

Résistances mécaniques

Rôle critique des fissures

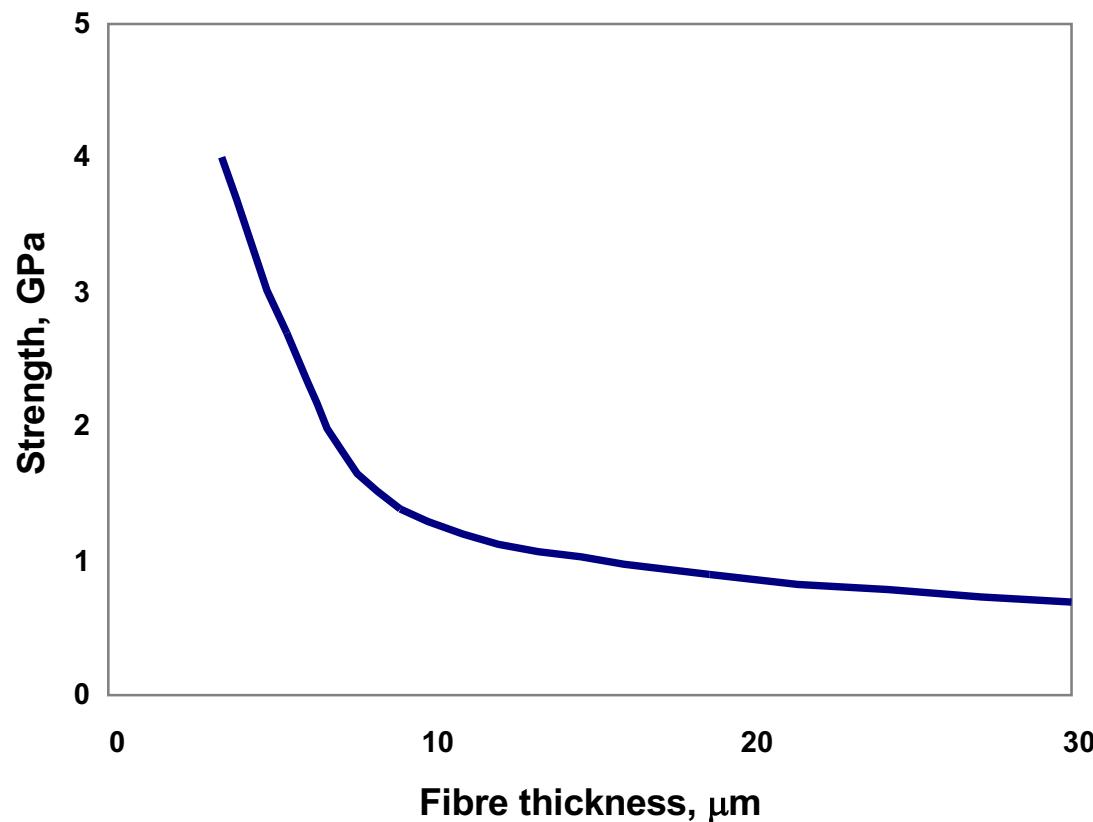
La résistance théorique
est de l'ordre de

$$\sigma_{\theta} \sim \frac{E}{10}$$

en réalité, les résistances réelles sont $< \sim 10^{-3} E$
pour les matériaux fragiles

