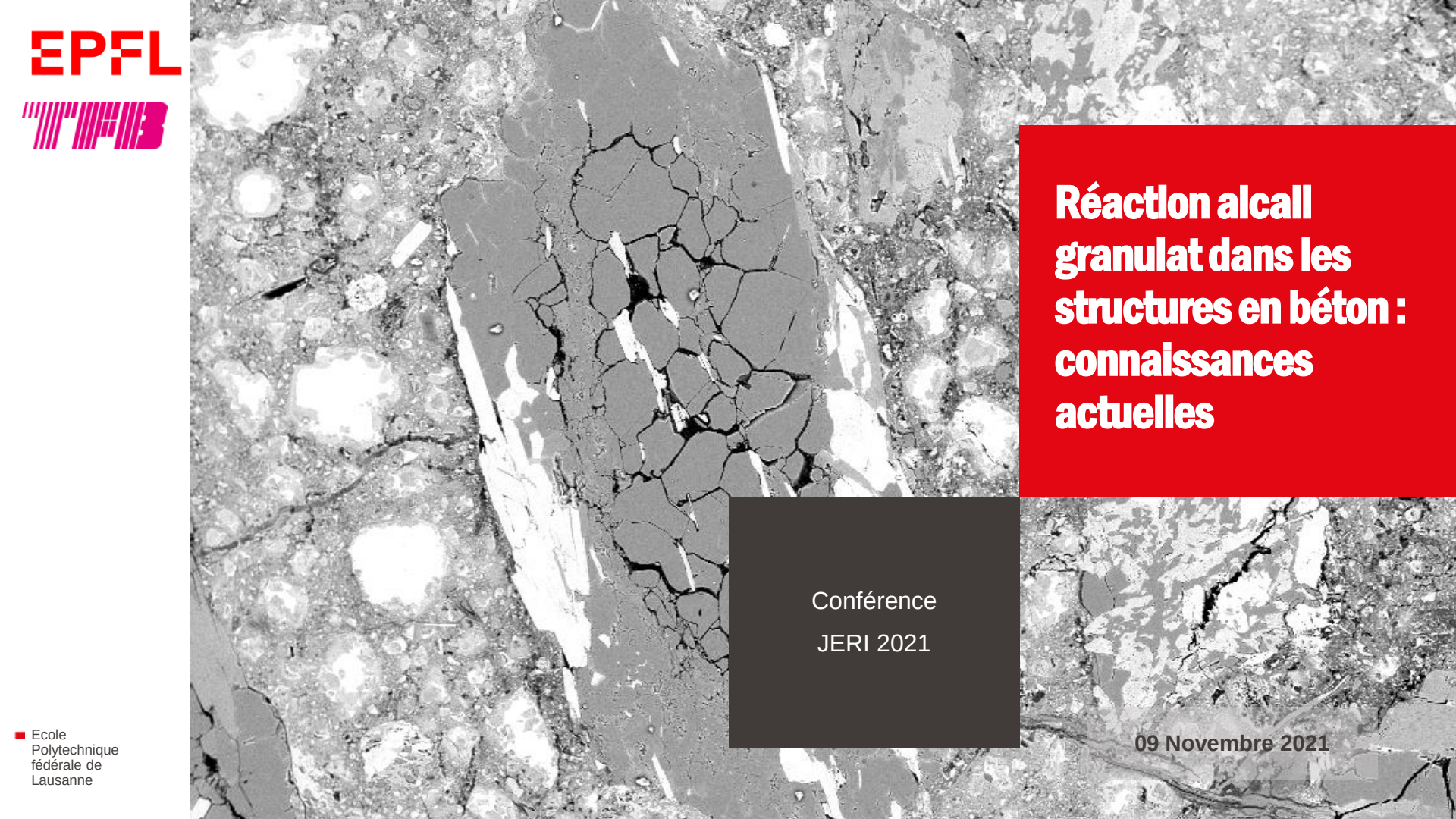




**EPFL**



# **Réaction alcali granulat dans les structures en béton : connaissances actuelles**

Conférence  
JERI 2021

09 Novembre 2021

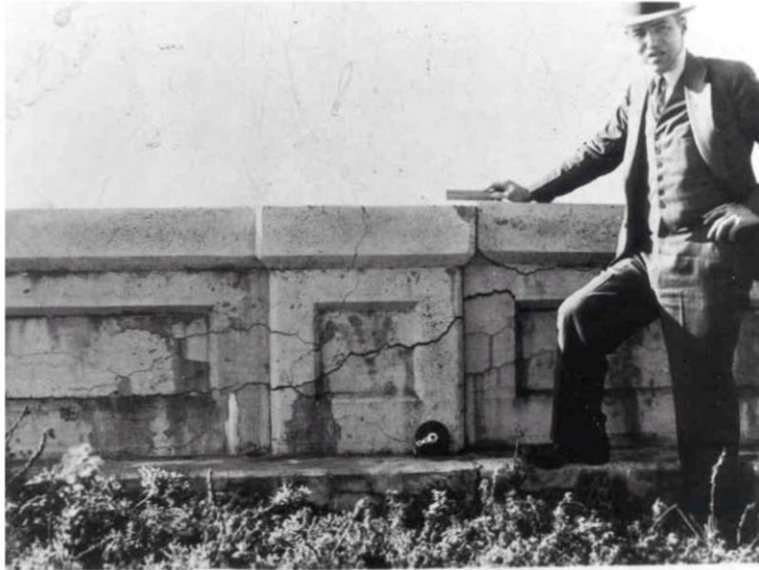


Figure 1.1. Thomas Stanton of the California State Division of Highways and a Bridge Parapet Wall that is Showing Signs of Damage due to Alkali-Silica Reaction

