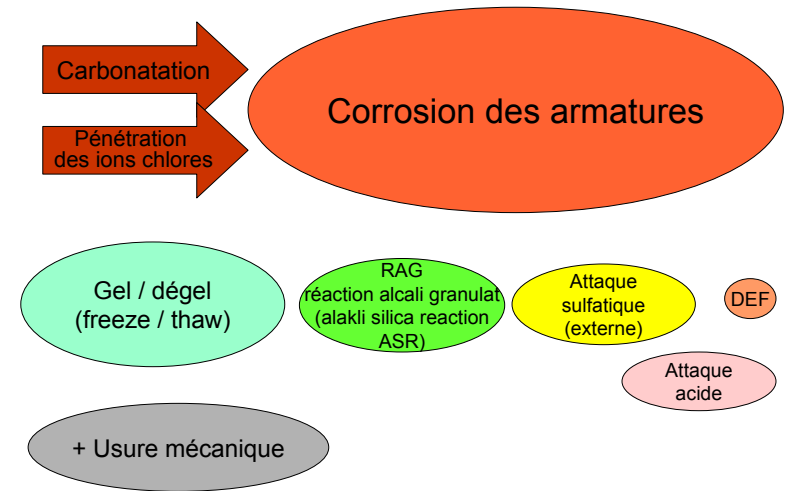
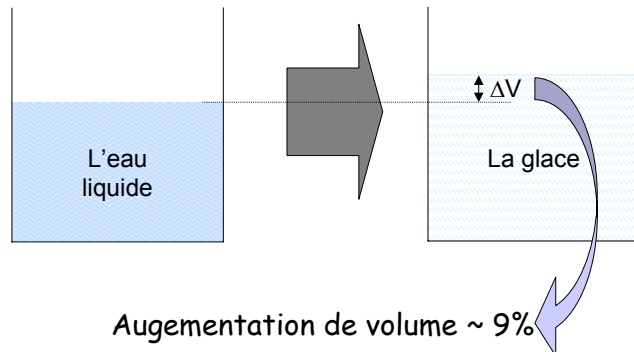


