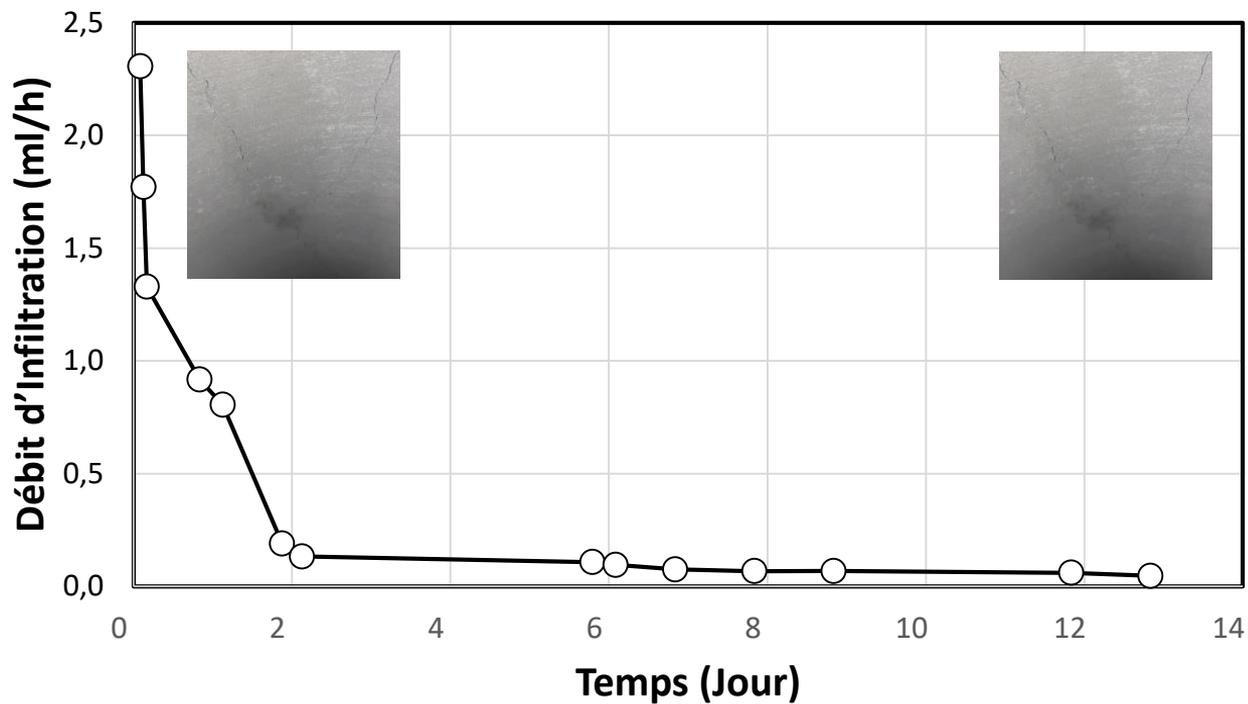
3 m



Fissure de 1 mm déjà autocicatrisée à 10 cm de charge hydraulique

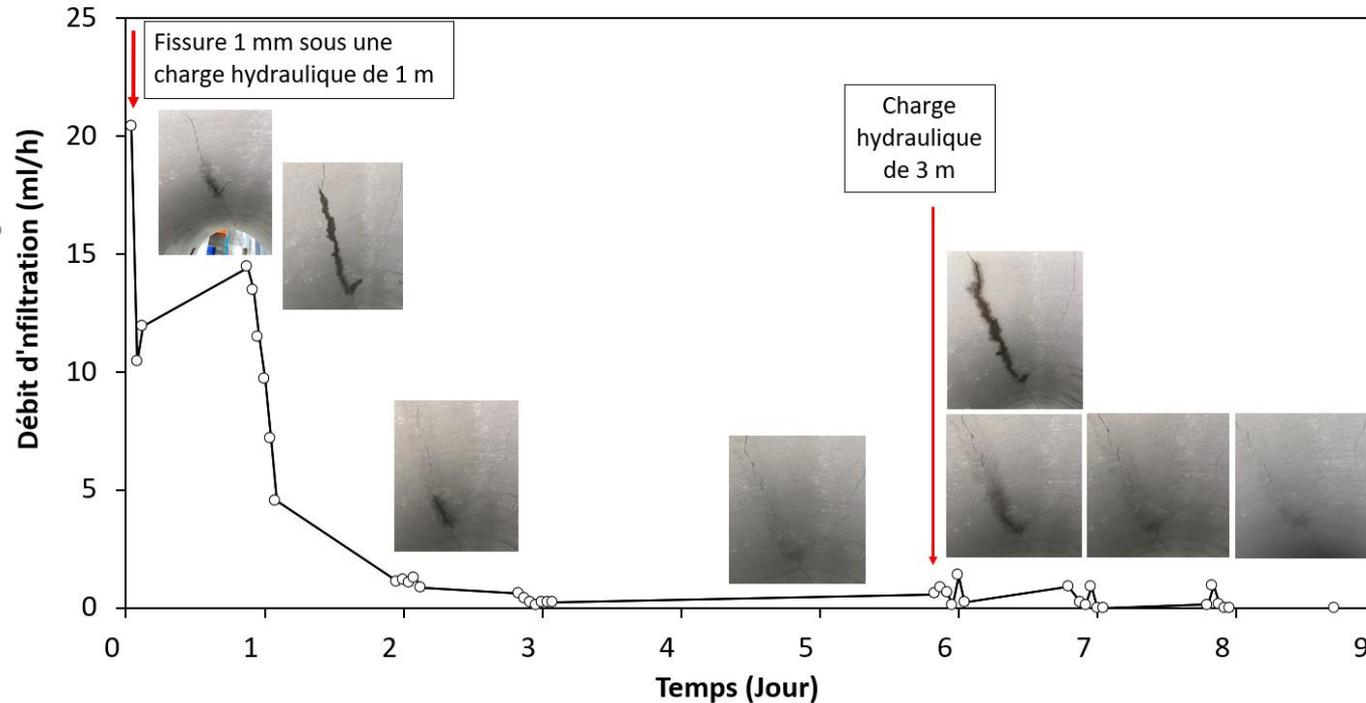


