



## Pathologies des bétons: causes et effets

Luc COURARD

Université de Liège,

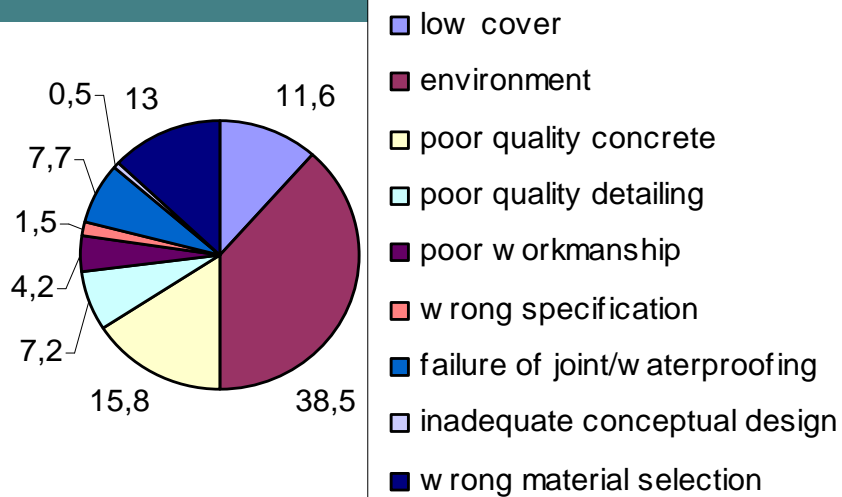
Département d'Architecture, Géologie, Environnement et Constructions

*Journée d'études, Fabi, 20 février 2014*

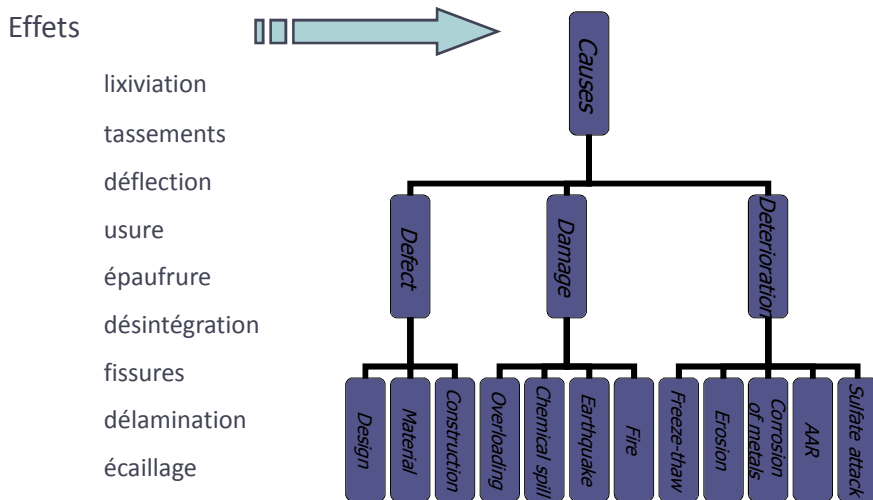
## Situation actuelle



## Facteurs contribuant à la dégradation des structures en béton (BCA, 1997)



## Pathologies



## Pathologies

### Principaux effets

- épaufrement
- désintégration
- fissures

### Cause première: **eau**

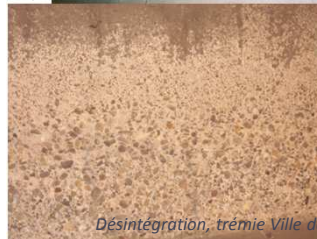
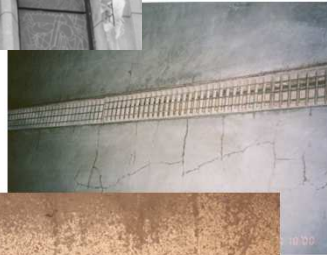
### Causes secondaires

- corrosion des armatures
- mécanismes de désintégration
- effets de la température
- fautes de conception ou de réalisation



*Épaufrures, église Saint-Vincent, Baie du Chœur (NO)*

*Fissures de retrait  
(Photo B. Chmilievska)*



*Désintégration, trémie Ville de Liège*

## Sommaire

- La porosité des bétons
- Les phénomènes de transport
- La corrosion des armatures
- Les mécanismes de désintégration
- L'effet du gel-dégel et des sels de déverglaçage
- Conclusions