Durabilité

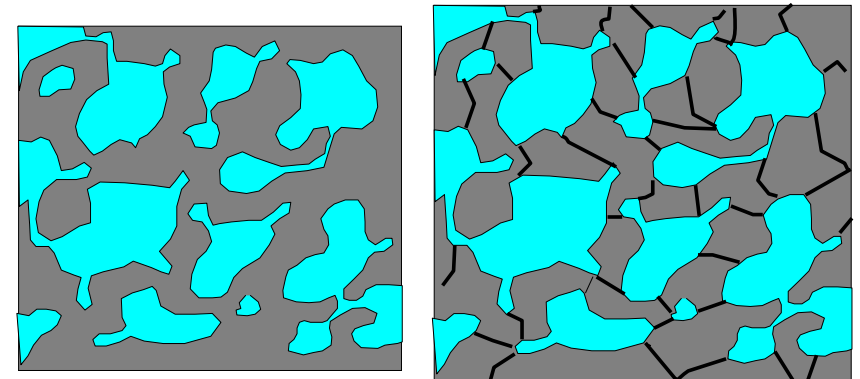
Causes de dégradation des bétons



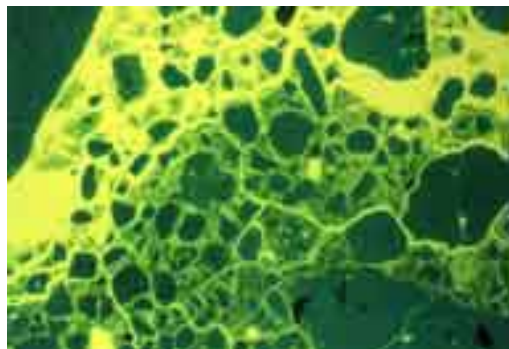
Gel Degel



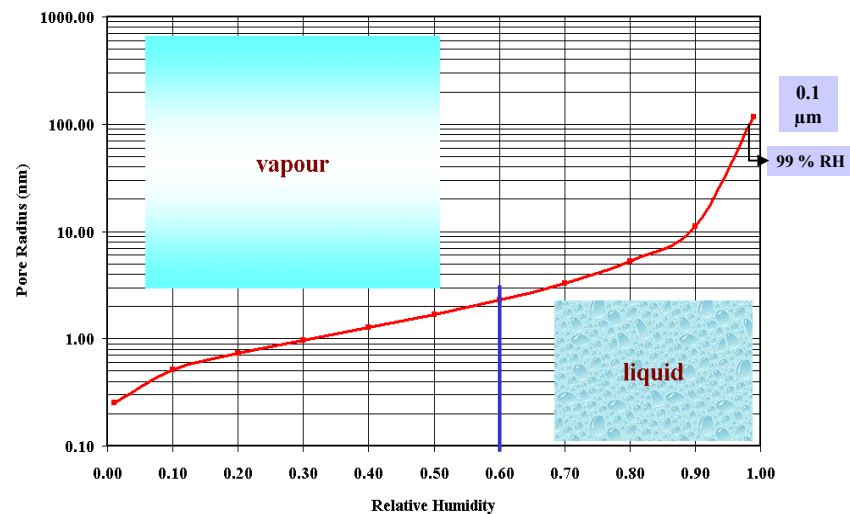
Pâte avec les pores saturée



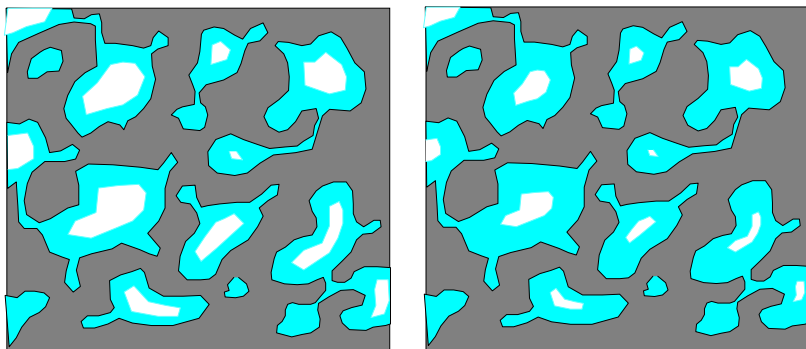
Gel = Rupture du pâte



Loi Kelvin-Laplace



Pâte avec les pores partiellement saturée



Gel = pas de endommagement

Pour les dalles,

l'eau sur la surface peut saturer le couche près de surface



→ l'ecaillage

Pour éviter l'endommagement

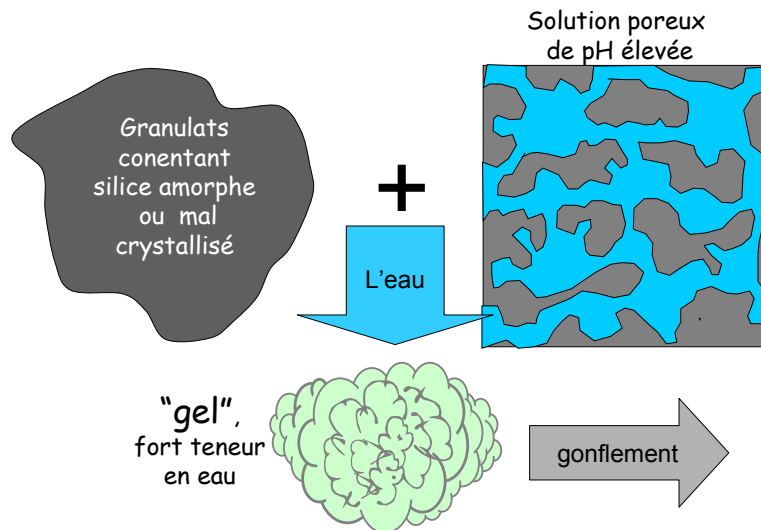
Introduction de vides d'air - ~ 6 - 8 %
Par utilisation des entraineurs d'air, adjuvants liquide

Taille ~50 μm (difficile à saturée)

L'eau dans les pores du pâte peut « échapper »
dans ces vides, s'il y a un gel

Espacement des vides <0.2 mm

Réaction alcali granulat RAG
Alkali aggregate reaction AAR
Alkali silica reaction ASR

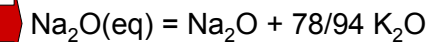


Caractérisation du ciment

Analyse oxyde (XRF)

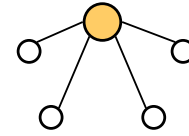
SiO ₂	20,5	(19-21)
Al ₂ O ₃	6	(4-7)
Fe ₂ O ₃	2,5	(2-3)
CaO	64	(62-65)
MgO	1,2	(1-4)
SO ₃	2,8	(2,5-3,2)
K ₂ O	0,5	(0,3-1)
Na ₂ O	0,2	(0,2-0,5)
PaF(LO)	1	(1-2)
CaO libre	1	(0,5-1,5)
resid	0,3	(0,2-0,4)

insol
+Mn₂O₃, TiO₂, P₂O₅, CO₂

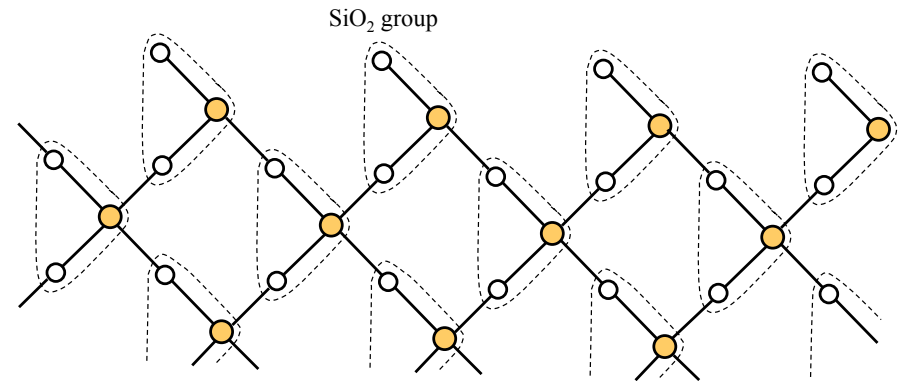


Le reaction entre silice et alcali

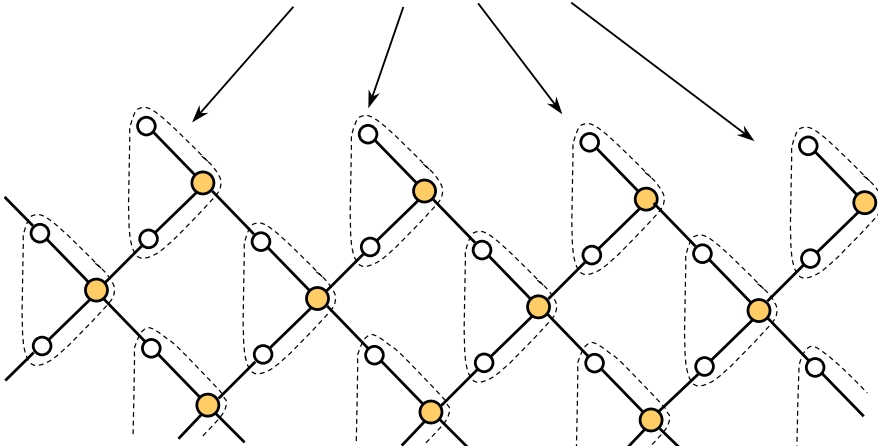
Structure du silice en tetrahedre



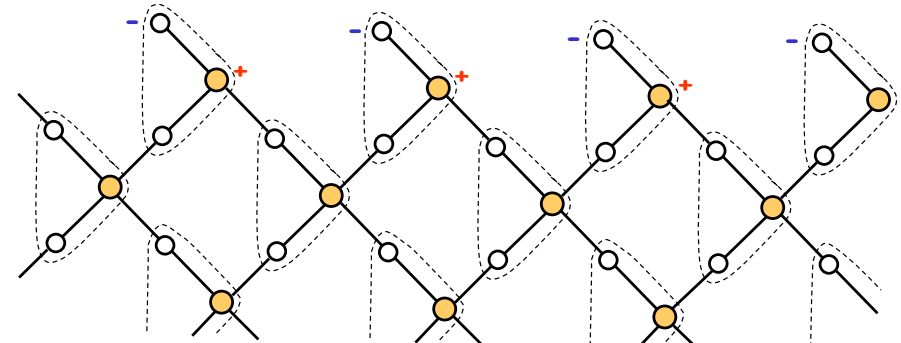
- Silicon ion - Si^{4+}
- Oxygen ion - O^{2-}