Fissure de 0,3 mm sous une charge hydraulique de 3 m



Fissure de 1 mm

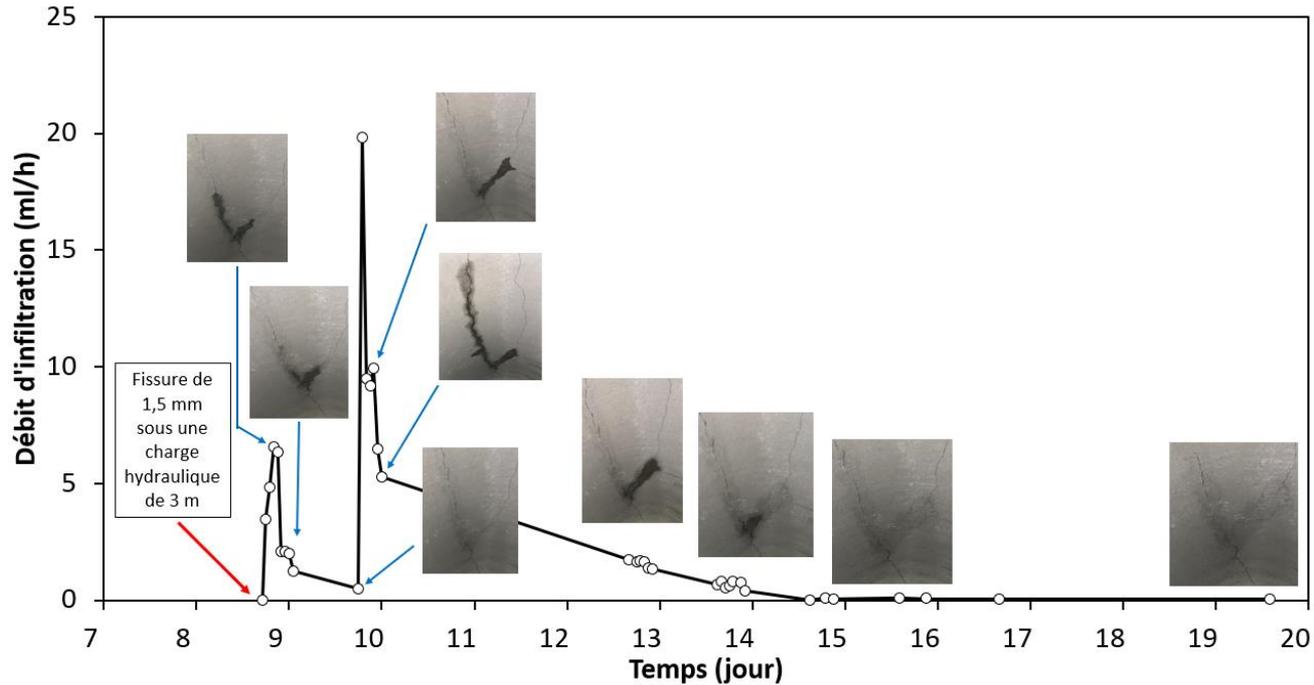
Charge hydraulique de 1 m suivie d'une charge hydraulique de 3 m



