



Laboratoire Central
des Ponts et Chaussées

5 Décembre 2008

GN MEBA

Expertise de la rupture et autres défaillances

Dégradation des matériaux du bâtiment: fissuration, perméabilité, microstructure

S.GUEDON

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées – Paris

Travaux de thèse de M.Bost (Février 2008)

L'esprit de recherche au cœur des réseaux

A decorative blue wave graphic is located at the bottom of the slide, starting from the left and curving upwards towards the right.

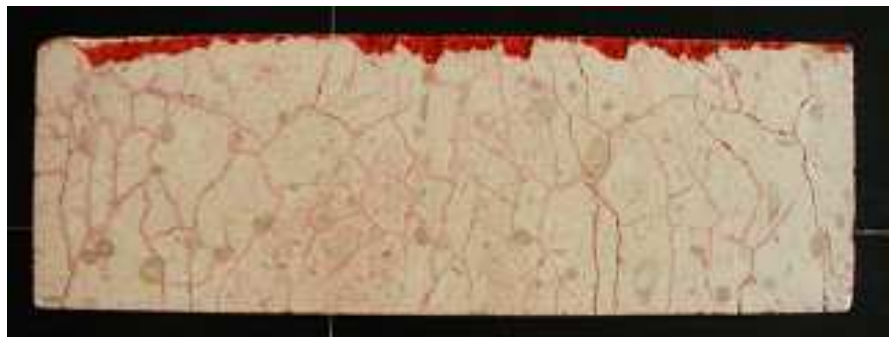
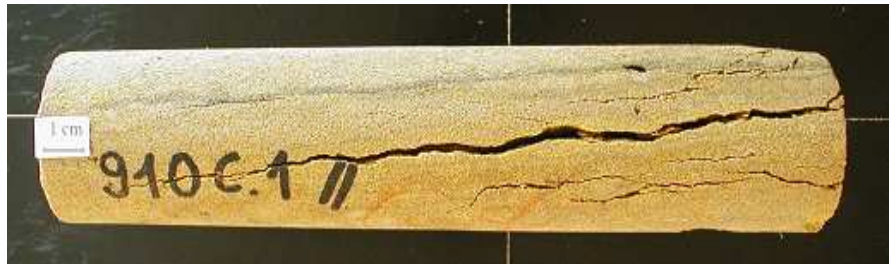
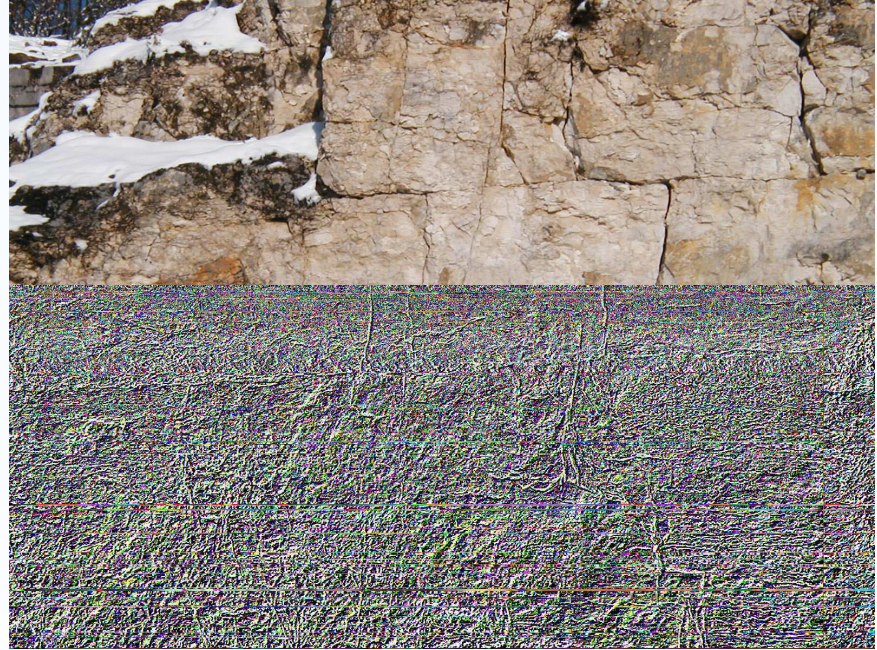
Facteurs de dégradations des pierres

Liés à l'eau:

humidité des bâtiments, remontées capillaires
dissolutions, recristallisations (calcins)
et à la température: effet du gel-degel

Liés à la pollution (encroûtements)

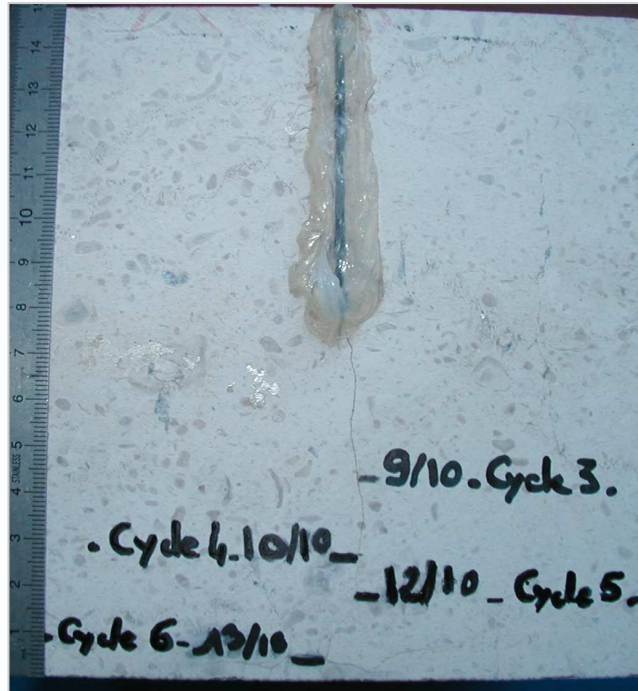
Liés aux développements de micro-organismes



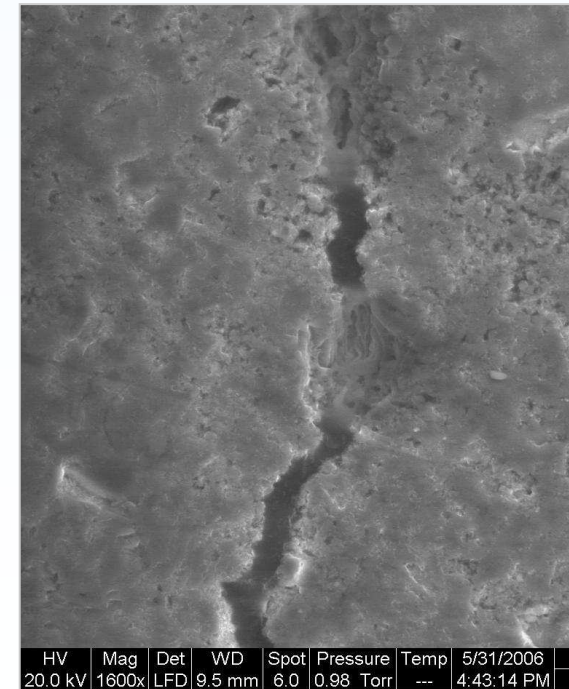
Une démarche multi-échelle



*Échelle macroscopique
(massif)*



*Échelle mésoscopique
(laboratoire)*

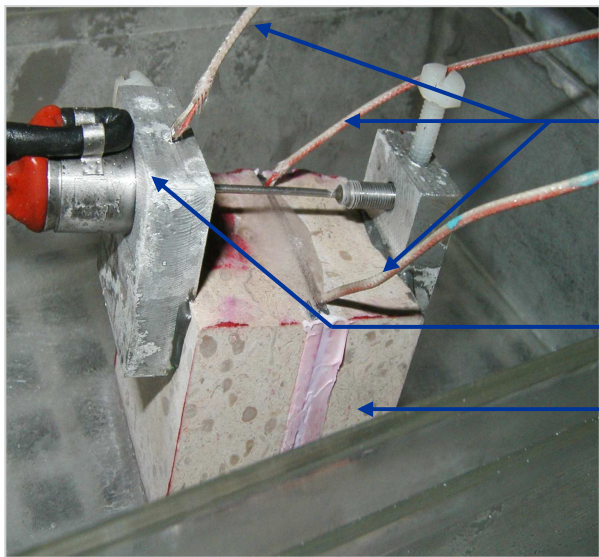


Échelle microscopique

(MEB)