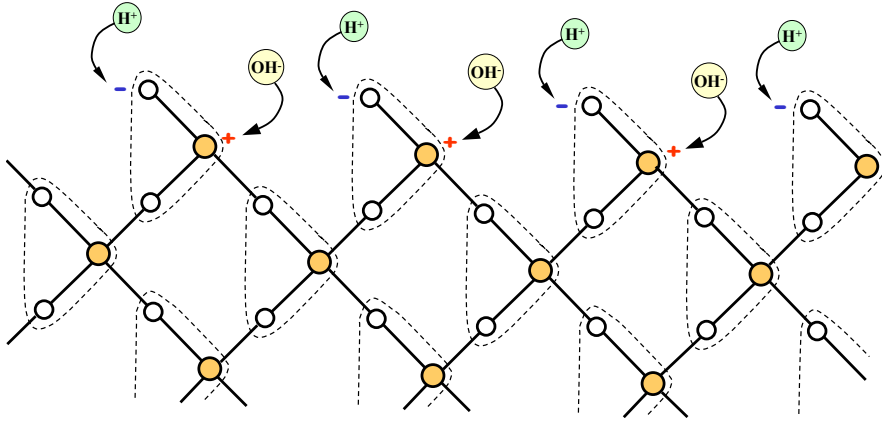
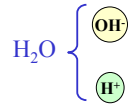
Tetrahedre incomplete au surface



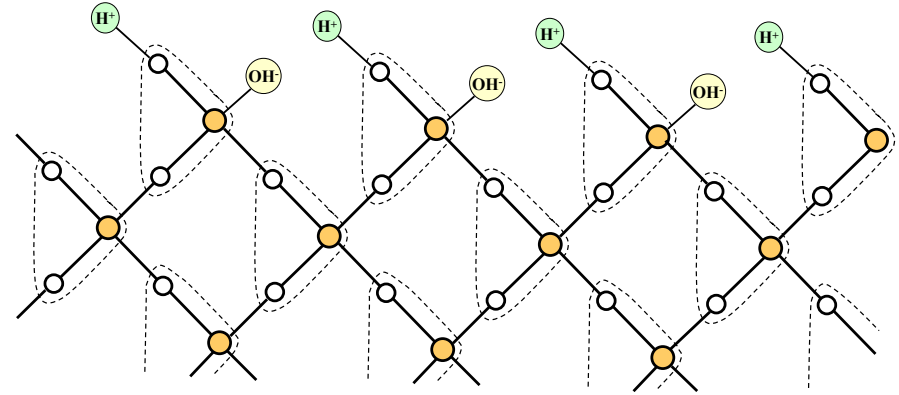
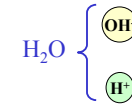
Ces tetrahedre incomplete donne un charge au surface



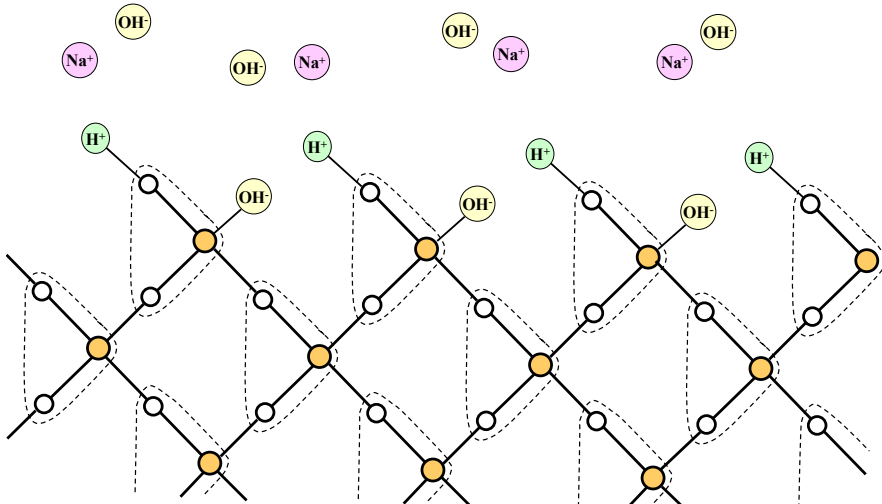
En présence d'eau, le charge du surface est neutralisé par absorption des ions de H^+ et OH^-