# Réaction Alcali Granulat (RAG) dans les structures en béton : connaissances actuelles

L. Sofia, T. Chappex

# Laboratoire des Matériaux de Construction (LMC – EPFL)

## Professeure Karen Scrivener



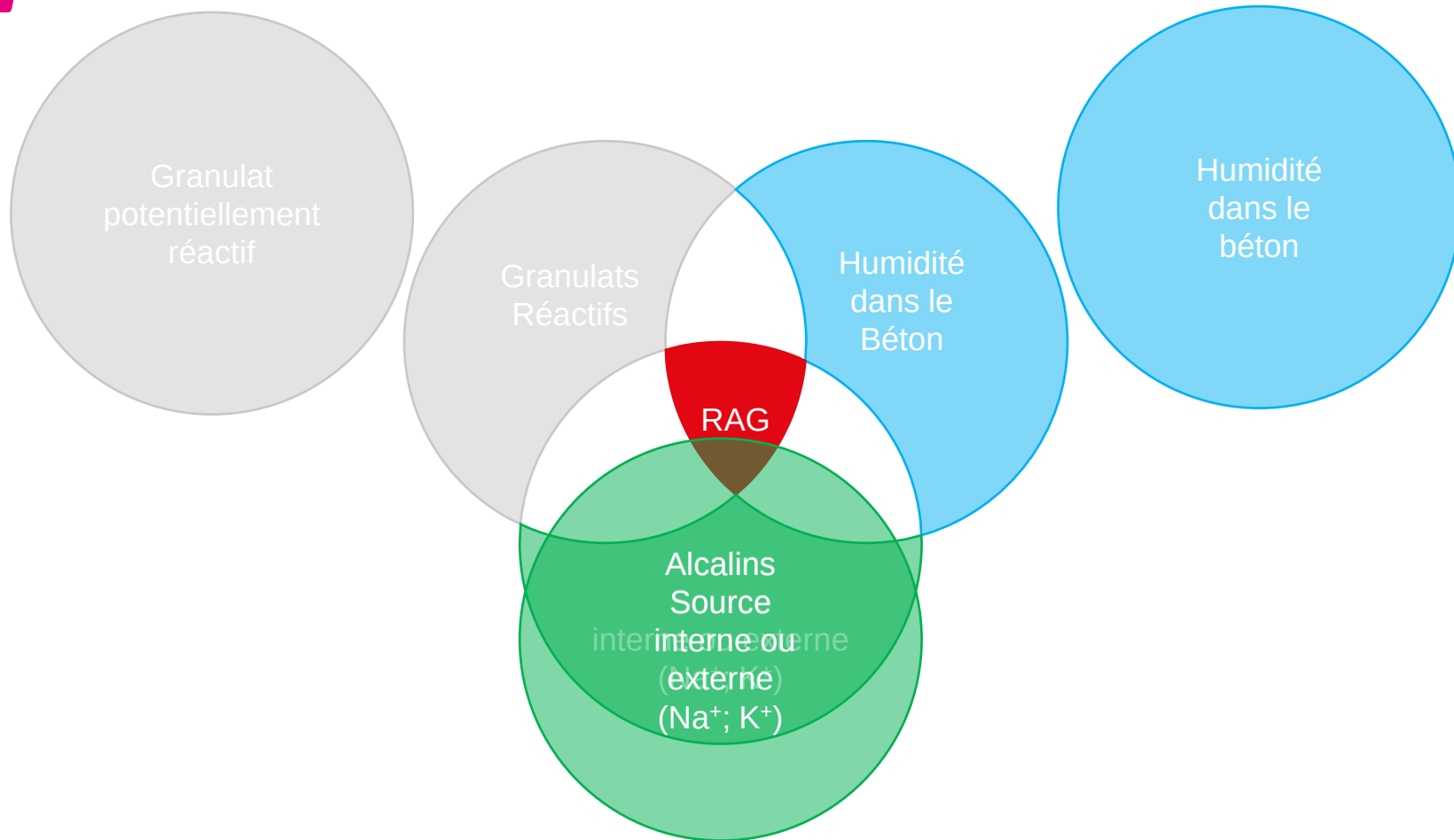
- Travaux de recherche : 7 thèses
- Articles scientifiques : > 20
- Collaboration avec Rilem, EMPA, TFB, etc...
- Travaux pour l'OFEN, entreprises et bureaux d'étude

*Rilem: Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages)*

# Sommaire

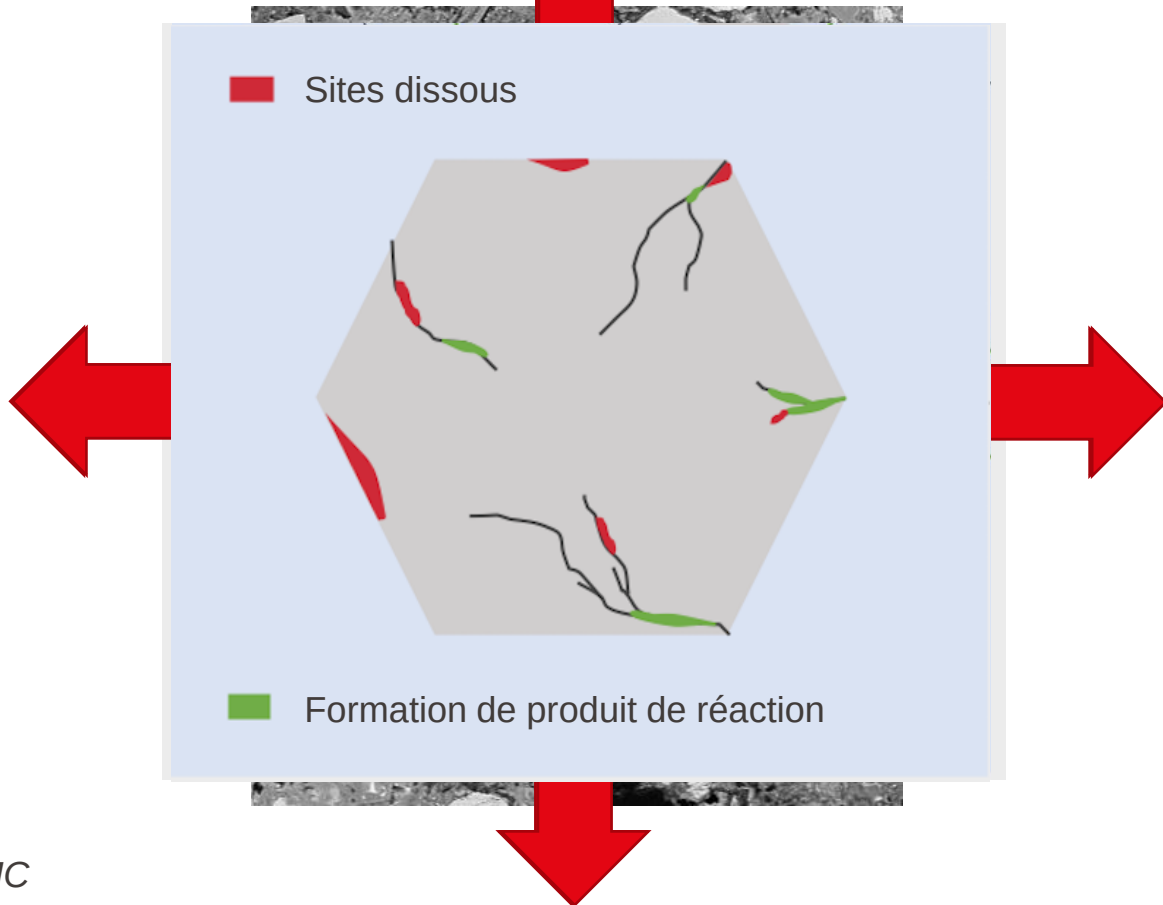
- Réaction Alkali-Granulat (RAG) ?
- Que faire pour limiter le phénomène ?
- Surveillance des ouvrages
- Conclusion

# Qu'est ce que la réaction alcali granulat?



# Que se passe-t-il?

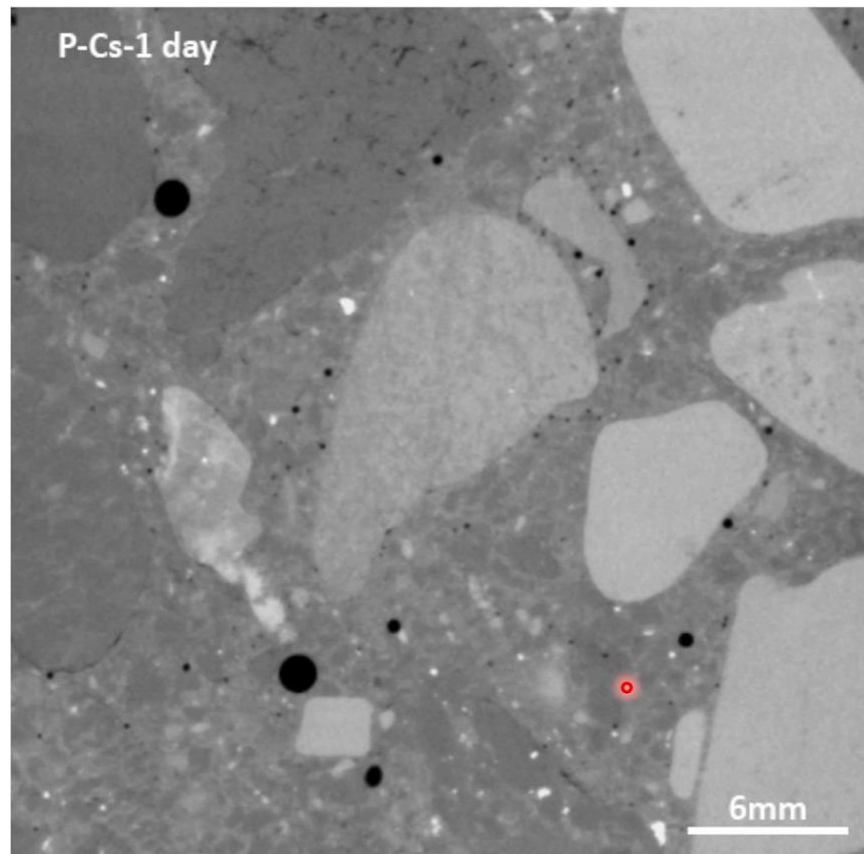
Granulat standard au microscopie électronique à balayage (MEB)