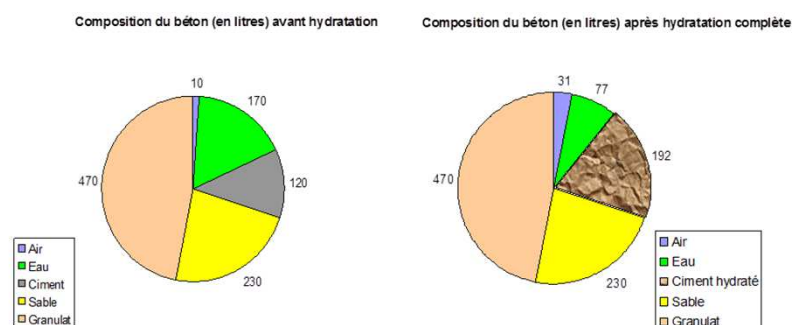
## La porosité des bétons

Le béton durci est un matériau :

- Composite
- Poreux (perméabilité)
- Hydrophile (absorption et adsorption d'eau)
- Évolutif (définir l'âge du béton)
- Fragile (voir l'allongement à la rupture)

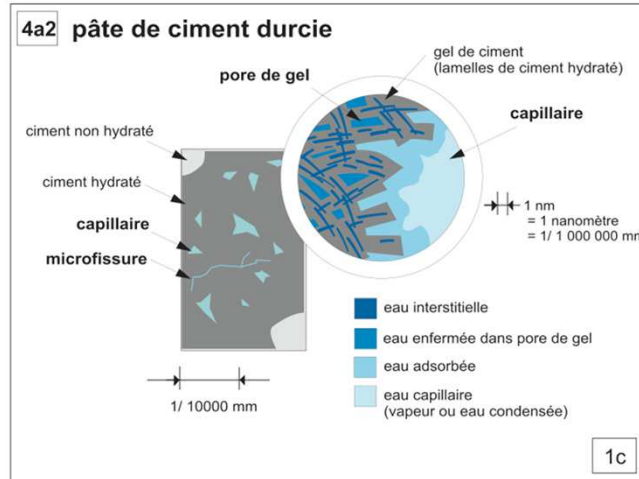
## La porosité des bétons

Composition en volume absolu (pour 1m<sup>3</sup>)



1 m<sup>3</sup> = 700l de granulats + 200l de pâte de ciment + 100l de capillaires

## La porosité des bétons



## La porosité des bétons

Pores entre les lamelles de CSH ( $r < 40\text{\AA}$ )

Pores capillaires

dans les agglomérats de CSH  $\sim 75\text{nm}$

porosité résiduelle entre grains de ciments

*fonction du rapport E/C*

variable: de 4 nm à quelques dizaines de microns

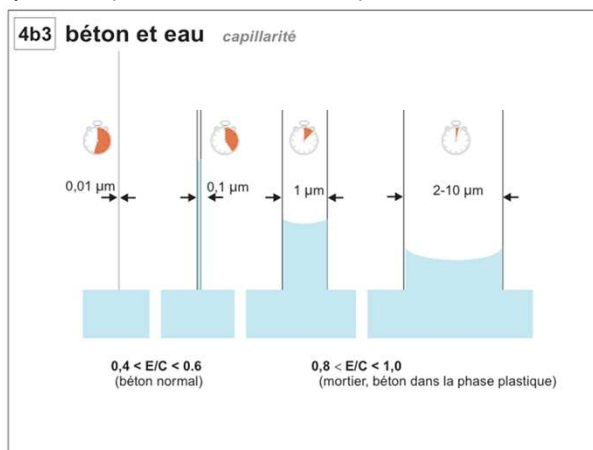
Auréole de transition

Bulles d'air et d'eau, fissures

de plusieurs  $\mu\text{m}$  à plusieurs mm

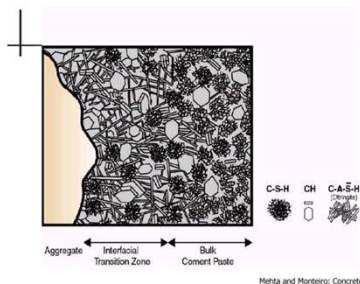
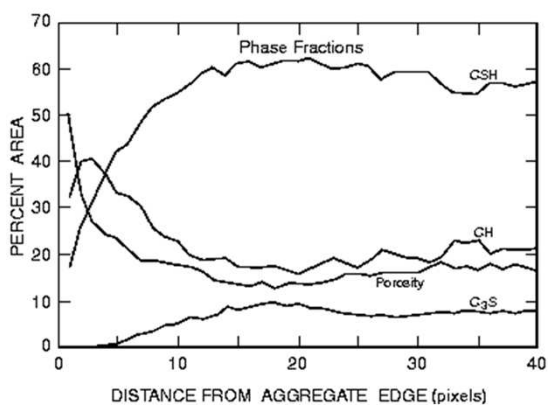
## La porosité des bétons