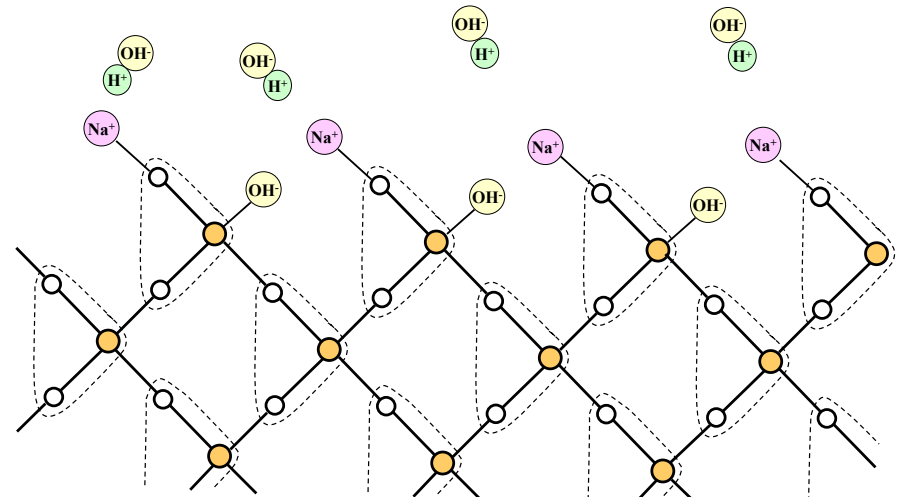
Le surface devien legerement acide

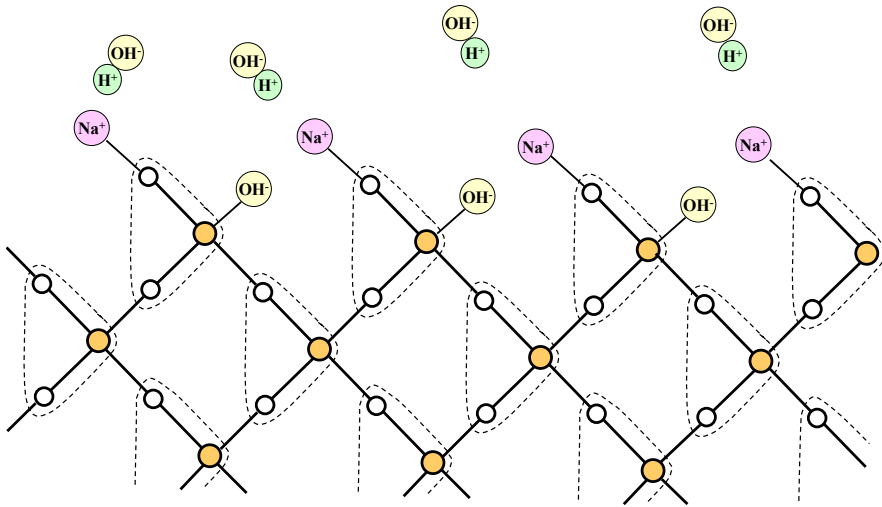
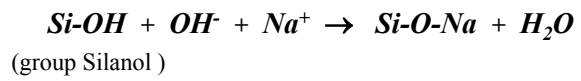


Dans les solutions alcalins (ex. NaOH)

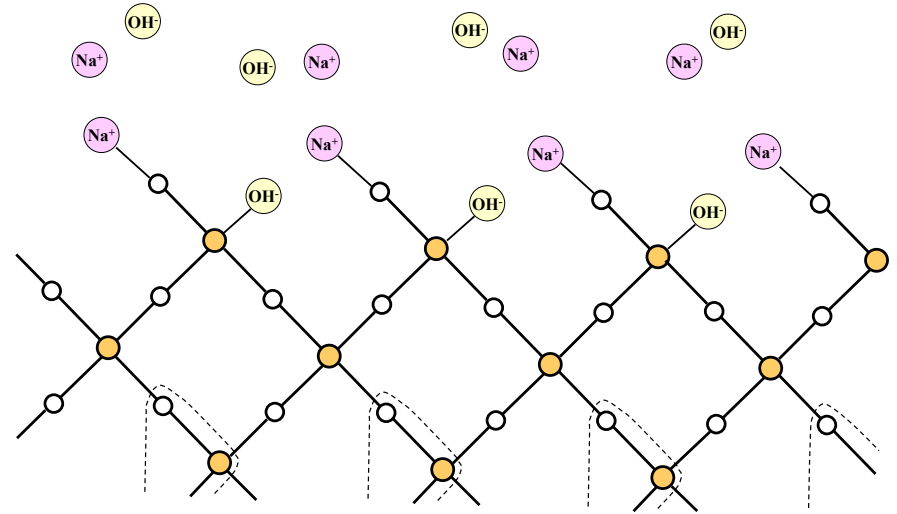


Les ion d'hydrogen sont remplacer par les ions alcali

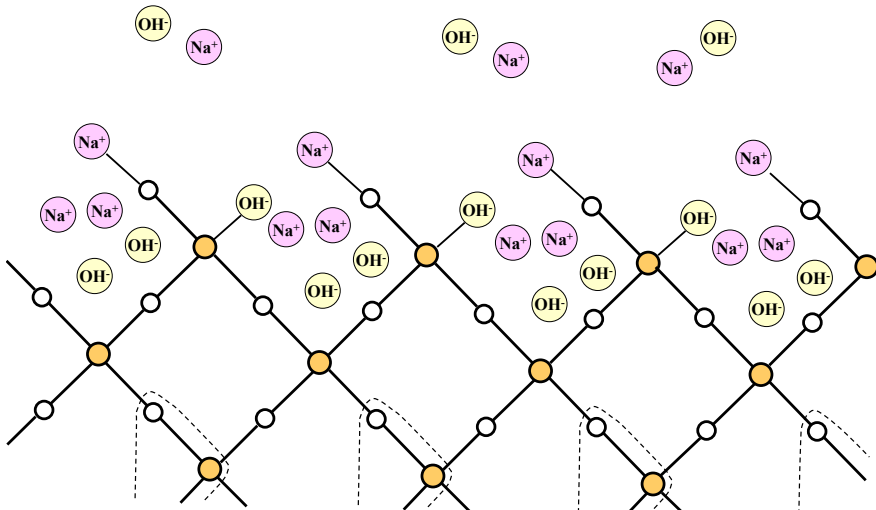




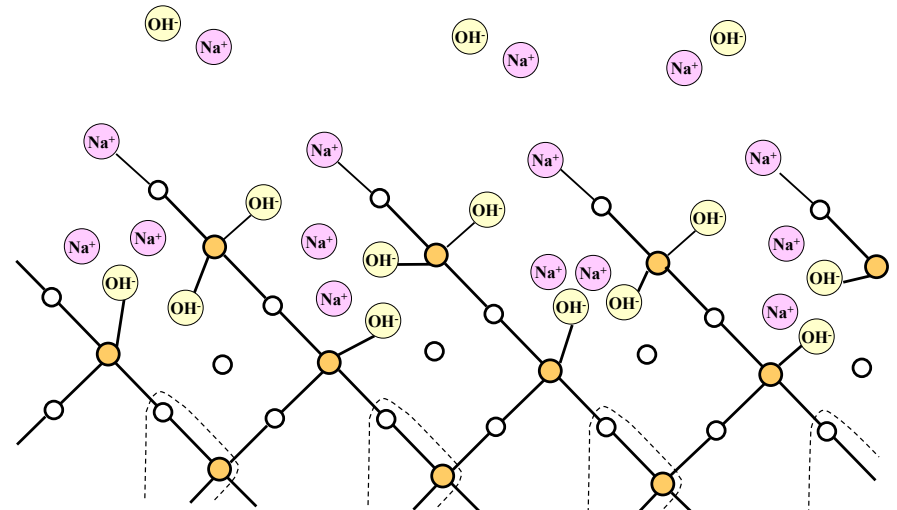
S'il reste d'alcali après cette neutralisation