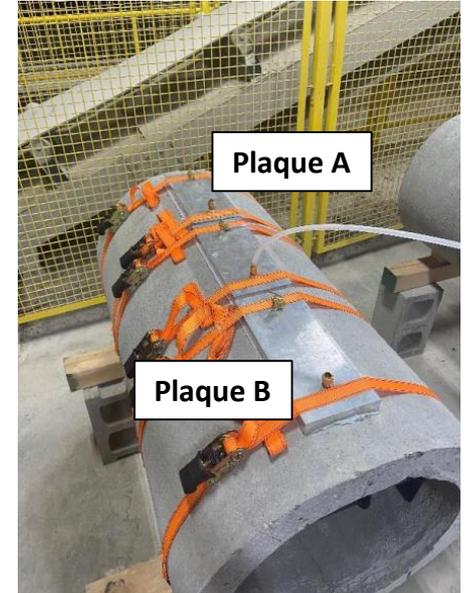
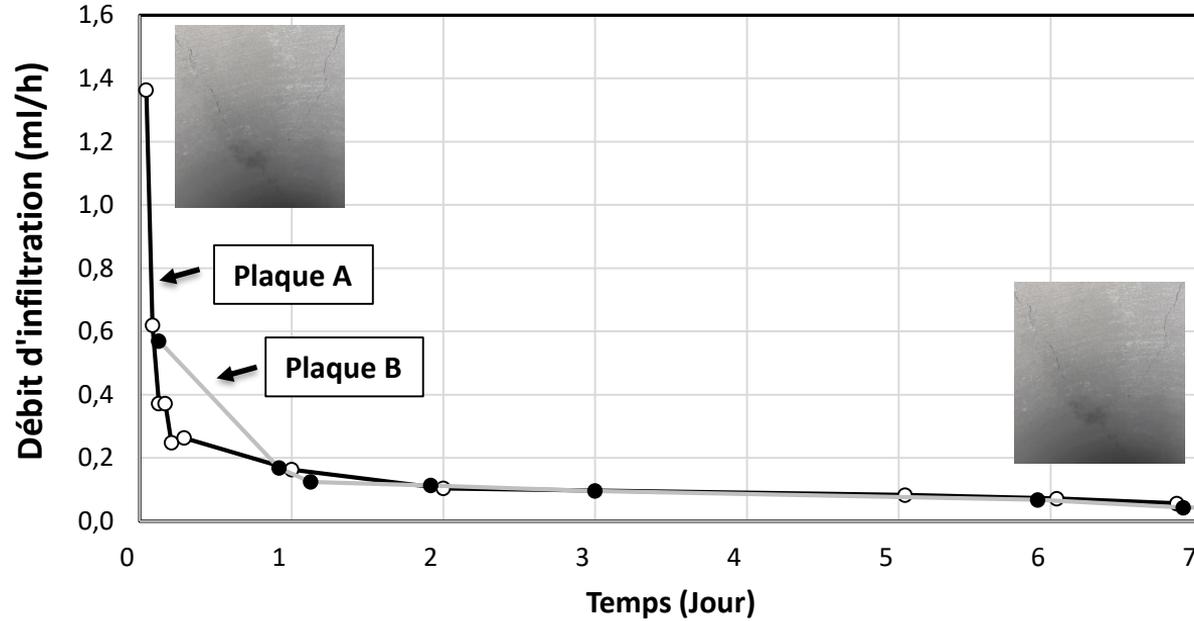
Fissure de 1 mm autocicatrisée à 8 jours sous 3 m de charge hydraulique



Refissuration à 1,5 mm



Fissure de 1 mm sous 3 m de charge hydraulique



Conclusions

- Les tuyaux et les éléments en béton préfabriqué ont un historique, des données disponibles, pour un éventail très large d'utilisation et de conditions de service. Leur performance en service est fiable
- L'inspection TV permet de valider l'état structural pour l'acceptation des travaux d'installation des TBA
- L'acceptation nécessite des connaissances variées et approfondies des matériaux, de leur fonctionnement et de leur comportement dans des environnements donnés
- Le potentiel d'autocicatrisation a été démontré pour des fissures ayant jusqu'à 1,5 mm d'ouverture intérieure
- L'étanchéité des fissures colmatées a été validée sous des charges hydrauliques de 1 m et de 3 m
- Éventuellement, une proposition d'ajout du terme «cicatrice» est envisagée auprès de NASSCO afin de mieux décrire ce processus lors d'inspections TV



50 ans en 2020!



MEMBRES DE L'ASSOCIATION

Réalisation des essais et
analyse des résultats

Léanne Pilon
et
Stanislas Pothier

Étudiants stagiaires au
département de génie civil et
de génie du bâtiment de
l'Université de Sherbrooke



TUBECON.QC.CA