Dispositif expérimental

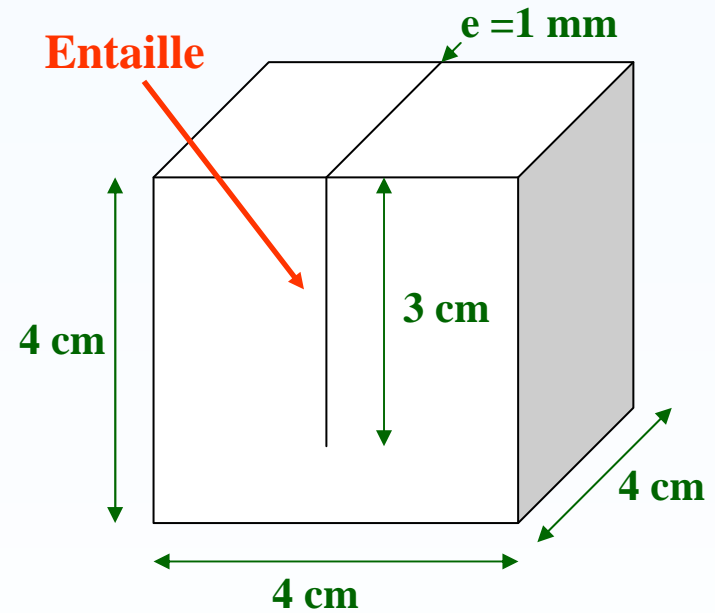
Reproduction du processus de gel
en laboratoire



Thermocouples

Capteur de déplacement

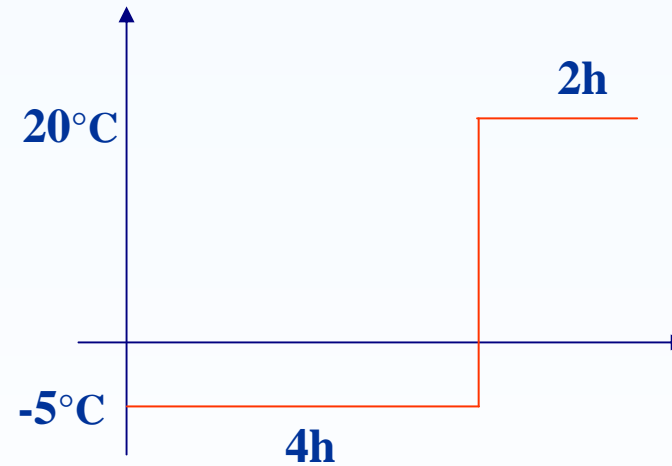
Etanchéité



Reproduction d'un cycle de gel-dégel

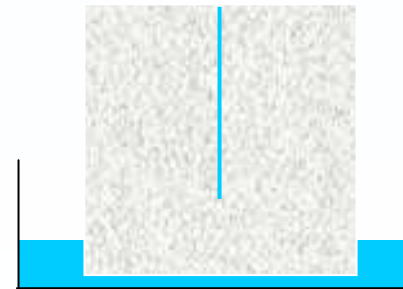
◆ Variation de température :

- Gel à -5°C
- Dégel à 20°C



◆ Gestion de l'humidité :

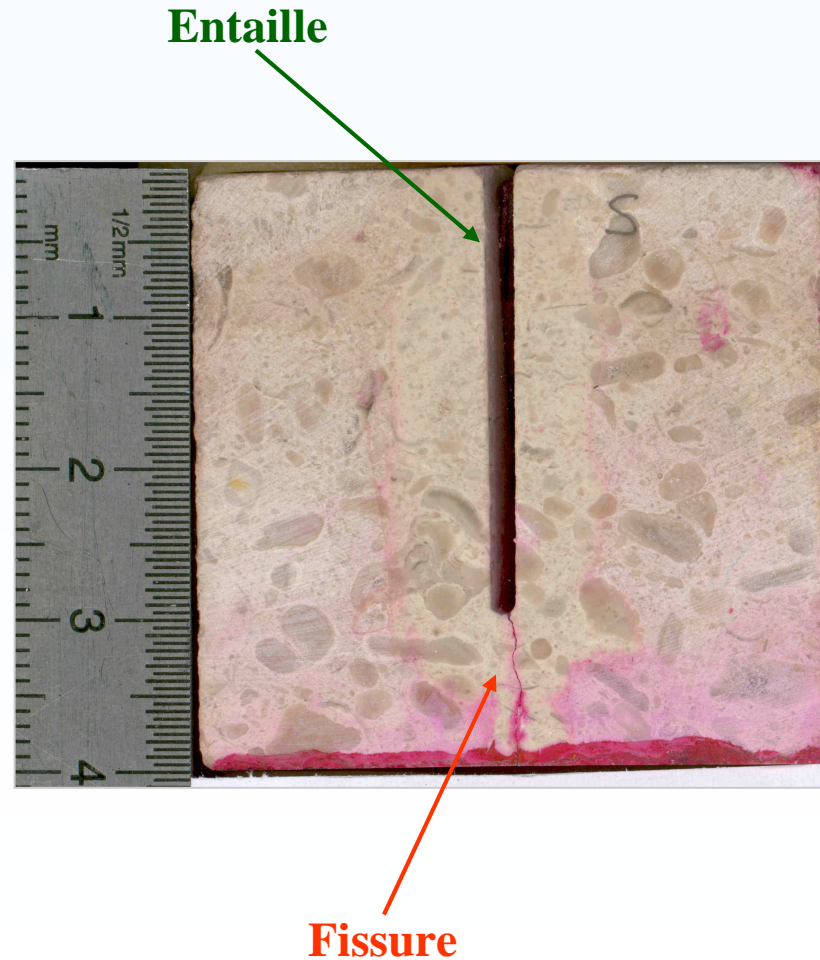
- Éprouvette saturée à l'eau sous vide
- Éprouvette placée dans un fond d'eau