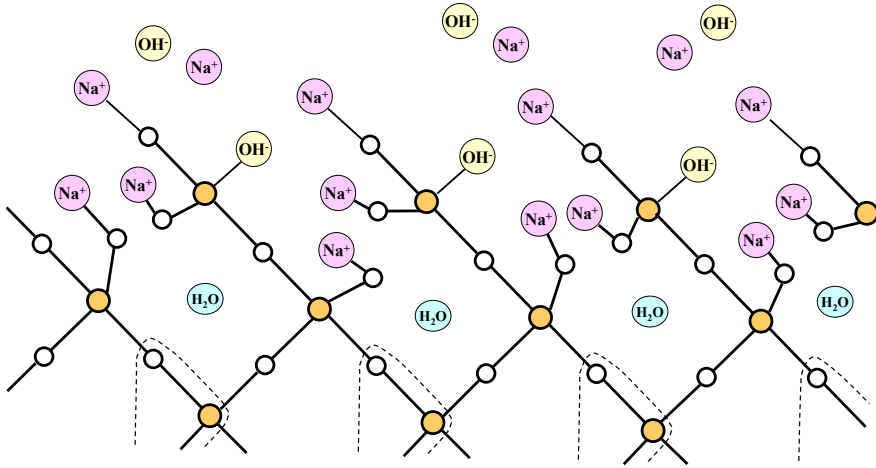
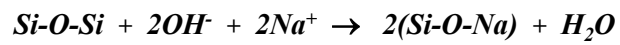


S'il reste d'alcali après cette neutralisation

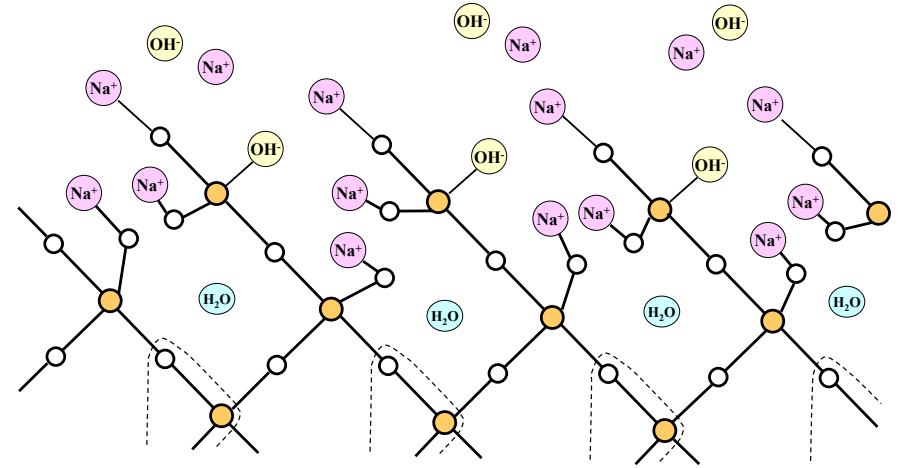


Les ions d'hydroxide attaque les liaisons siloxane (Si-O-Si)

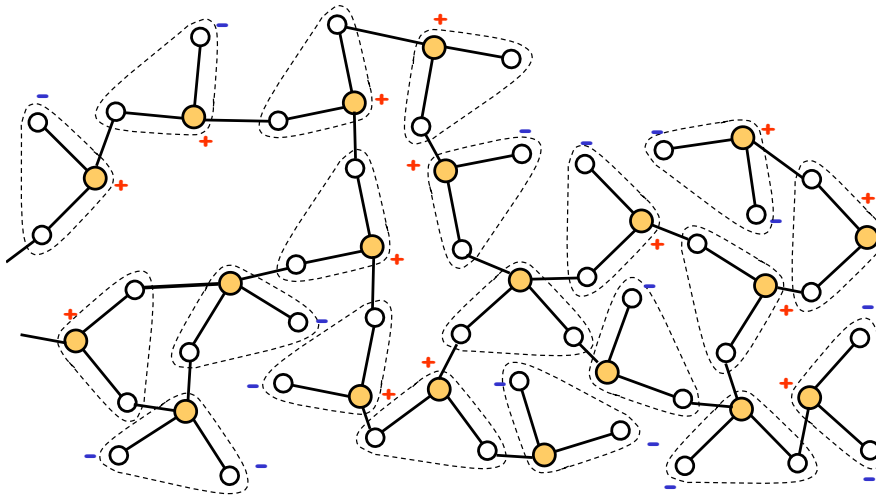




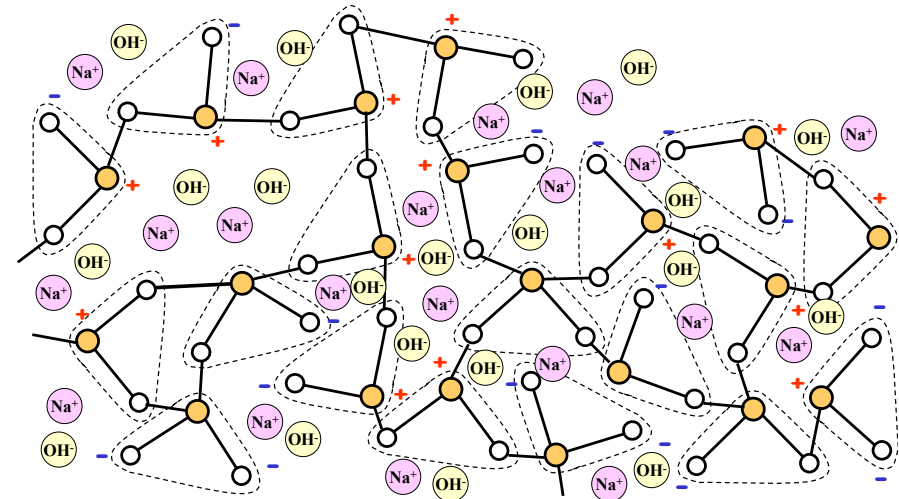
Avec les silices bien cristalline (ex. Quartz) le réaction est limité au surface