Porosité capillaire (en fonction de E/C)



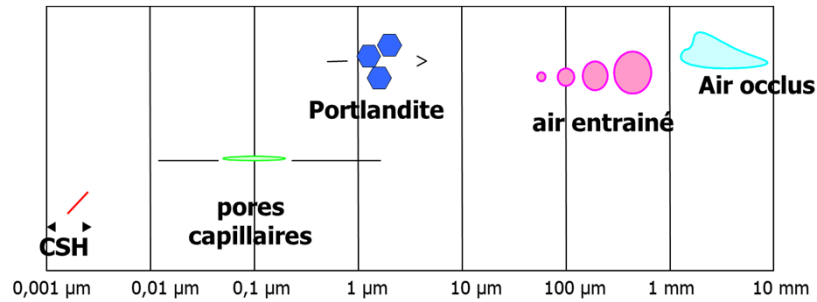
## La porosité des bétons

Auréole de transition (ITZ)



## La porosité des bétons

### Dimensions des pores



## Les phénomènes de transport

### Trois mécanismes différents

La **diffusion**, qui concerne le transfert de molécules ou d'ions dans un fluide interstitiel, de régions à forte concentration vers des régions à faible concentration;

La **perméation**, qui concerne les mouvements de liquides et de gaz soumis à des différences de pression

La **succion capillaire**, relative au transport de liquides dans des solides poreux, à cause de la tension superficielle agissant dans les capillaires

## Les phénomènes de transport

### Paramètres de la circulation

Nombre, tailles et caractéristiques  
des espèces mobiles

des voies de transport

Types et valeurs des forces motrices

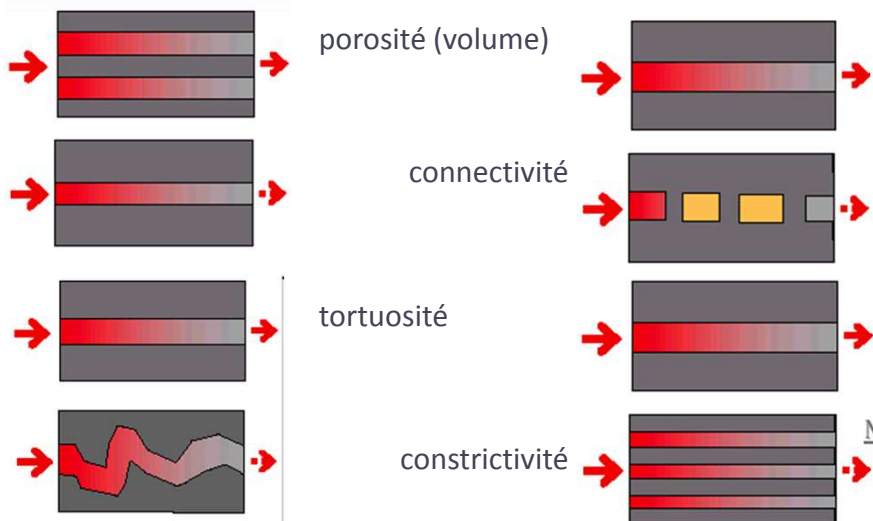
### Types de transport

en « masse » (perméation)

par diffusion



## Les phénomènes de transport

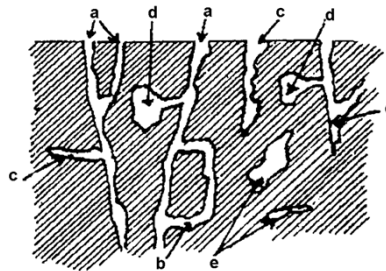




## Les phénomènes de transport

### Structure poreuse

- pores-canaux (pore a)
- pores-circuits (pore b)
- pores-impasses (pore c)
- pores-poches (pore d)
- pores fermés (pore e)



## Les phénomènes de transport

### Espèces mobiles ou mobilisables

#### de l'environnement ( $a_i$ )

eau (liquide, vapeur, glace)

air ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $SO_3$ ...)

température

éléments biologiques

#### du béton ( $b_i$ )

CSH,  $Ca(OH)_2$  et autres hydrates

composés qui n'ont pas réagi (ciment, eau,..)