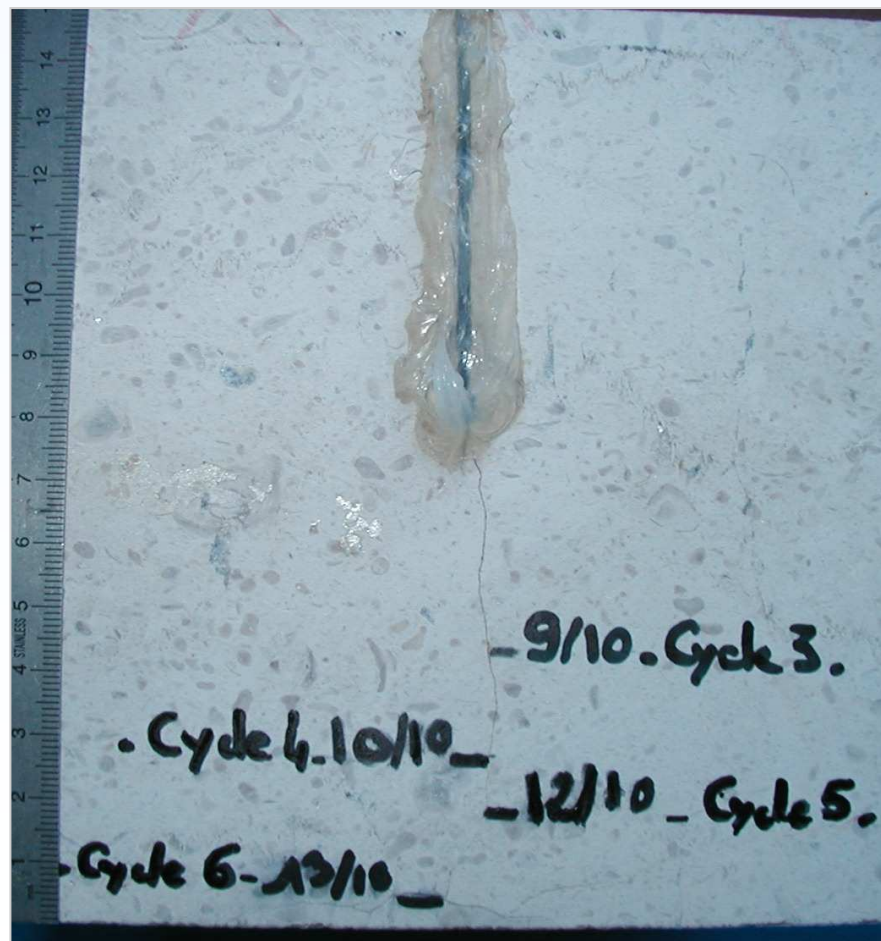
Propagation visible à l'œil nu

Avec ces dimensions:

- ◆ Rupture dans le prolongement de l'entaille initiale
- ◆ Rupture sur 1cm de talon dès la première observation à l'œil nu

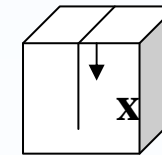
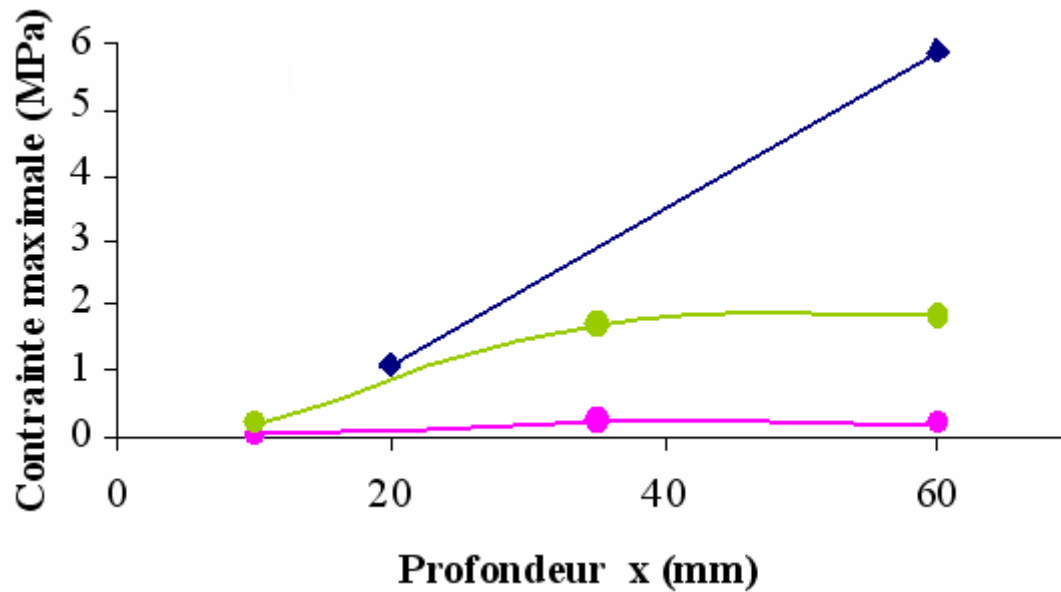


Propagation par rupture progressive



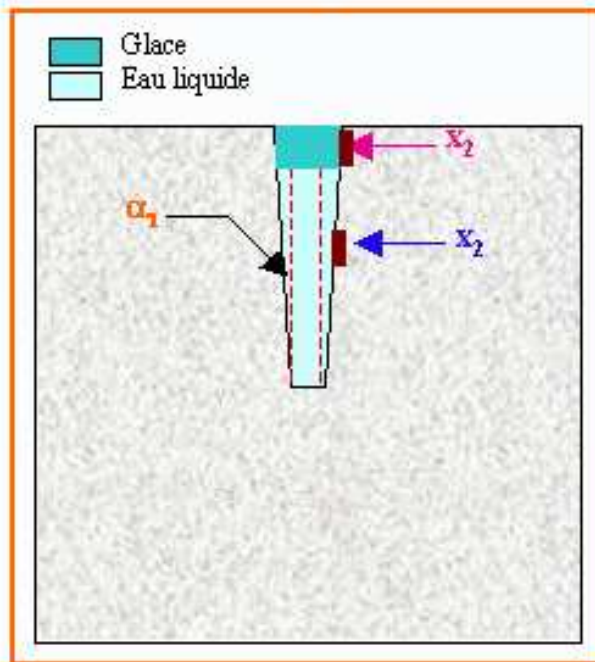
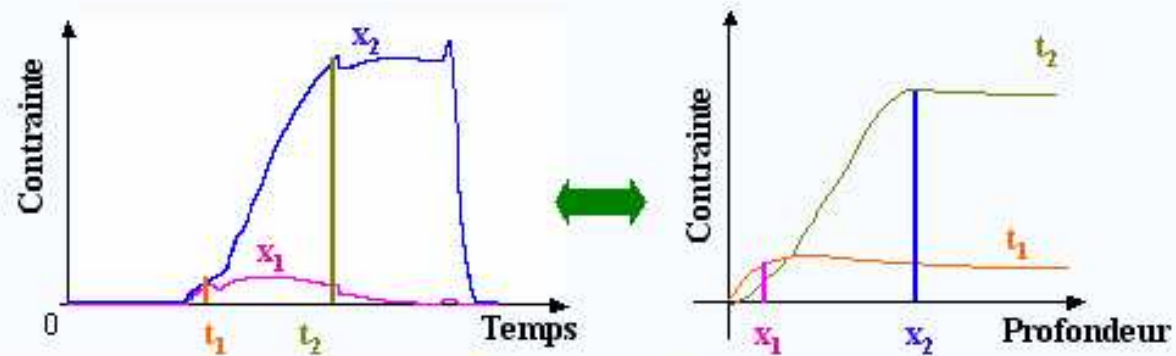
15 cm