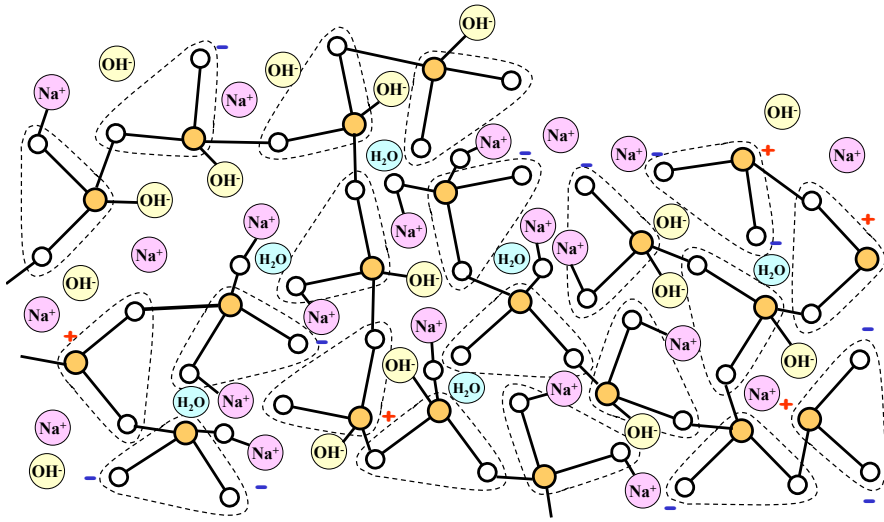
Avec silice mal cristallisée ou amorphe, l'hydroxide d'alcali pénètre plus profondément



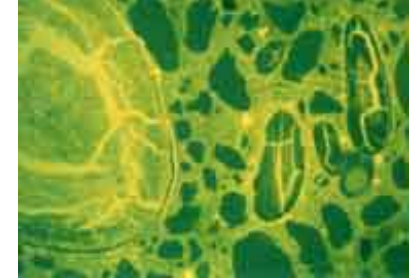
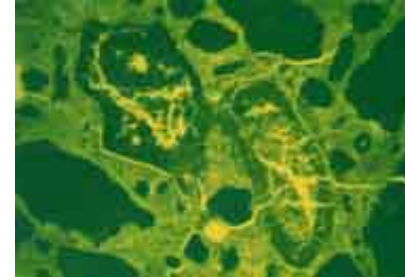
Le taux de dissolution dépend de la degré d'organisation de la silice



Le « gel » formé, absorbe de l'eau et augmente en volume



Manifestation microscopique:



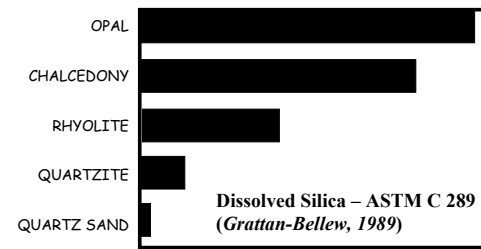
Manifestation macroscopique:



Distribution des Fissures – “Map Cracking”

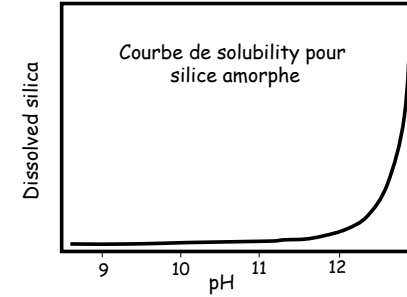


Misalignment (Distorsion)

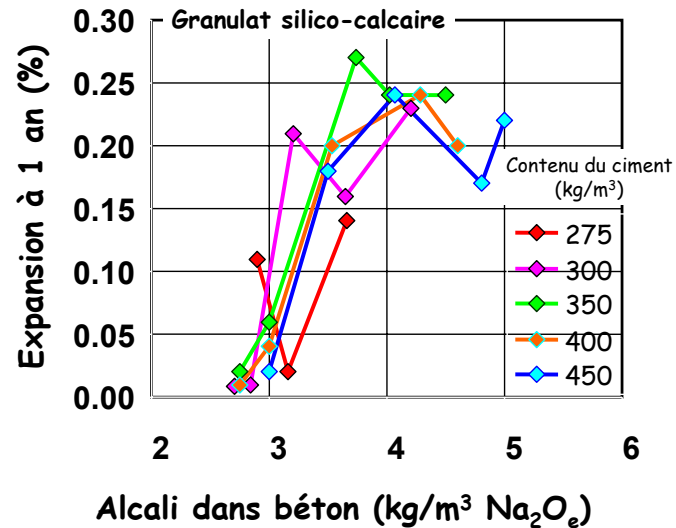


Dissolved silica

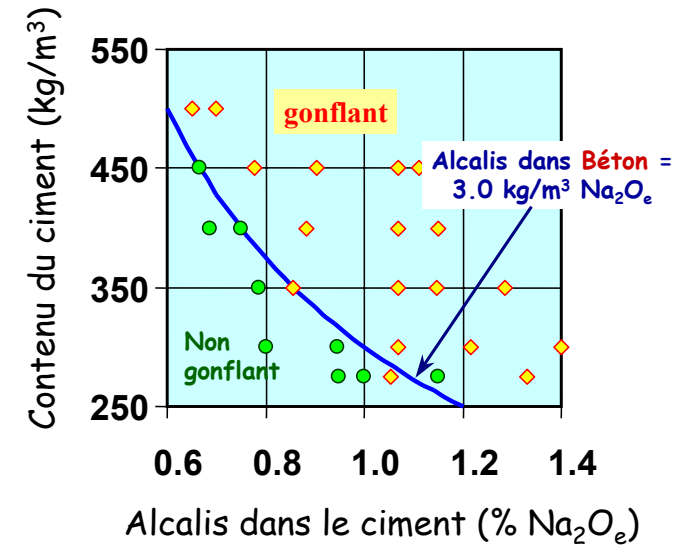
Le solubilité dépend du structure minerale et pH