Source: LMC

# Que se passe-t-il?

Expansion RAG entre 1 et 250 jours en laboratoire



Source: Mahdiah Shakoorioskooie – EMPA – Concrete and Asphalt Laboratory



# Conséquences sur le terrain



Source : AAR Facts Book, Mickael D, A. Thomas, B. Fournier, 2013

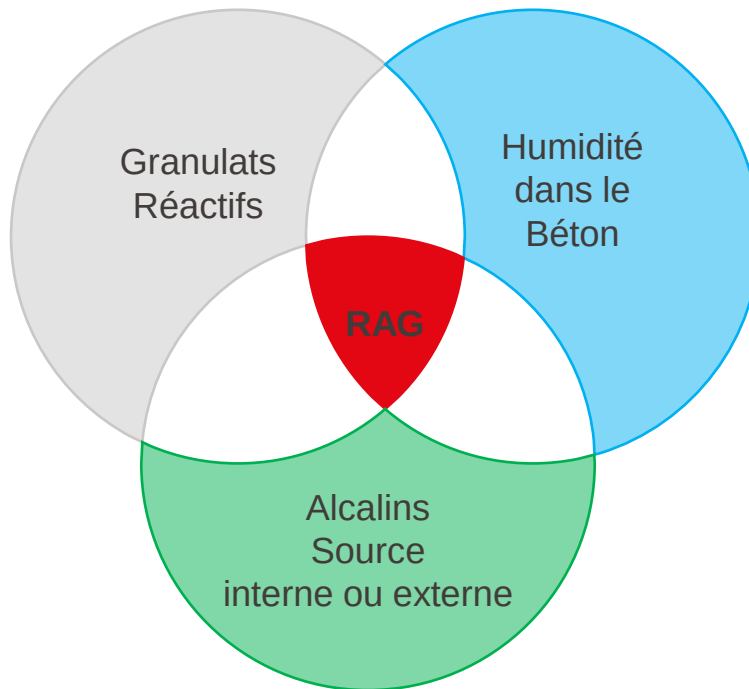


# Conséquences sur le terrain

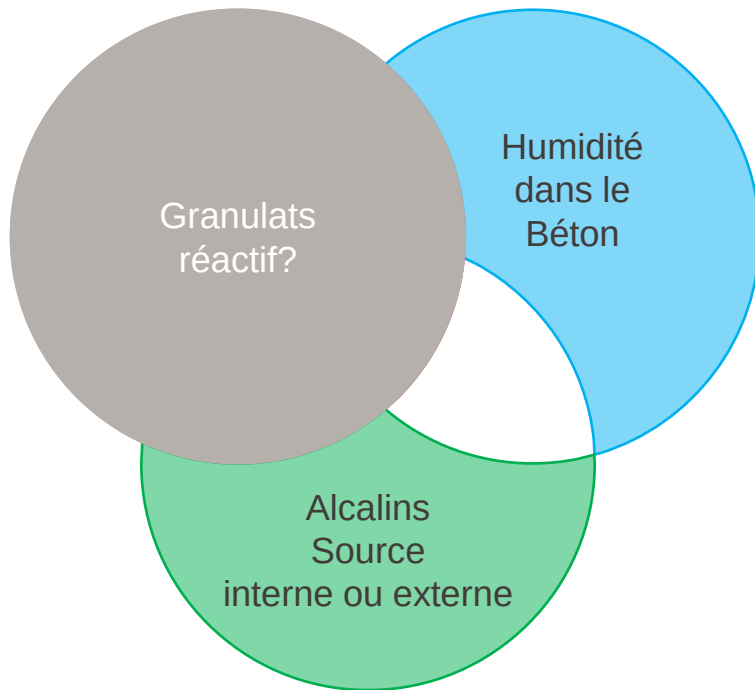
■ JERI 2021 / Réaction alcali granulat dans les structures en béton : connaissances actuelles



# Que faire pour limiter ce phénomène?



# Que faire pour limiter ce phénomène?

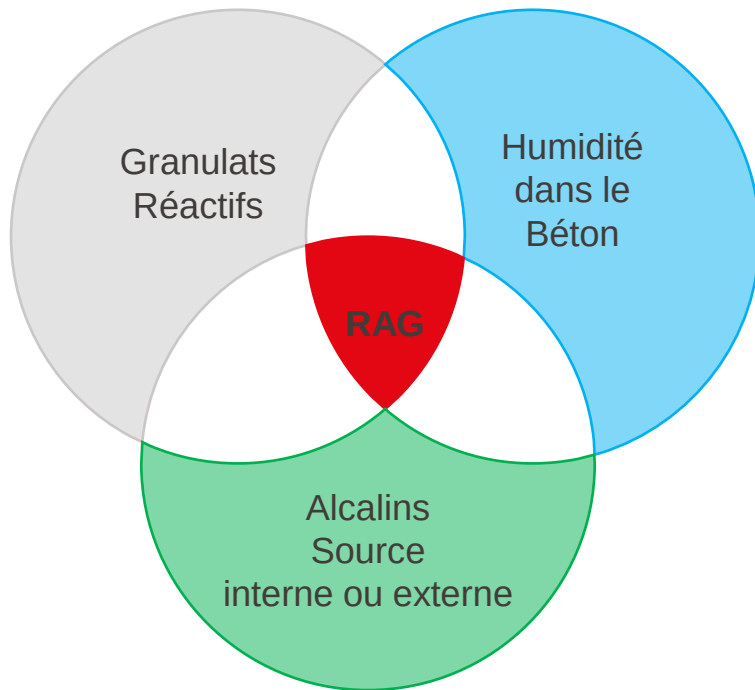


# Contrôle des granulats

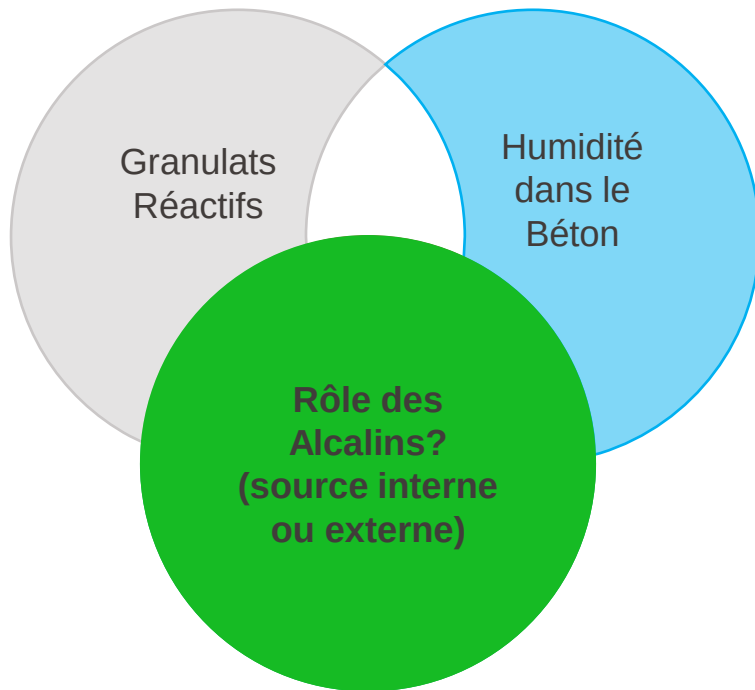
- Pétrographie
- Essai microbar selon SIA MB 2042