Évolution de la contrainte maximale en fonction de la profondeur

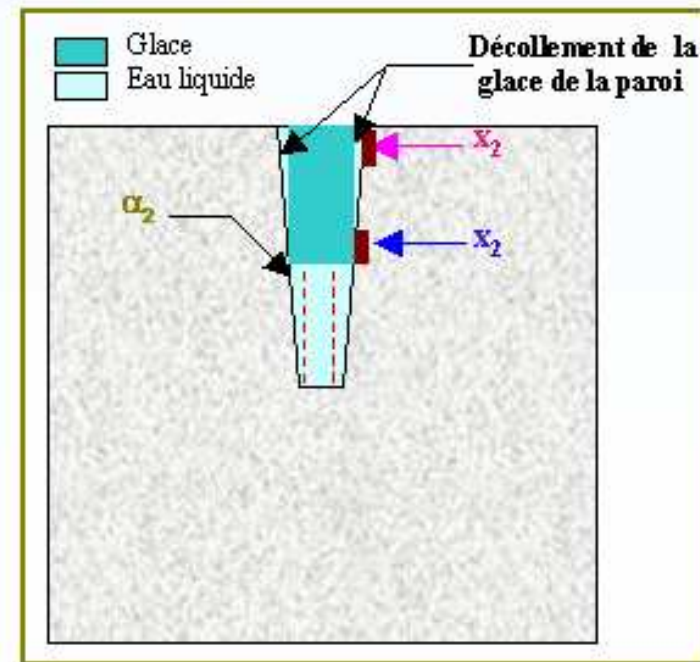


⇒ **Maximum atteint à plus ou moins grande profondeur selon le calcaire**

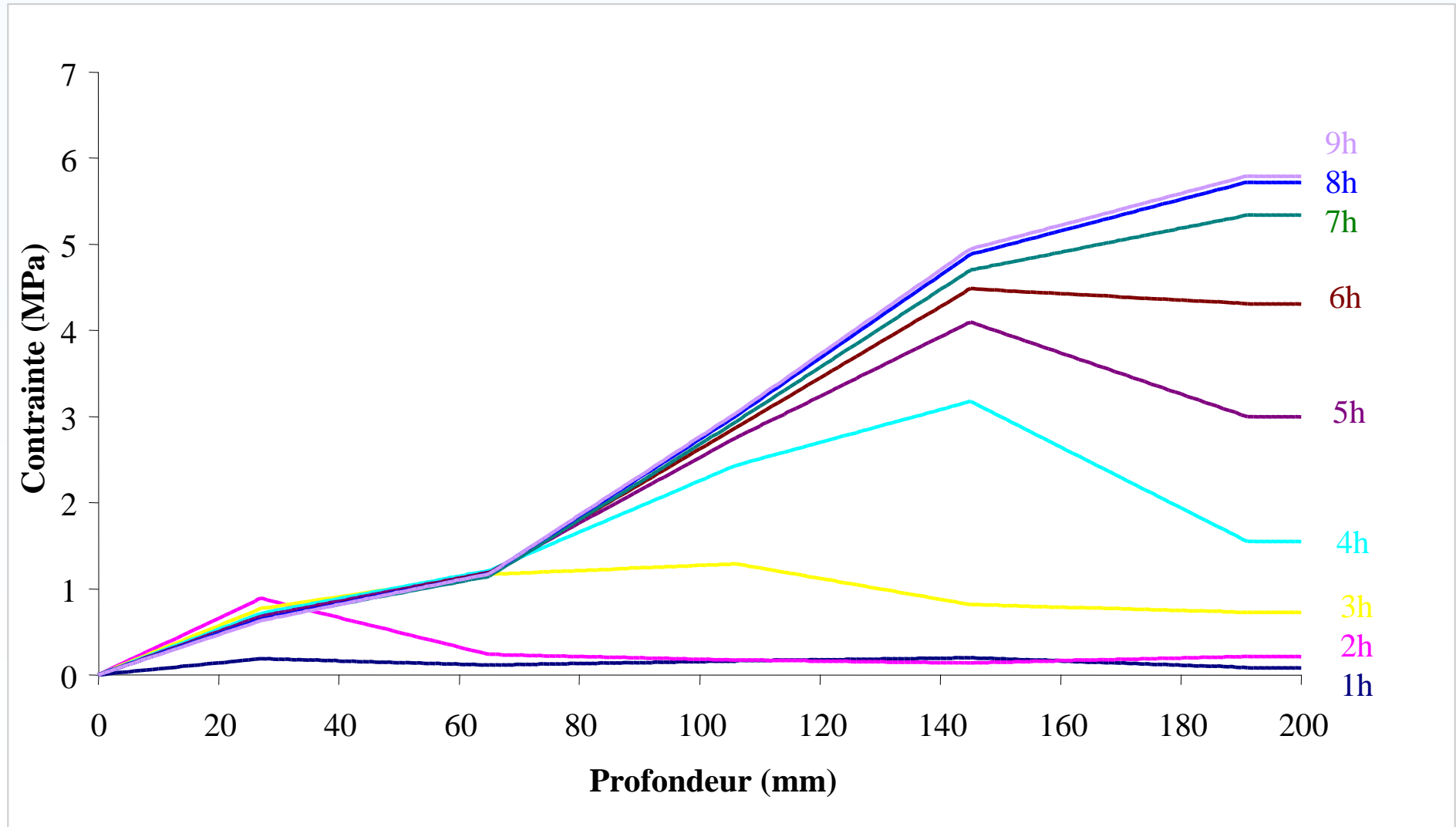
Allure de la contrainte le long de la paroi de l'entaille



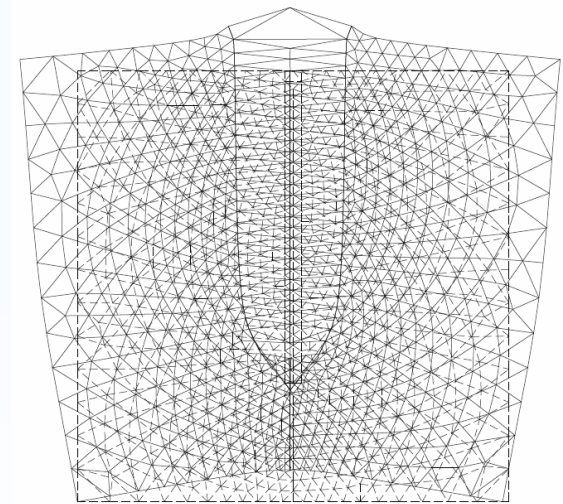
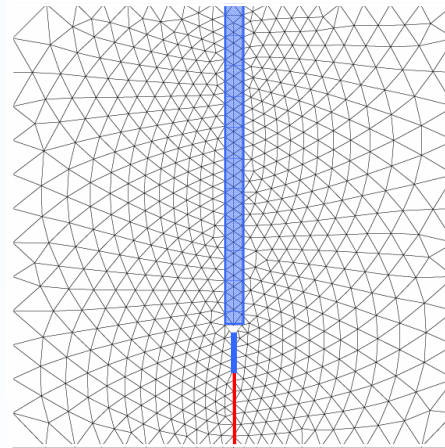
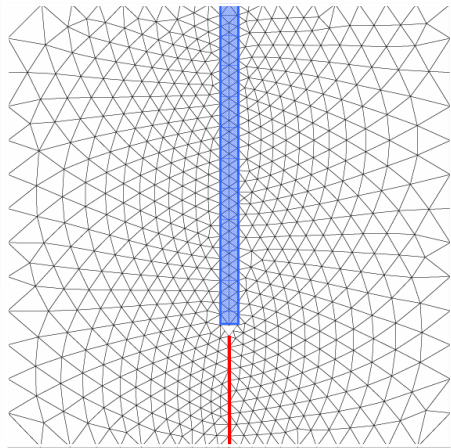
$t_1 < t_2$



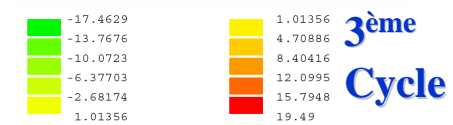
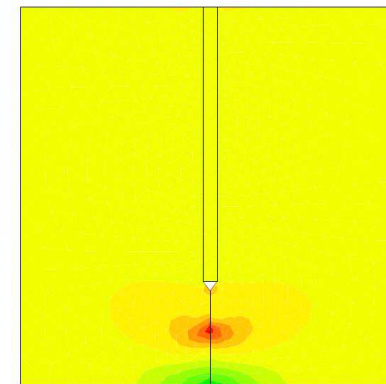
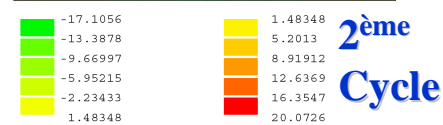
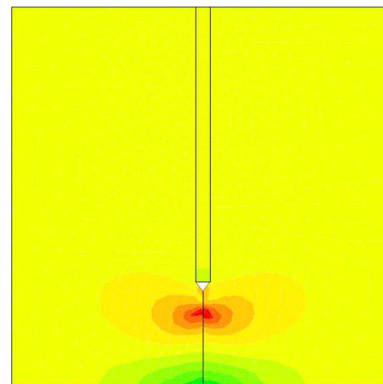
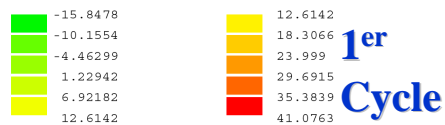
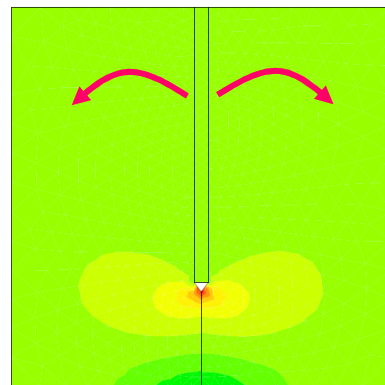
Allure de la contrainte en fonction de la profondeur