$CaSO_4$ ,  $C_3A$

## La corrosion des armatures

### Corrosion par les chlorures

environnement marin, sels de déverglaçage, sables marins non lavés,  $\text{CaCl}_2$

### Corrosion par carbonatation

teneur en  $\text{CO}_2$ , humidité, type et teneur en ciment



effet des chlorures



effet de la carbonatation

## Les mécanismes de désintégration

### Démembrement

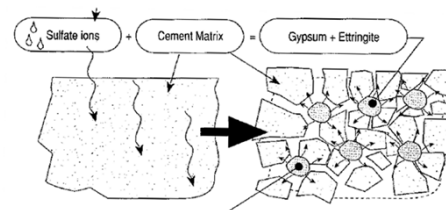
Gonflement de la matrice cimentaire (réactions sulfatiques)

Gonflement des granulats (réaction alcali-silice)

Gonflement dans les capillaires (gel)

Dissolution de la matrice (ou des granulats)

Érosion par abrasion/cavitation



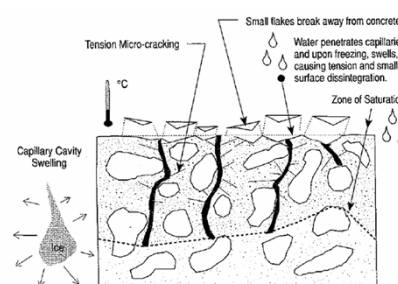
Cuves à vin - Afrique du sud, 2008

## Les mécanismes de désintégration

### Effet du gel-dégel

Eau: rare élément à avoir un volume plus important à l'état solide qu'à l'état liquide (pour une masse équivalente).

La masse de l'eau ne change pas quand elle se solidifie mais son volume varie et augmente d'environ 10 %.



## Les mécanismes de désintégration

### Effet du gel-dégel

les forces d'adhésion capillaires abaissent le point de congélation: l'eau contenue dans les pores les plus fins ne se transforme en glace qu'à une température loin au dessous de 0°C !

### Conclusion

la glace se forme d'abord dans les pores les plus grands et ensuite, lors d'un abaissement plus poussé de la température, dans les plus petits, seule l'eau contenue dans les pores capillaires les plus larges est susceptible de geler dans notre climat,

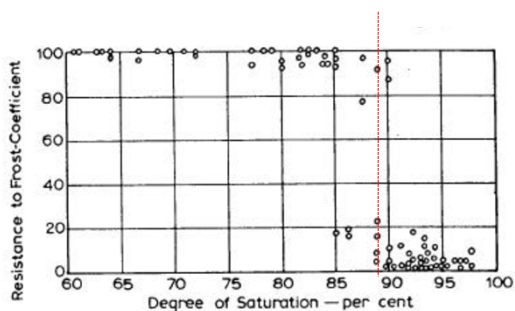
### Actions

diminuer le nombre et la section des pores capillaires

adopter un rapport E/C le plus faible possible (max 0.55 dans un environnement normal et 0.5 dans un environnement marin).

## Les mécanismes de désintégration

Effet du gel-dégel: un béton n'est dégradé par le gel que s'il est entièrement saturé d'eau ou proche de la saturation



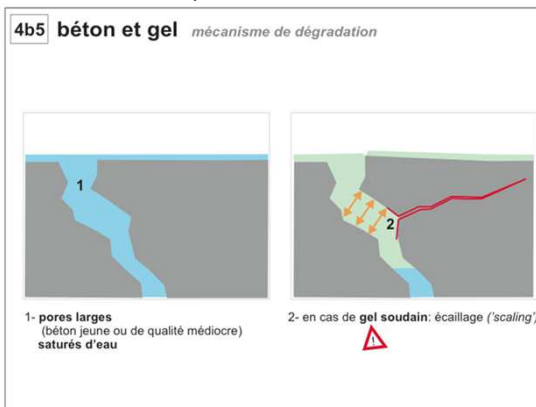
Influence du degré de saturation d'un béton sur sa résistance au gel.  
[tiré de Neville, A. M. *Properties of concrete*, 3e édition, Longman Scientific & Technical, Harlow Essex, 1991].