**La majorité soit  $\approx 90\%$  des granulats suisses présente une réactivité à la RAG**

# Que faire pour limiter ce phénomène?



# Que faire pour limiter ce phénomène?

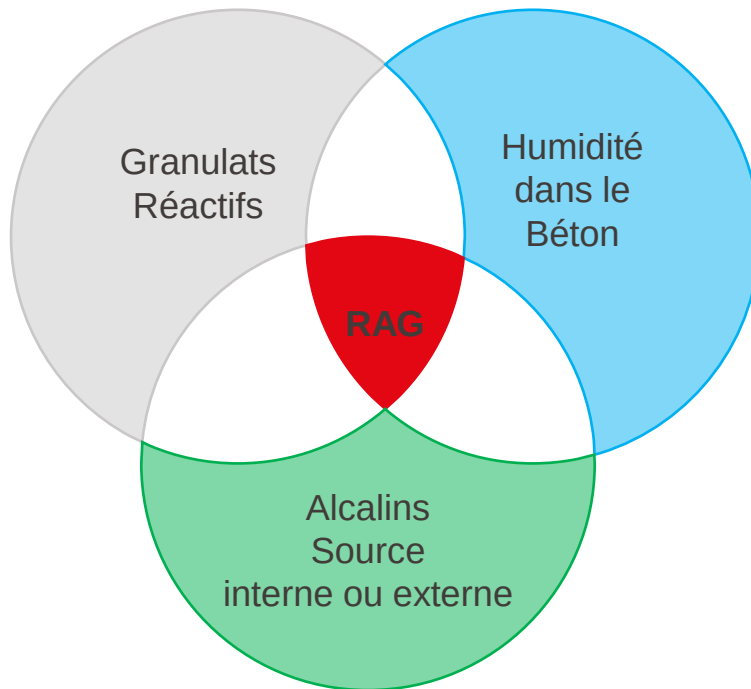




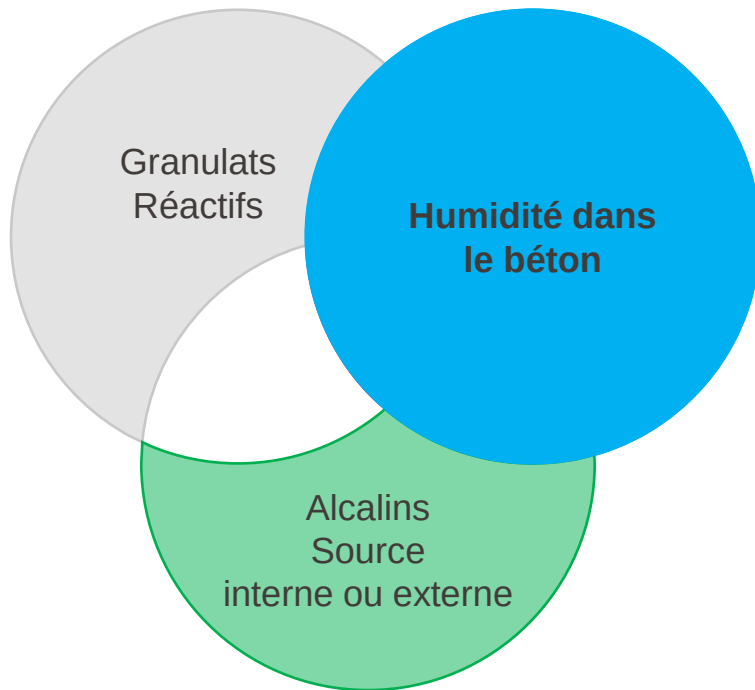
- Une diminution de la teneur en alcalin dans le ciment permet de ralentir l'apparition de dommages liés à la RAG
- Utilisation d'addition minérales
  - Cendres volantes
  - Laitier de haut fourneau
  - Schistes calcinés
- Ciment de type CEM II, CEM III, etc...

Malgré tout, les ciments contiennent suffisamment d'alcalins pour alimenter la RAG dans une structure béton

# Que faire pour limiter ce phénomène?



# Que faire pour limiter ce phénomène?



# Exemple de dégradation lié à un changement d'exposition

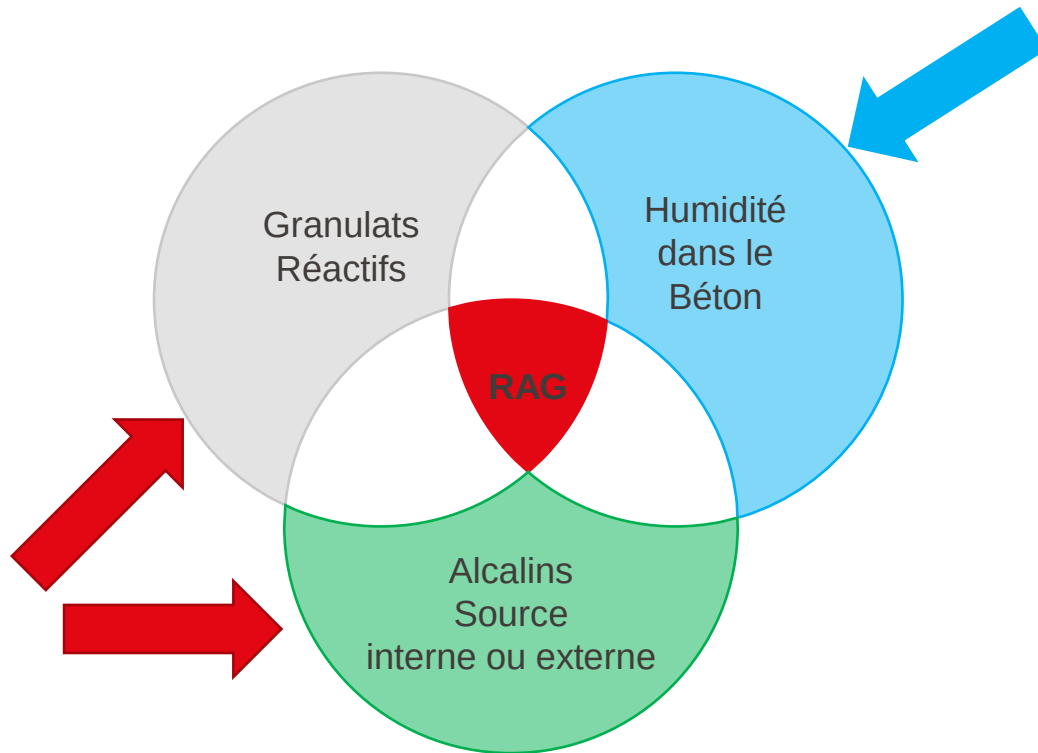
■ JERI 2021 / Réaction alcali granulat dans les structures en béton : connaissances actuelles