Progression d'une fracture sous contrainte de traction : modélisation des cycles de gel-dégel



Évolution de la contrainte σ_{xx} au cours des cycles successifs de gel-dégel

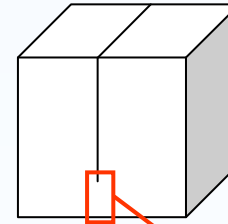


Propagation visible à l'échelle microscopique

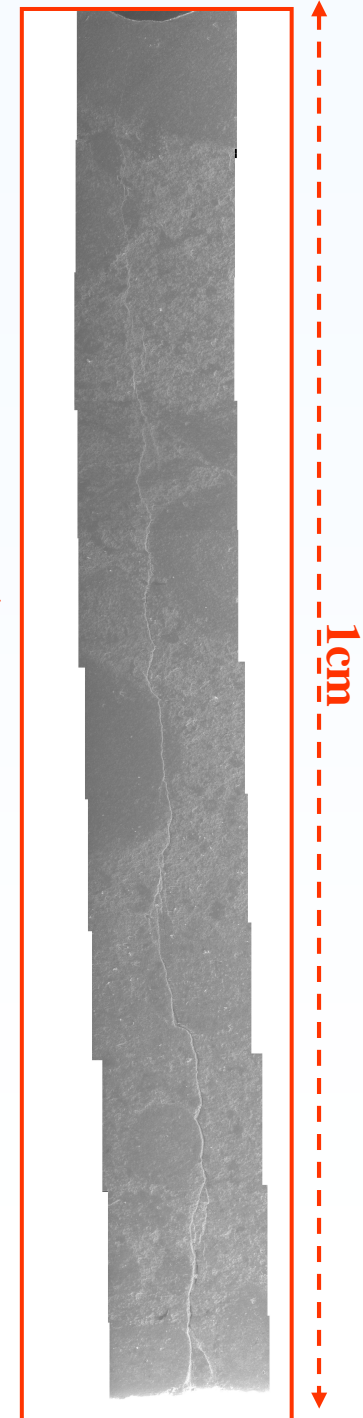
◆ Principe :

- Plusieurs cubes soumis en même temps à des cycles successifs de gel-dégel
- Sacrifice d'un cube à chaque cycle pour observation au microscope électronique à balayage (MEB)

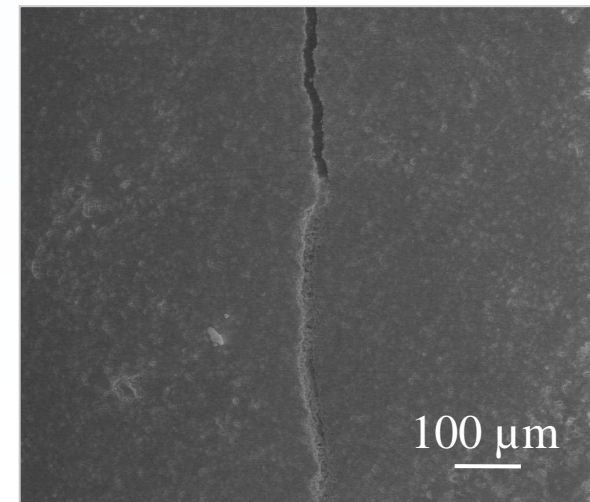
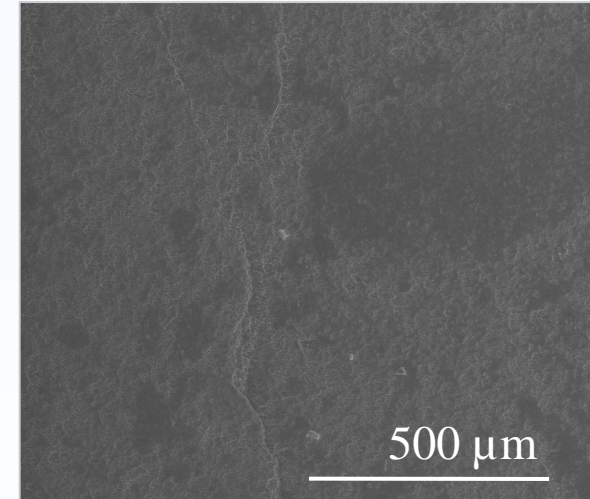
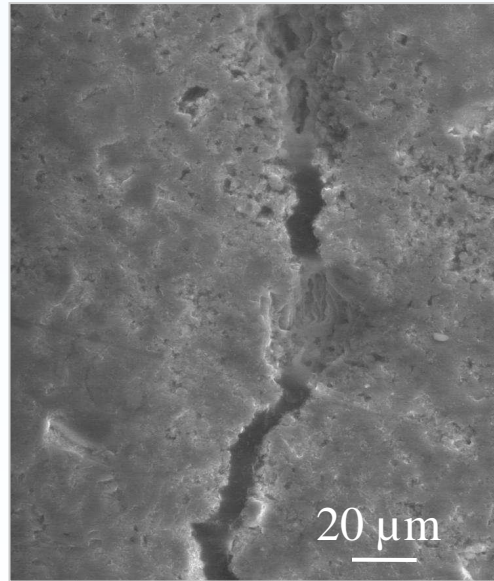
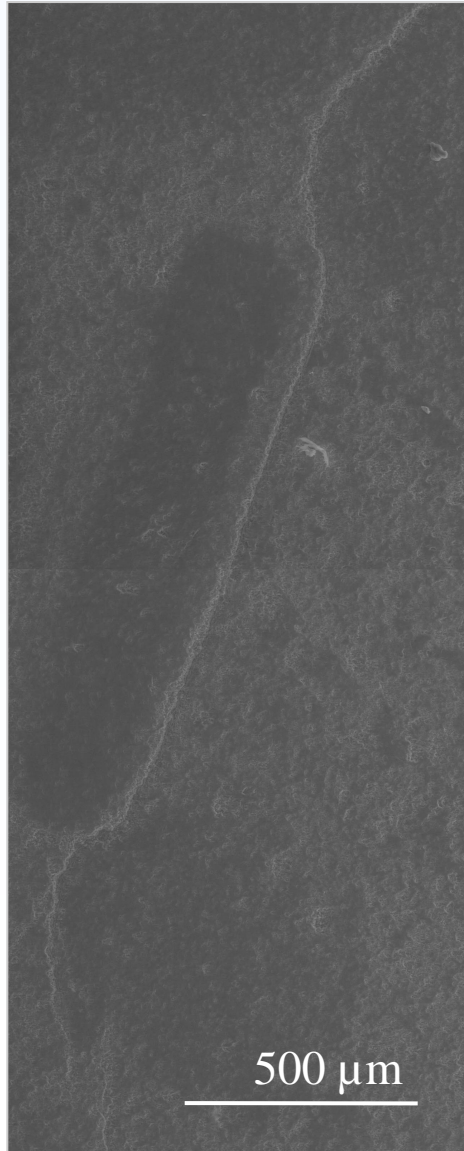
=> *Chemin de rupture visible à cette échelle dès le premier cycle*