Effet des alcali du béton sur expansion

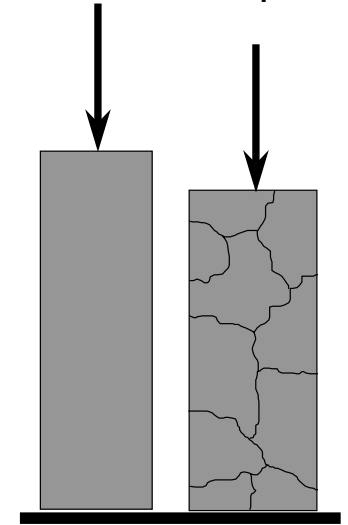


Effet des alcalis du ciment sur expansion



Effet de ASR sur propriétés mecanique

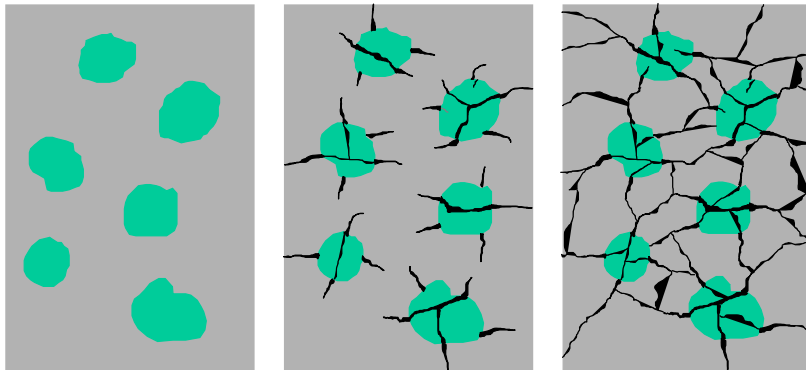
- Reducion de résistance en compression
- Baisse de module (d'Young)
- augmentation de fluage



Seuil pour ASR $\sim 3\text{kg/m}^3 \text{Na}_2\text{O}_e$

Ciment basse teneur en alcali,
 $\text{Na}_2\text{O}_e < \sim 0.7 \%$

Development de fissuration

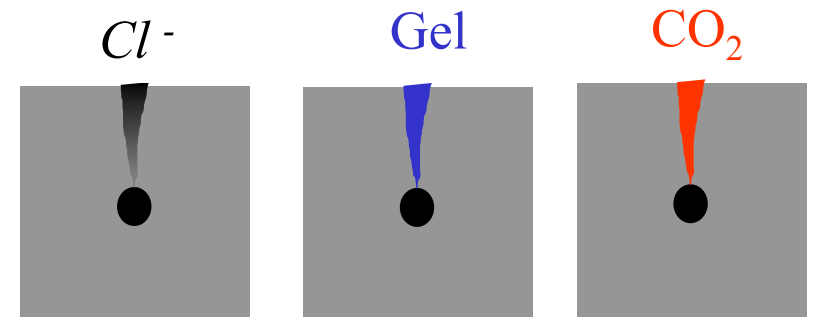


Pas endommagé

*Expansion faible
(0.04 - 0.06%)*

*forte expansion
($> 0.10\%$)*

Le fissuration peut augmenter les autres formes de dégradations



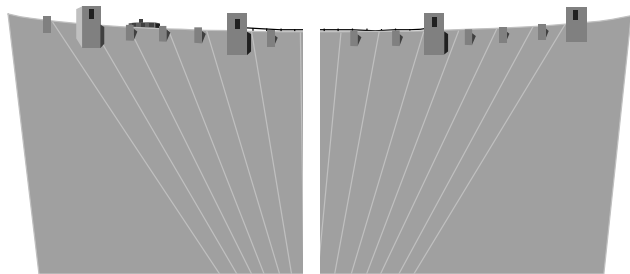
Methodes de prevention

- Evite les granulats reactifs
- Utilise le ciment basse teneur en alkali
- Utilise ciment avec cendre volant (à voir prochainement)

Mais des fois le reaction maifest seulement après 30 / 40 ans

- Cosmetique ou structurelle?
- Remplace ou reparer?
- Des fois des mesures drastique sont necessaire

Slot Cutting



Diamond
wire cutting



Provides
stress relief

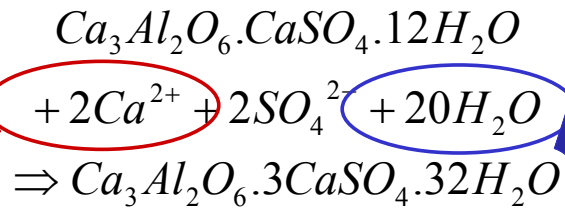
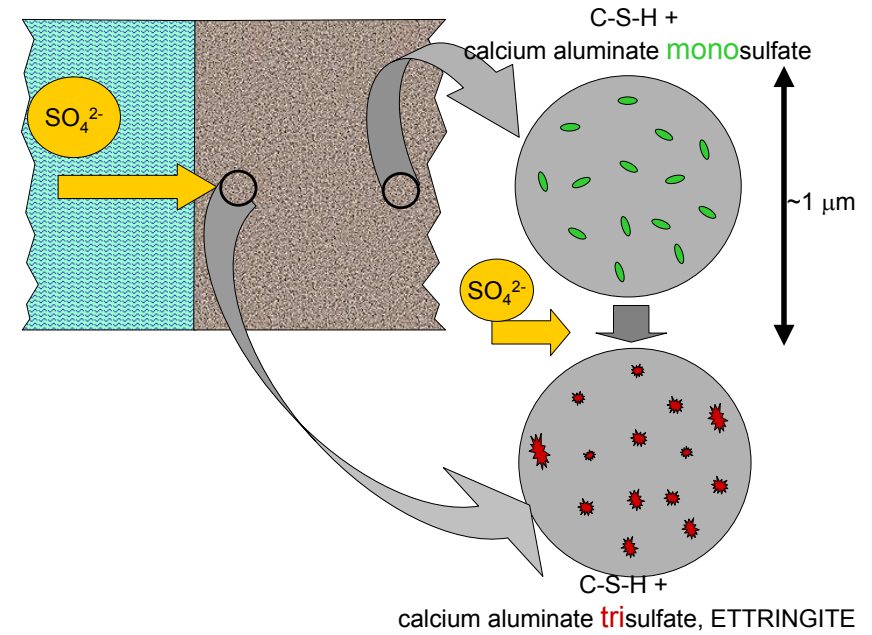