# Que faire pour limiter ce phénomène?

EXPOSITION  
PRENDRE EN  
COMPTE

FORMULATION  
A VALIDER



# Comment valider une recette de béton?

■ JERI 2021/ Réaction alcali granulat dans les structures en béton : connaissances actuelles



# Comment valider une recette de béton?

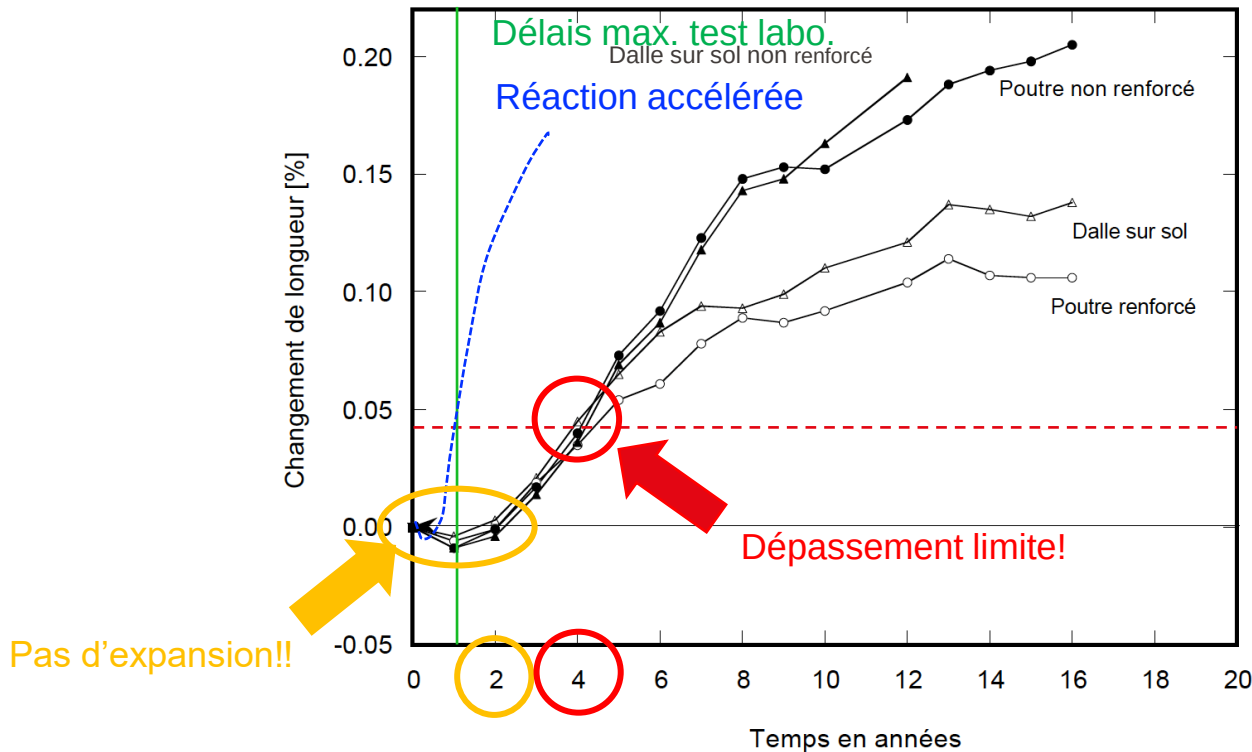


Figure 5. Expansion du mélange 6 (ciment à haute teneur en alcali) dans divers éléments

Source: Preventative Measures for Alkali-Silica Reaction:  
The Kingston Outdoor Exposure Site for ASR - After 16 Years, MERO-031; ISBN 978-1-4249-6748-3



# Exemple



30  
Jours  
30 °C



3  
minutes  
100 °C



Source: Présentation A. Leeman, EMPA

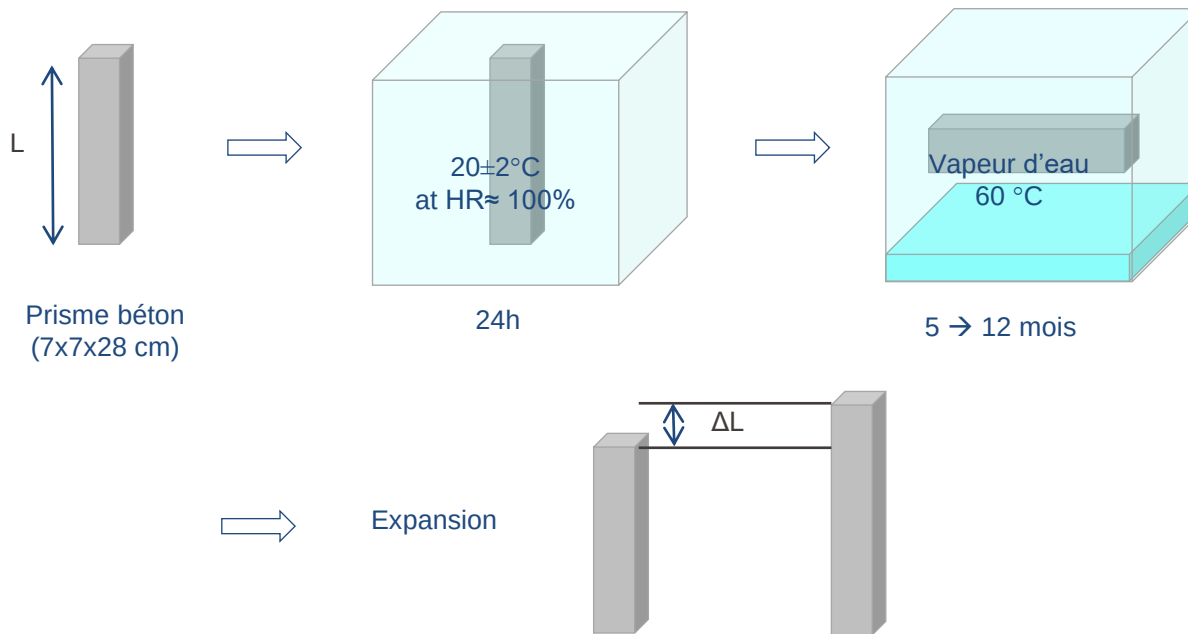
# Que propose les normes suisses?