Cycle 1



Propagation par rupture hétérogène

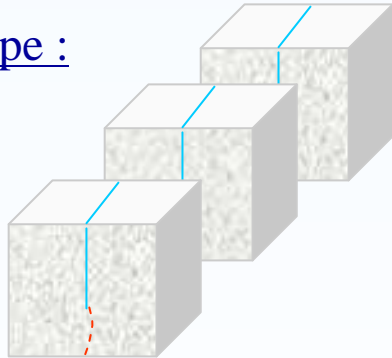


Points de contact qui
s'apparentent aux
« ponts rocheux »

Contournement
d'une oolithe

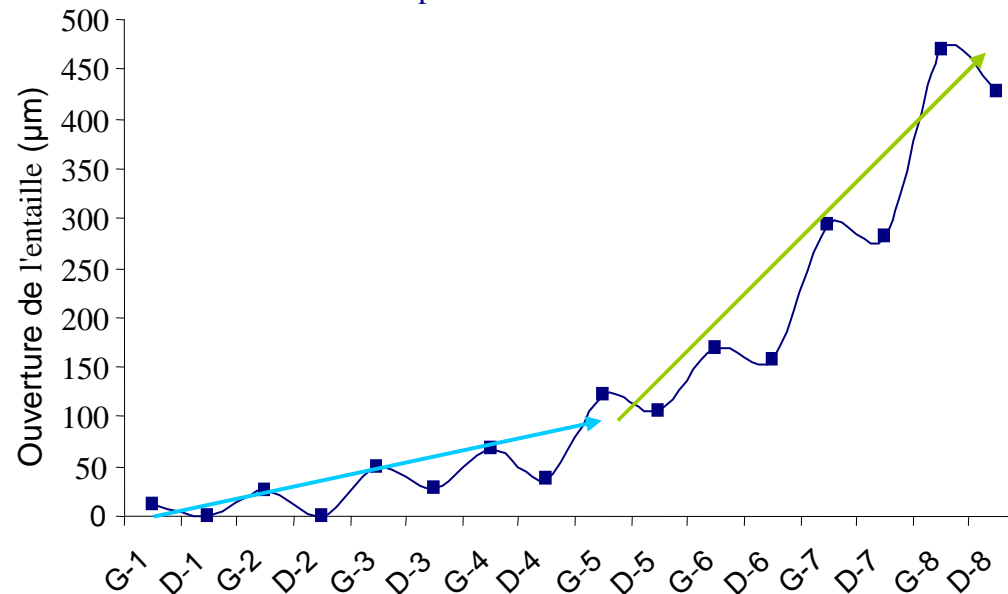
Propagation dépendante de la quantité de « points de contact » restants

Principe :

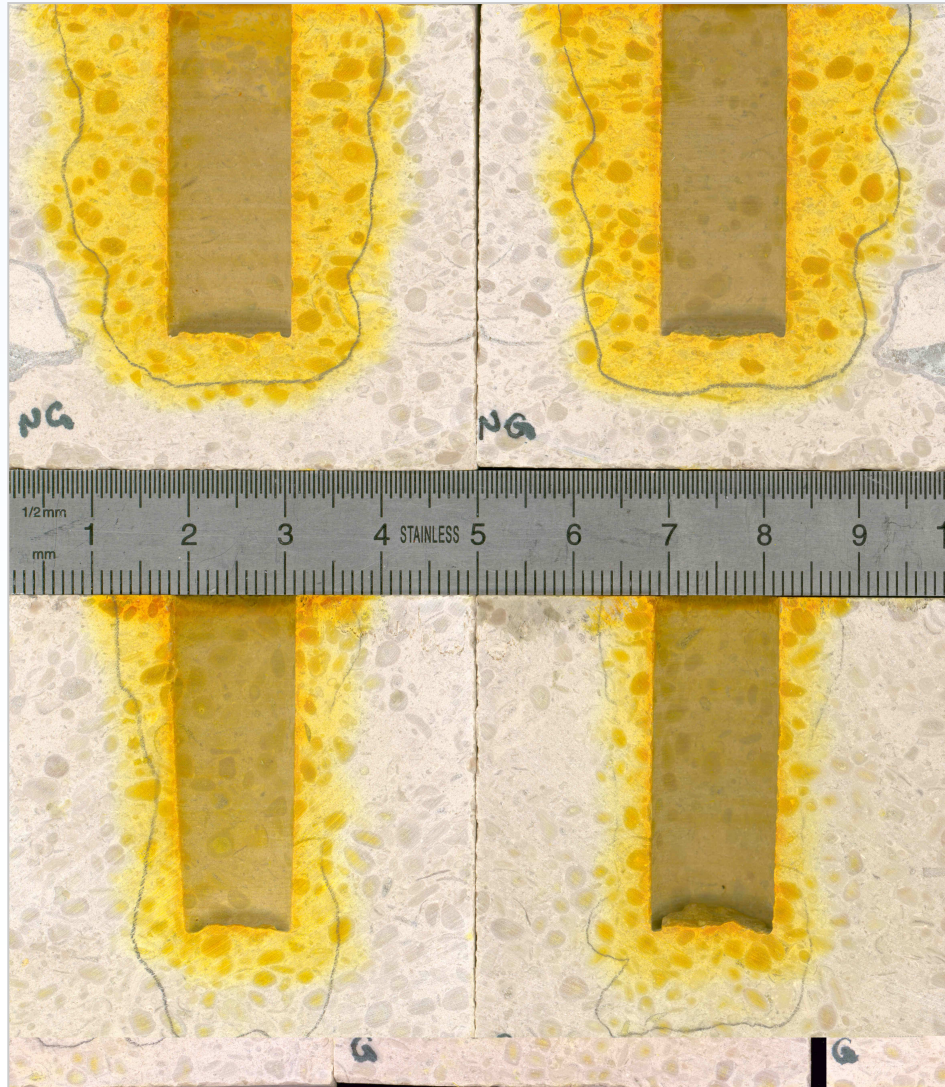


N° du cycle de gel-dégel	Quantité de « points de contact »
1	65 ± 9 %
2	63 ± 8 %
3	32 ± 10 %
4	/*
5	/*
6	20 ± 1 %
7	31 ± 4 %

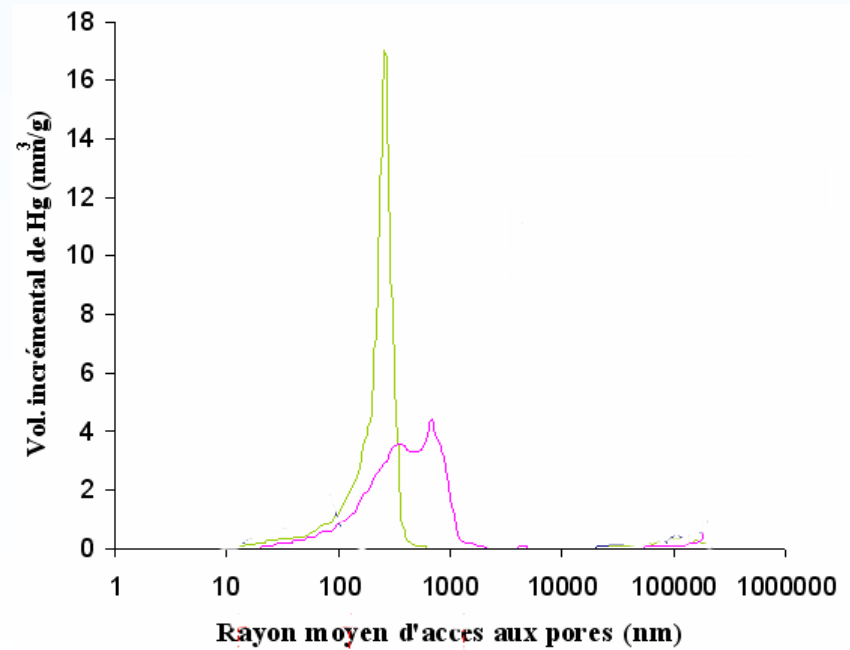
* Éprouvettes cassées avant observation au microscope