## Les mécanismes de désintégration

Effet du gel-dégel

Mise en traction de la couche superficielle du béton

Fissuration



## Les mécanismes de désintégration

### Effets des sels de déverglaçage

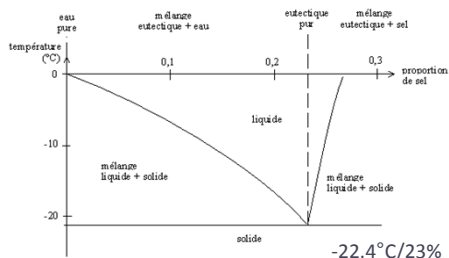
#### Application des sels (NaCl, CaCl<sub>2</sub>)

le mélange eau-NaCl fond à environ -21°C.

le mélange eau-CaCl<sub>2</sub> fond vers -40°C.

réaction endothermique: chaleur nécessaire pour faire fondre la glace et la neige: provient de la couche superficielle du béton.

→ chute brutale de température → choc thermique → contraintes internes → une fissuration de la zone superficielle



## Les mécanismes de désintégration

### Effets des sels de déverglaçage

#### Après le dégel

eau à forte concentration en chlorures,

→ entraînement des Cl<sup>-</sup> par absorption capillaire.

→ abaissement du point de congélation (d'autant plus que la concentration augmente).

deux couches gelées séparées par une couche intermédiaire non gelée si abaissement supplémentaire de la température:

gel de l'eau de cette couche,

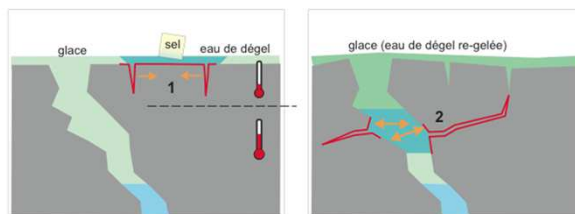
elle ne trouve pas d'espace d'expansion et repousse la couche supérieure.

→ écaillage ou 'scaling'.

## Les mécanismes de désintégration

### Effets des sels de déverglaçage

#### 4b5 béton et gel *sels de déverglaçage - mécanismes de dégradation*



1- dissolution des sels et fusion de la glace  
(*réaction endothermique*)  
⇒ refroidissement brusque du béton  
de surface (*choc thermique*)  
⇒ contraintes de traction, fissuration...

2- gel de l'eau enfermée  
⇒ expansion empêchée  
⇒ fissuration, écaillage...

## Les mécanismes de désintégration

### Effet des sels de déverglaçage



## Conclusions

Importance du diagnostic

Inspection générale

Inspection visuelle

Examen global

Inspection spécifique (expertise)

Corrosion

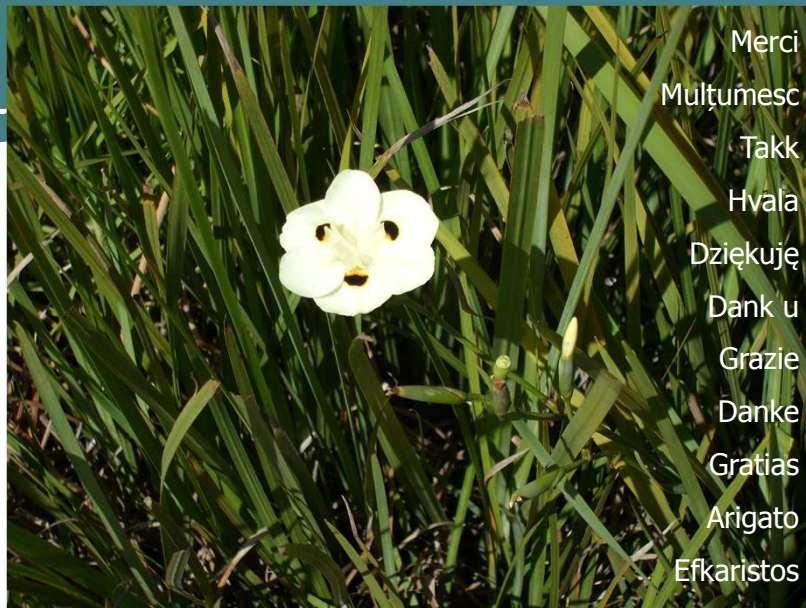
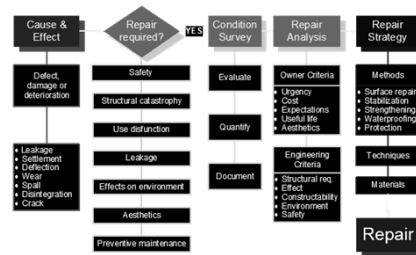
Intégrité du support

Résistance

Contamination chimique

Méthodes d'analyse destructives et non destructives

**Prévoir un budget !**



Merci  
 Mulțumesc  
 Takk  
 Hvala  
 Dziękuję  
 Dank u  
 Grazie  
 Danke  
 Gratias  
 Arigato  
 Efkaristos