- Cahier technique **SIA 2042**
- SIA 262-1: 2019 : Annexe G

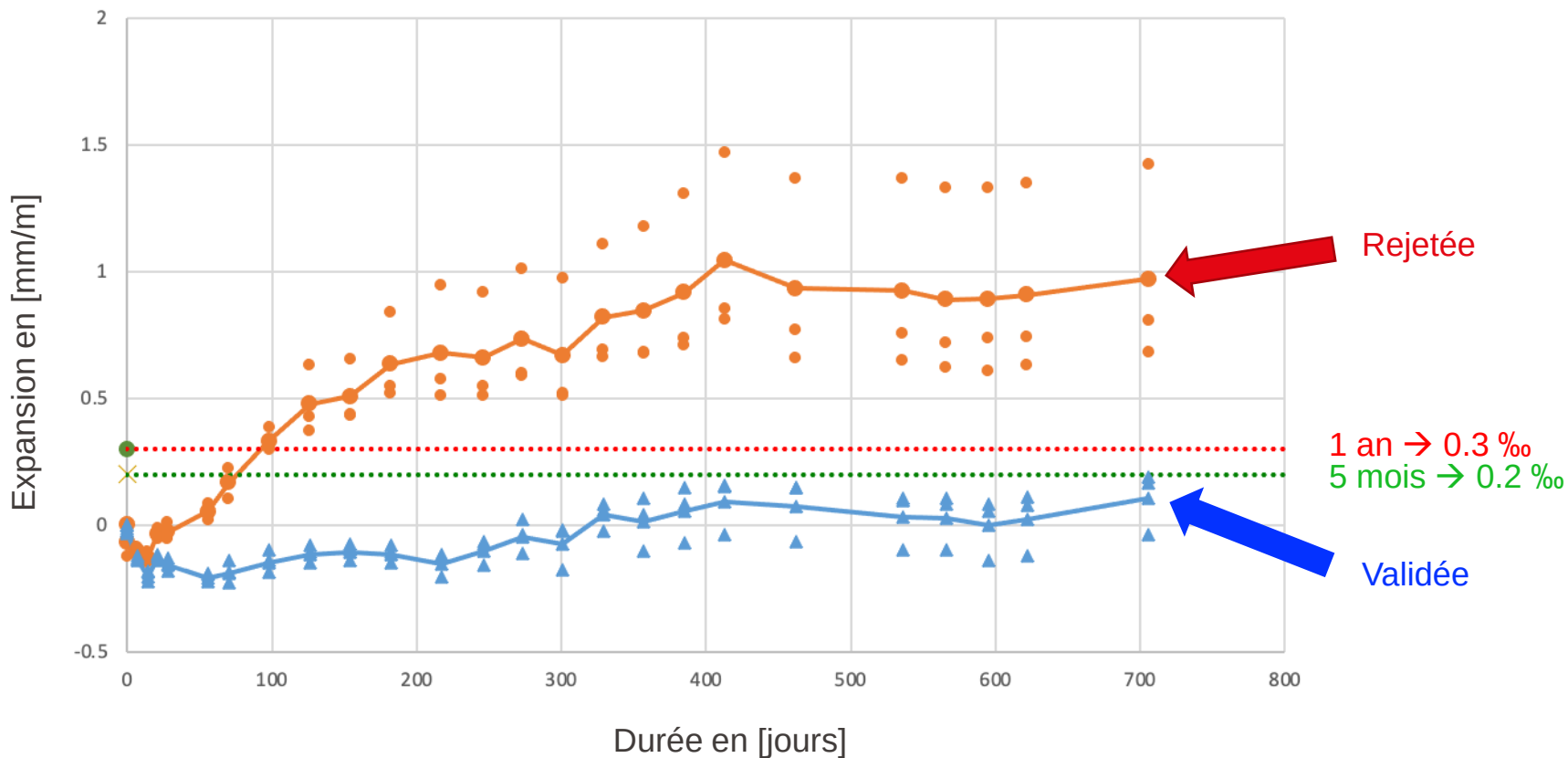
**Essai de performance**

# SIA 262-1 – Essai de performance?

**Béton (0/20): 0.8 %  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$**



# SIA 262-1 – Essai de performance?

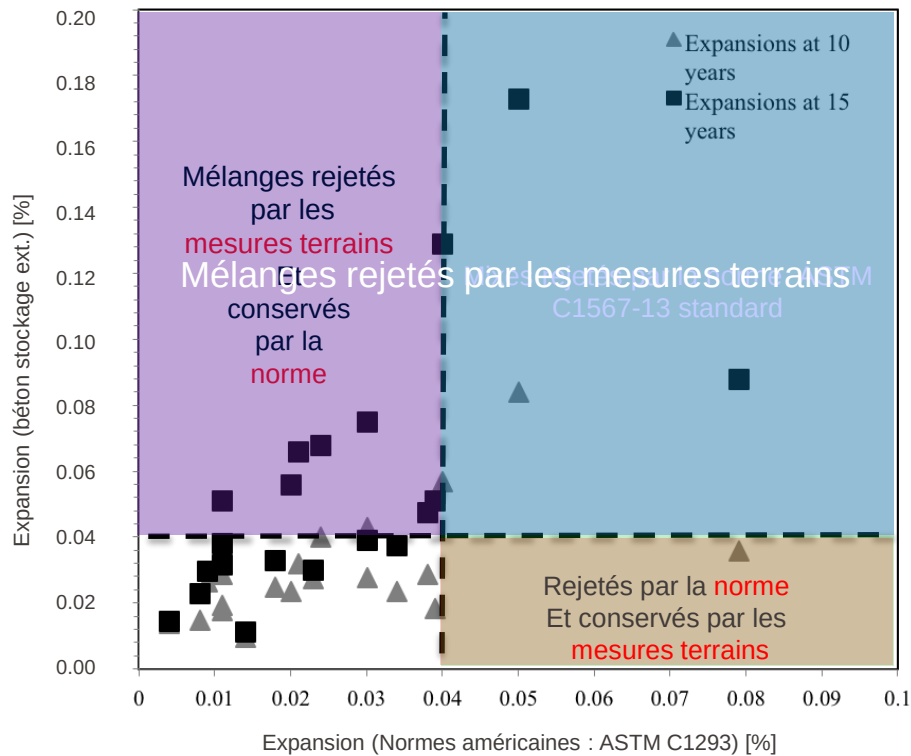


# Limites des normes



as at Austin Exposure Site

# Limites des normes



Condition de stockage:

Stockage à l'extérieur

0.95%  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{equ}}$

Condition norme ASTM :

100% HR à 38°C

1.25%  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{equ}}$

**Les normes actuelles  
ne permettent pas de  
prédire  
systématiquement  
les comportements  
du béton vis à vis de  
la RAG**

Ref: The University of Texas at Austin Exposure Site

[Ideker et al., 2016]

## QUE FAIRE?

- Réaliser les essais selon la norme SIA 262-1
- Surveillance des ouvrages depuis sa réalisation



## SOLUTIONS:

- Injection de résine
- Peinture et revêtement étanche
- Addition de précontrainte
- Mise en place de tirant
- Libération des contraintes par sciage

## DÉMOLITION ET RECONSTRUCTION

Vue d'ensemble de l'échangeur Robert Bourassa - Char

*Outils d'investigation de la réactivité alcalis-granulats  
dans les infrastructures en béton*

*B. Fournier, L. Sanchez, S. Beauchemin: 08.2015*

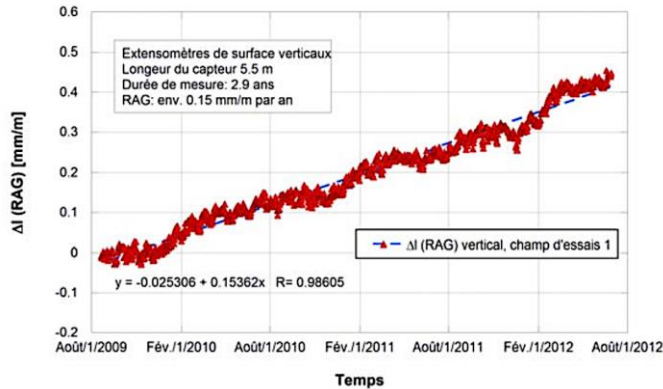


# Surveillance des structures existantes

- Monitoring des structures
- Relevés visuels
- Prélèvement d'échantillon
  - Analyses microscopique
  - Essais SDT
  - Mesures d'expansion résiduelle

# Monitrage structures

- Expansion du béton
- Température
- Humidité



# Relevés visuels et les prélèvements d'échantillon

Doivent être réalisés par une **personne correctement formée**:

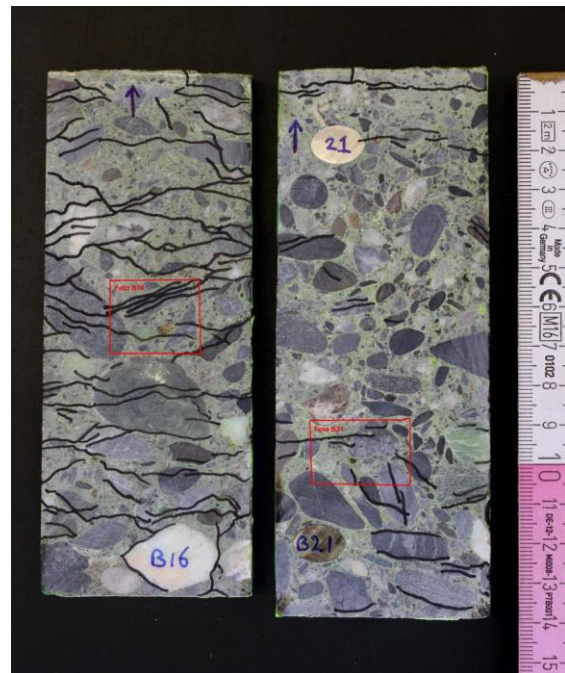
- Etablir un diagnostic sur un éventuel soupçon de RAG ou de phénomène gonflant
- Etablir un indice de fissuration sur site
- Afin de prélever des échantillons représentatifs de la pathologie

# Analyse des échantillons

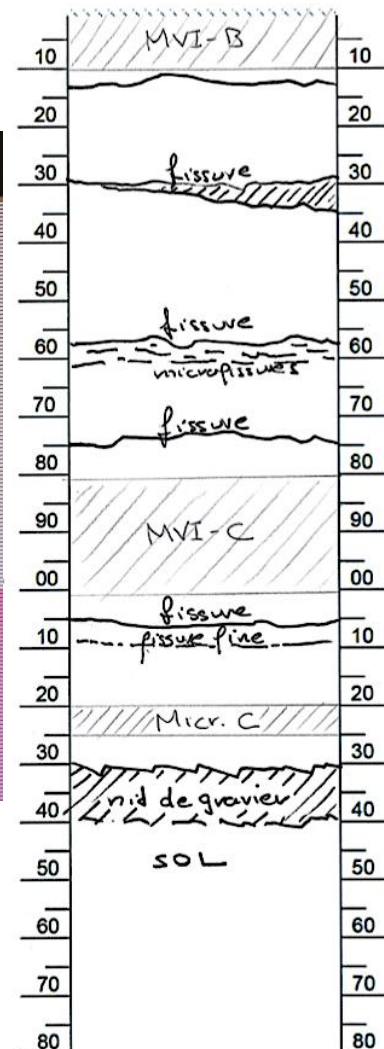
## Relevé détaillé des carottes:

Afin d'obtenir des informations sur :

- le **type** de fissures
- la **quantité** de fissures
- l'**orientation** des fissures
- d'autres **pathologies** ou particularité



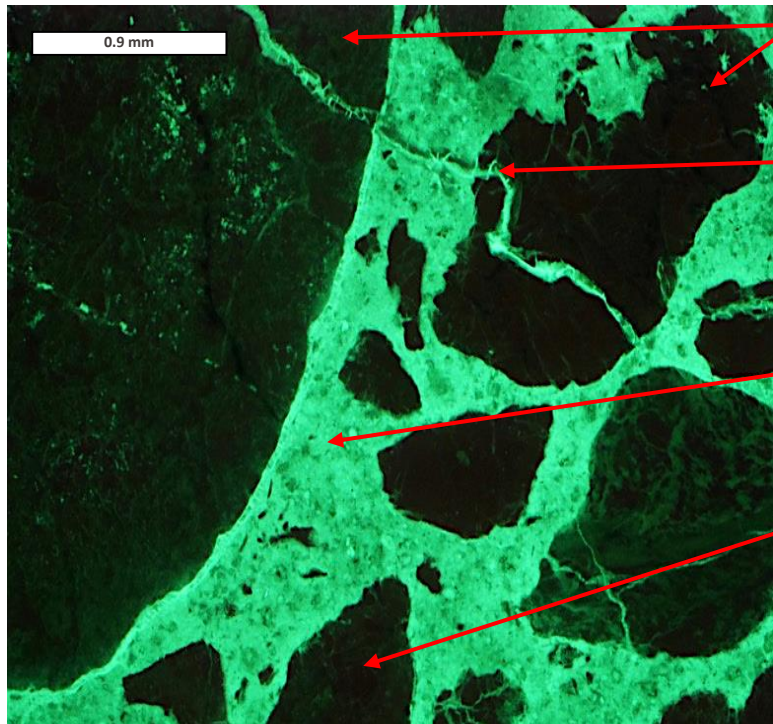
Source : laboratoire TFB





# Prélèvements d'échantillons

## Analyse de la microstructure: Microscopie optique



granulats  
siliceux

fissure due  
à la RAG  
avec  
produit de  
réaction

pâte de  
ciment  
durcie

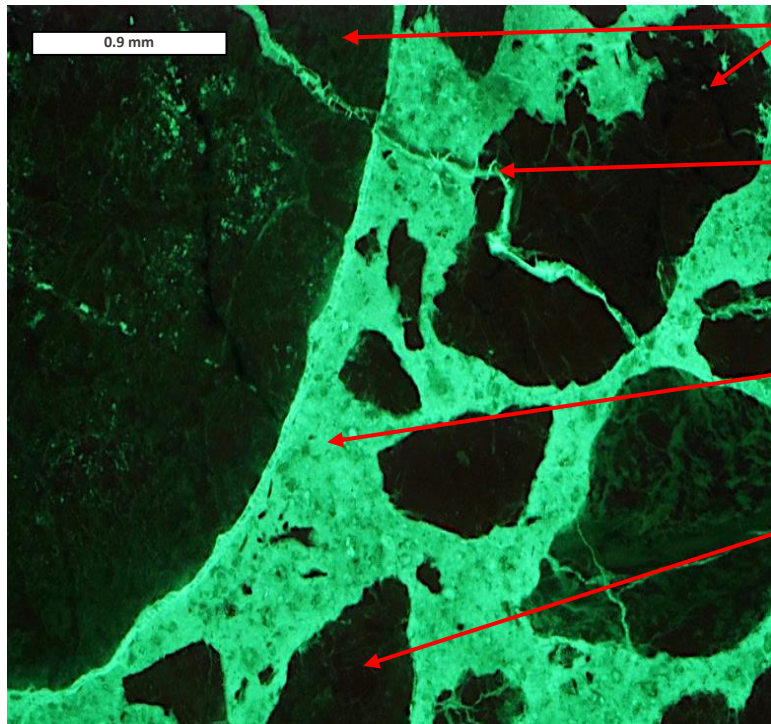
granulat  
calcaro-  
siliceux

# Prélèvements d'échantillons

## Analyse de la microstructure:

Microscopie optique ou électronique sur lame mince

JERI 2021/ Réaction alcali granulat dans les structures en béton : connaissances actuelles