Mise en évidence de migrations d'eau

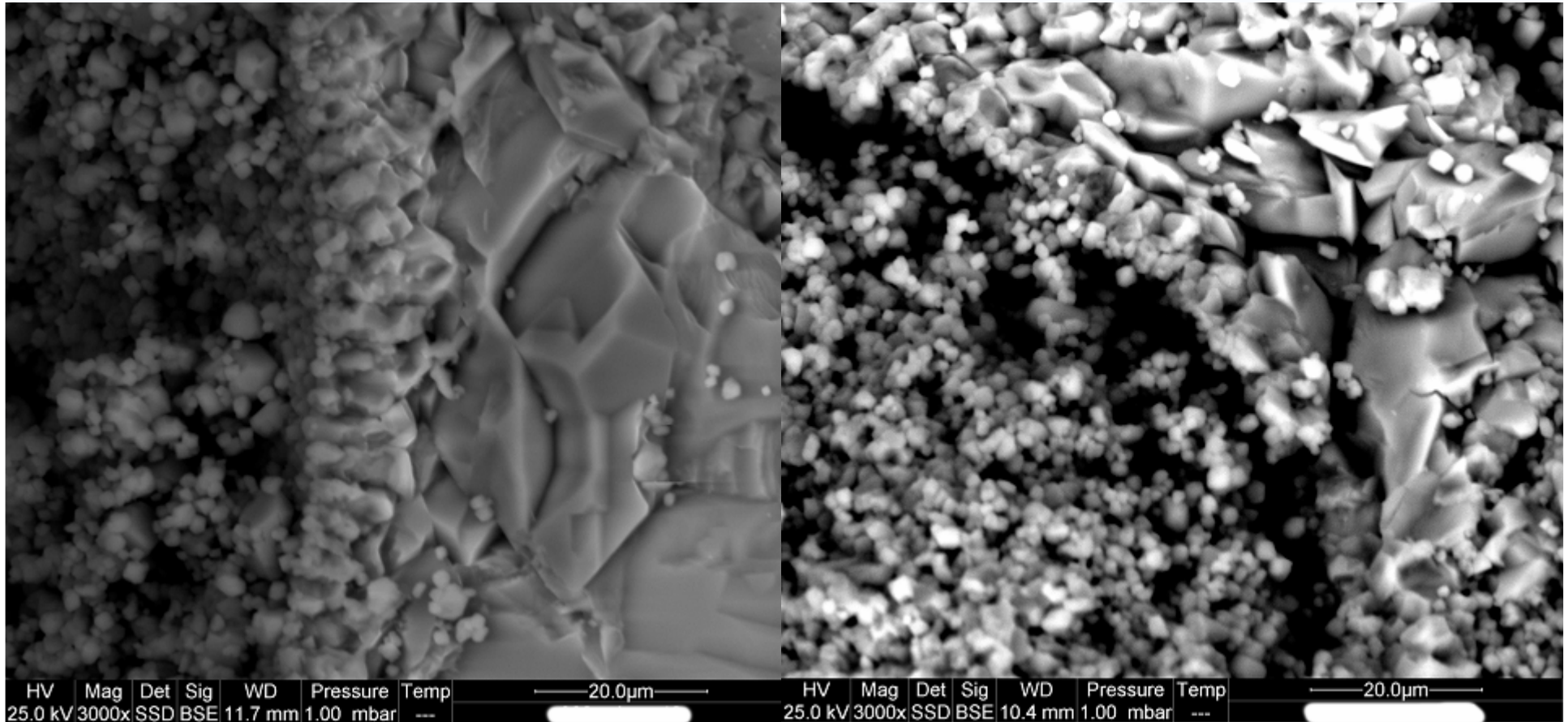


Calcaire non gélif
Perméabilité : $2,61 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$



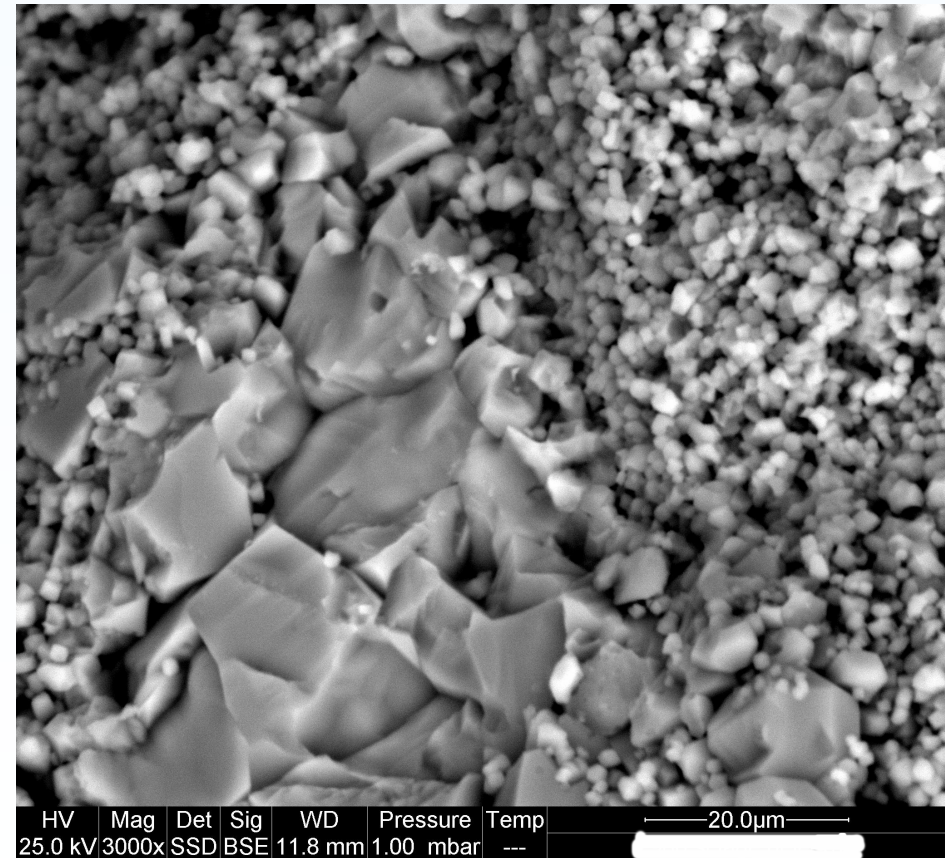
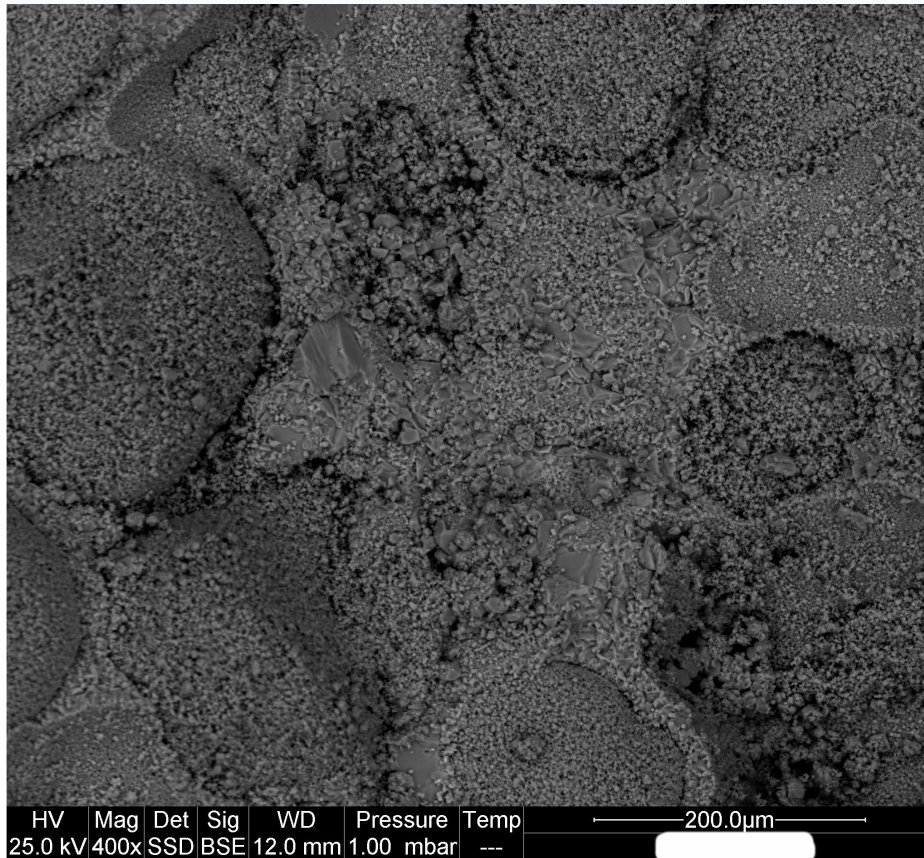
Calcaire gélif
Perméabilité gel: $1,40 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$