Slot Cutting at Mactaquac G.S.
New Brunswick



Attaque sulfatique

+ eau de mer



Augmentation du volume
 \Rightarrow gonflement

Prendre de calcium du C-S-H
 \Rightarrow softening

Necessaire d'avoir un dispersion fin de monosulfo dans le C-S-H

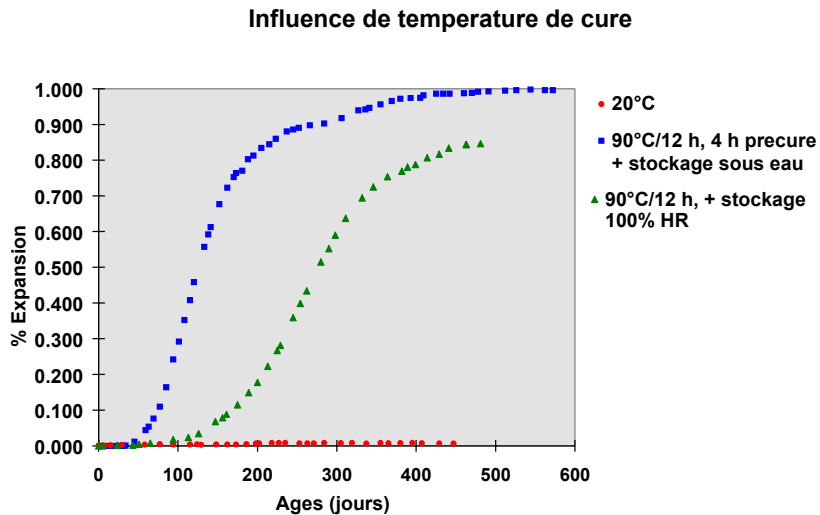
generation de pression de cristallisation

Comment éviter

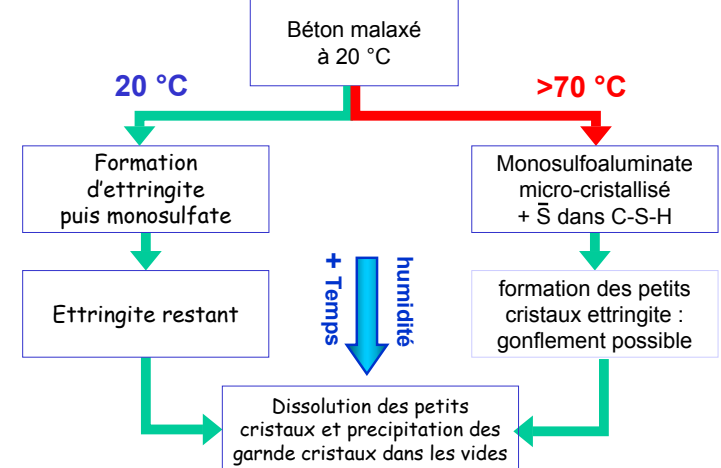
- Moins de monosulfate pour transformer
- Ciment avec basse teneur en C_3A

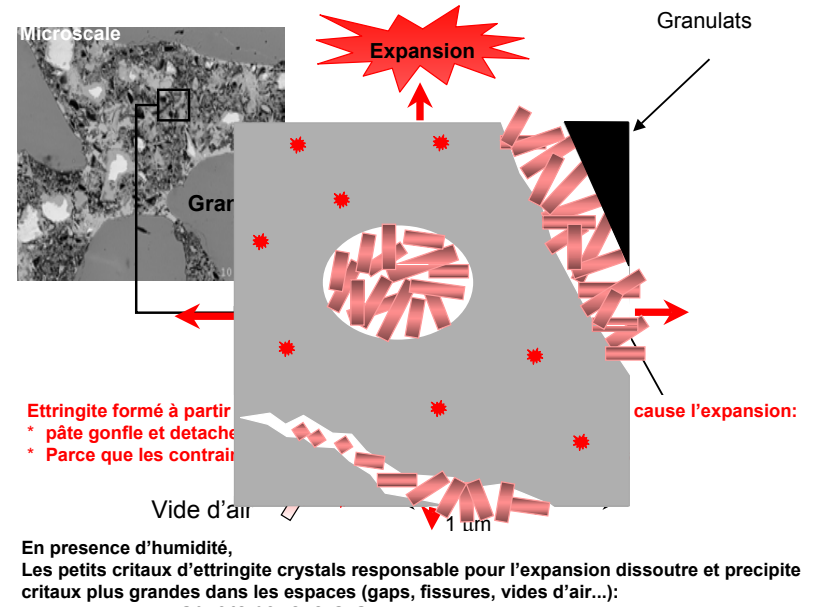
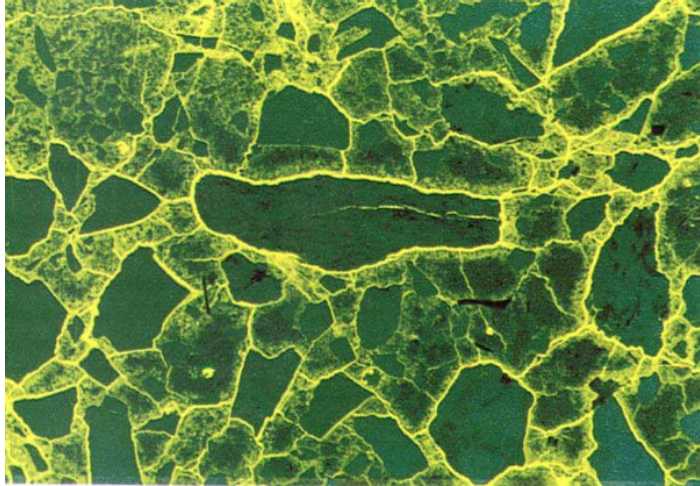
Gonflement après cure aux températures élevées

Formation d'ettringite retardée- DEF



Comparison entre cure à température ambiante et élevée





Causes de dégradation des bétons