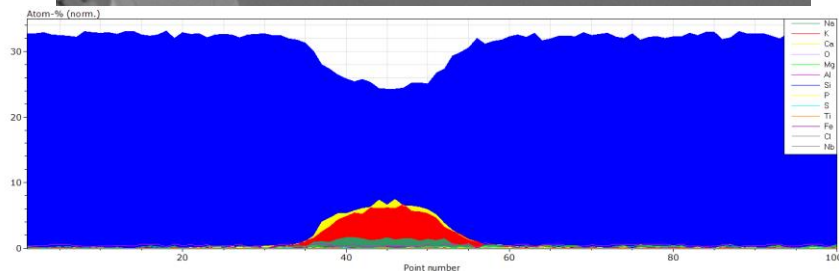
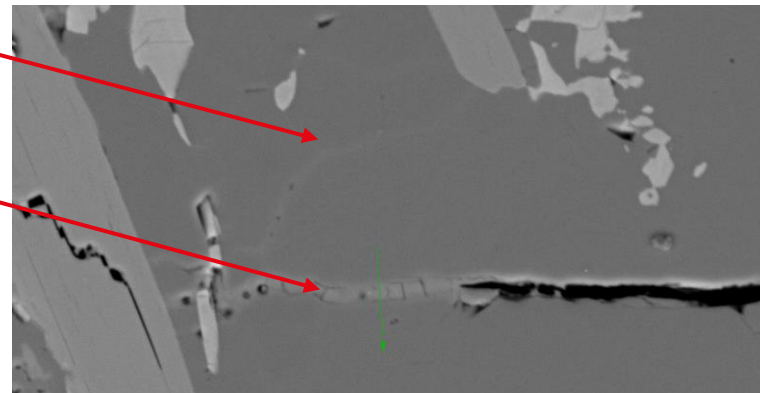


granulats  
siliceux

fissure due  
à la RAG  
avec  
produit de  
réaction

pâte de  
ciment  
durcie

granulat  
calcaro-  
siliceux



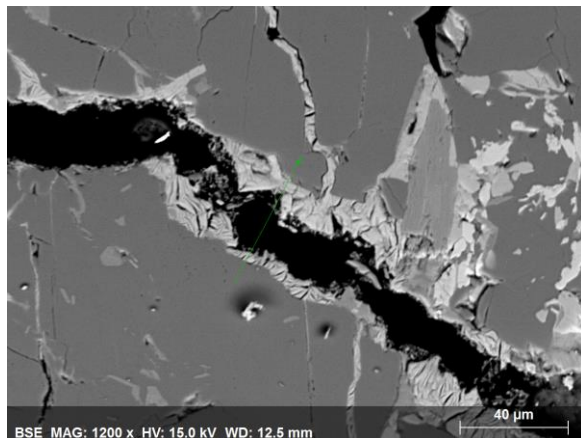
# Prélèvements d'échantillons

Analyse de la microstructure:

Microscopie optique ou électronique sur lame mince

**Ce sont ces résultats qui vont  
définir le besoin d'aller plus loin  
dans l'investigation!**

Propriétés de la microstructure



la pathologie constatée sur site

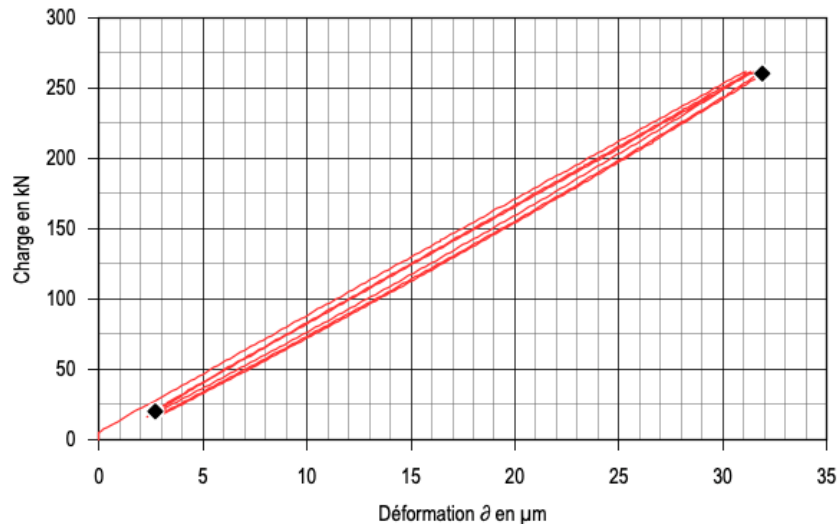




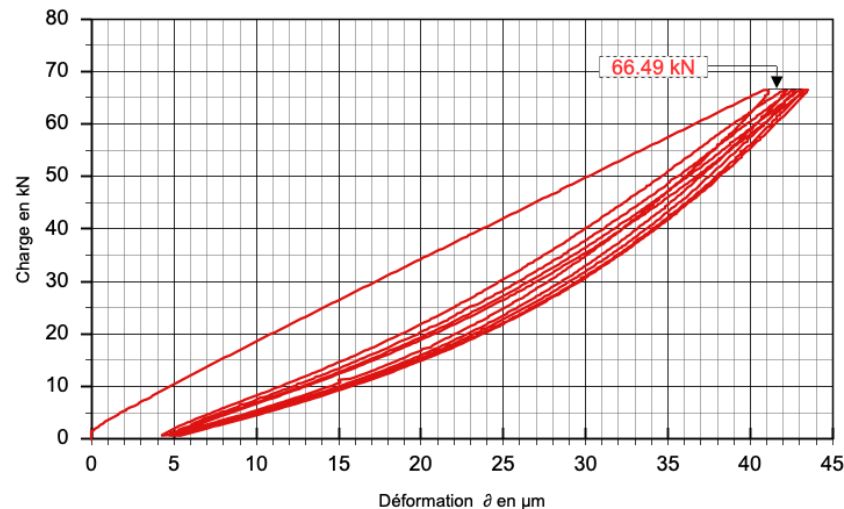
# Essais SDT (stiffness Damage Test)

(Essai d'endommagement de la rigidité)

- **carottes** soumises à 5 cycles de charge/décharge (1/3 charge rupture)



sans dommage

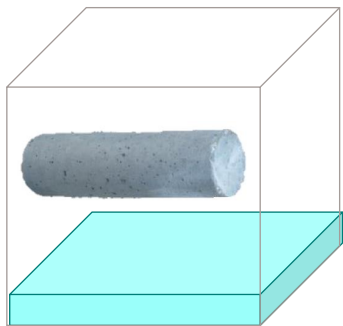


endommagé

Source : LMC

# Expansions résiduelles

## Carotte béton

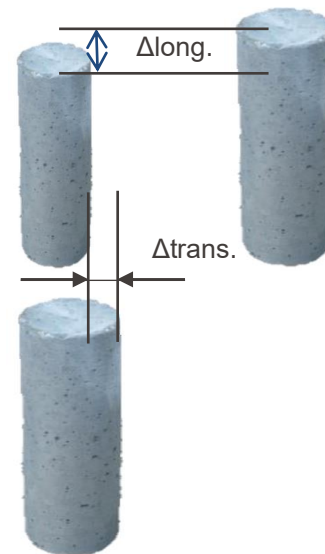


Cure vapeur  
38°C

Expansion



$\Delta_{\text{long.}}$  = variation longitudinale



$\Delta_{\text{trans.}}$  = variation transversale

# Conclusion

## Réaction Alkali Granulat est une réaction chimique très lente

- Réaction complexe qui nécessite des connaissances poussées afin de pouvoir avertir ou constater les défauts potentiels liés à la RAG
- La prévention par formulation de béton n'est pas suffisante, mais nécessaire,0
- pour éradiquer le problème.
- Nécessité de contrôler régulièrement les structures anciennes et nouvelles
- Catalyseur d'autres pathologies et les effets peuvent se cumuler (gel/degel, attaque sulfatique, pénétration des chlorures, etc...)

## Amélioration?

- Mise en place d'un site d'exposition longue durée afin de valider les essais de performance sur les bétons usuels suisses.
- Continuer les recherches minimiser l'écart entre les mesures faites en laboratoire et celles sur le terrain.

**Merci pour votre attention**

**Questions?**