Calcaire avant et après le gel



=> Changement d'aspect de la microstructure, un vide apparaît qui permet d'absorber le volume supplémentaire lors de la solidification de l'eau en glace.

Apparences des discontinuités de pores et de fissures





Gorges du Loup, avril 2005



Route d'accès au Mont Blanc, mars 2007



Aussois, mars 2006

- Un aléa à forte occurrence spatiale et temporelle
- Un aléa parmi les moins prévisibles

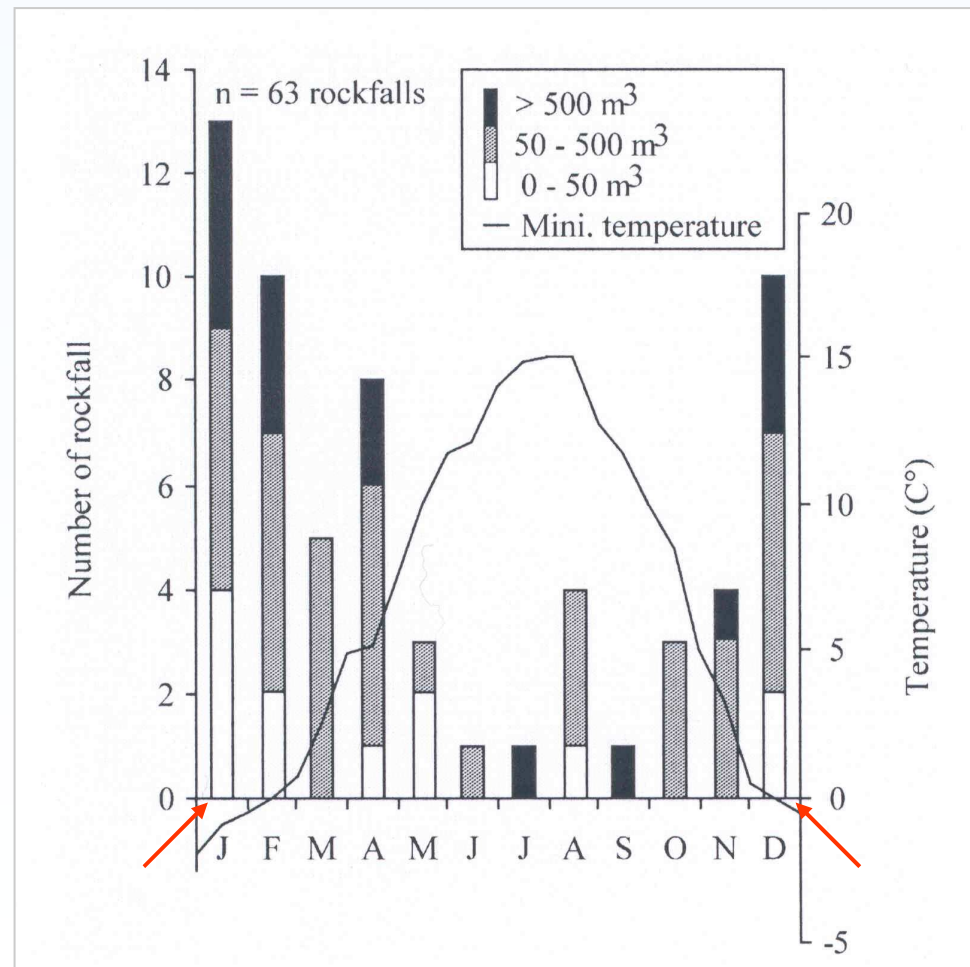
=> *Un risque pour les biens voire les personnes*



Gorges de la Bourne, novembre 2007

Processus d'altération prépondérant : action du gel

- ◆ Forte corrélation entre chutes de pierres et de blocs et alternance de périodes de gel et de dégel

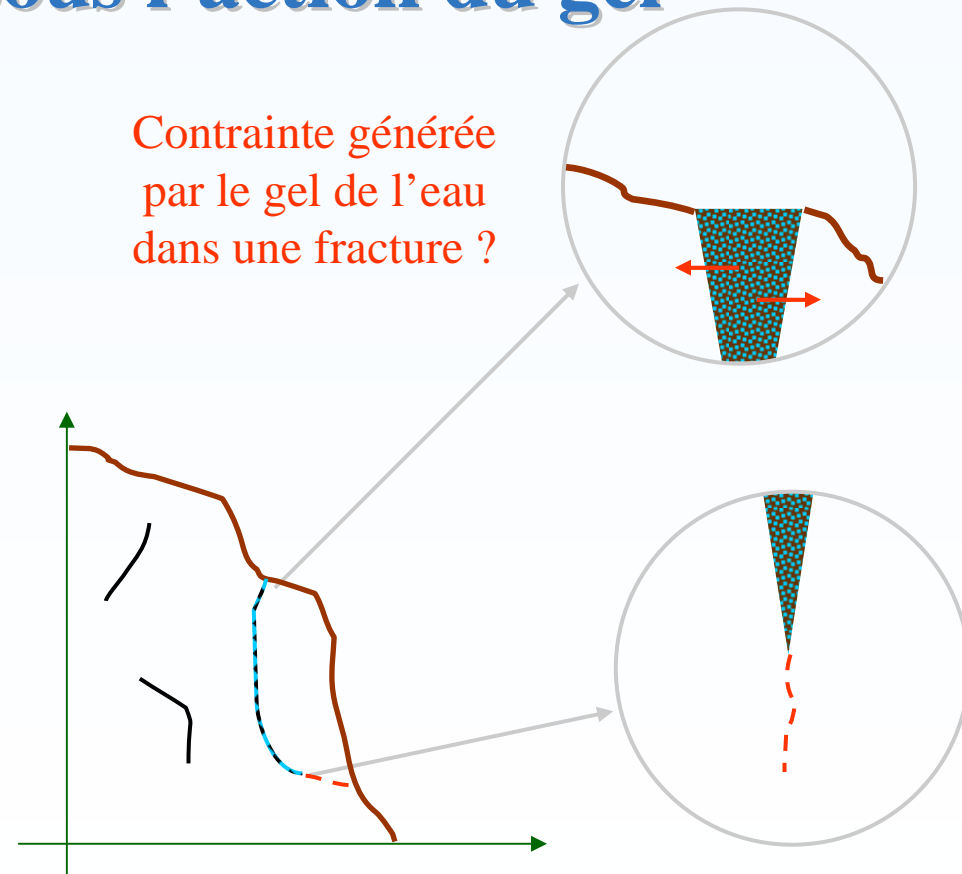


Frayssines et al 2006

Observation de la propagation de la fissuration sous l'action du gel



Les Grands Goulets, février 2003



Contrainte générée
par le gel de l'eau
dans une fracture ?

Propagation de la
fracturation
aboutissant à la
chute du bloc

Merci de votre attention