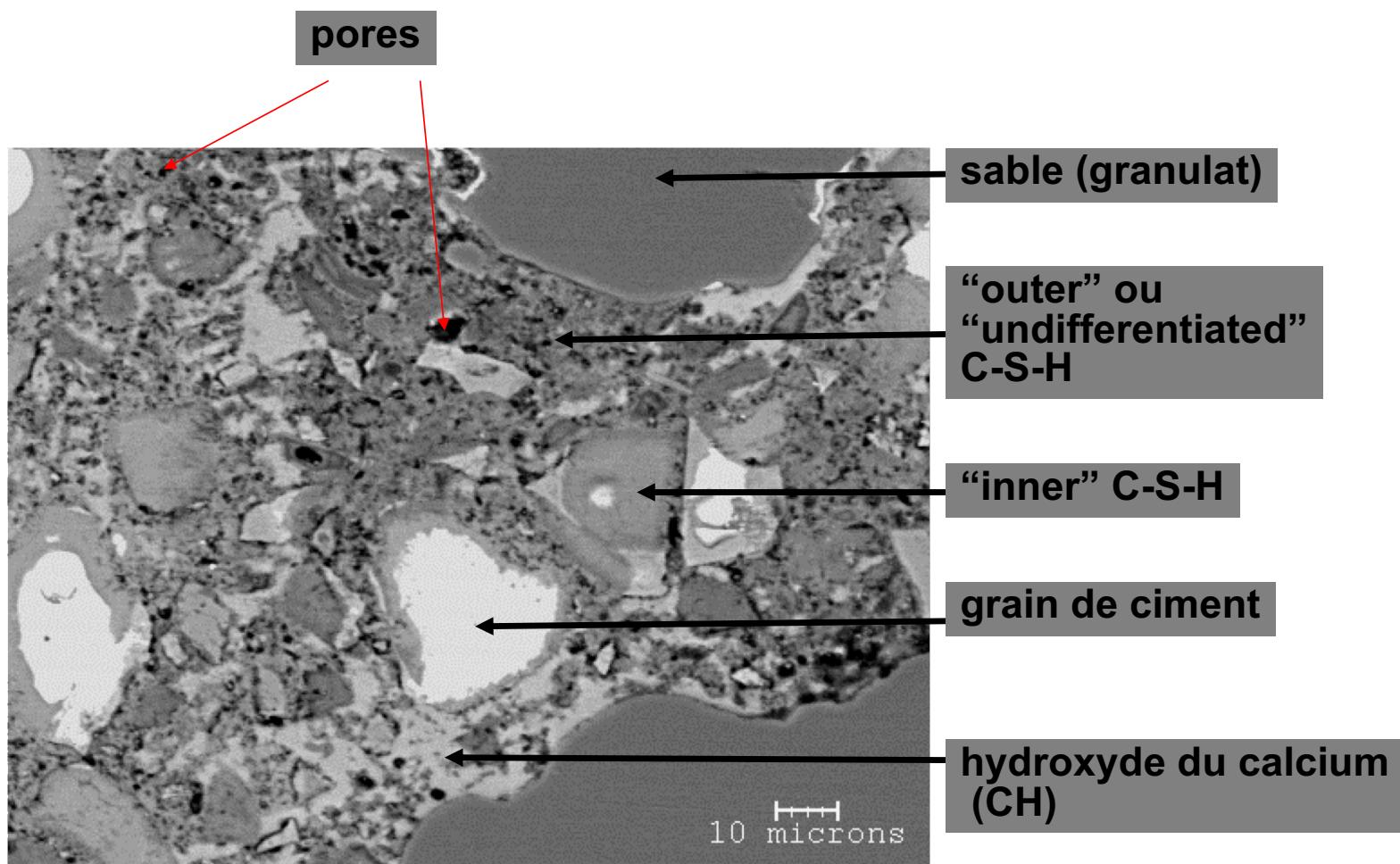
Mais,
pour les fibres très minces
on s'approche de la résistance théorique

Travail de Griffith sur les fibres de verre

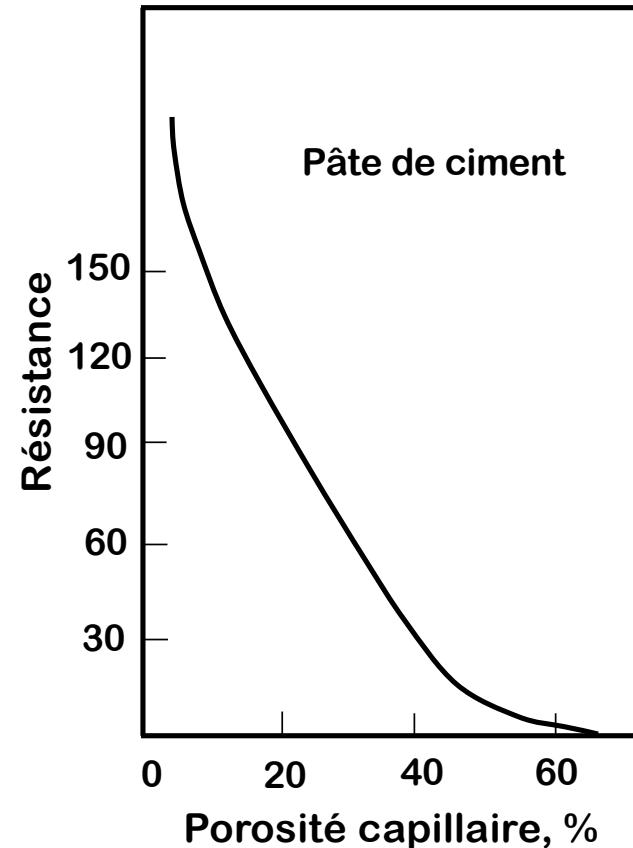
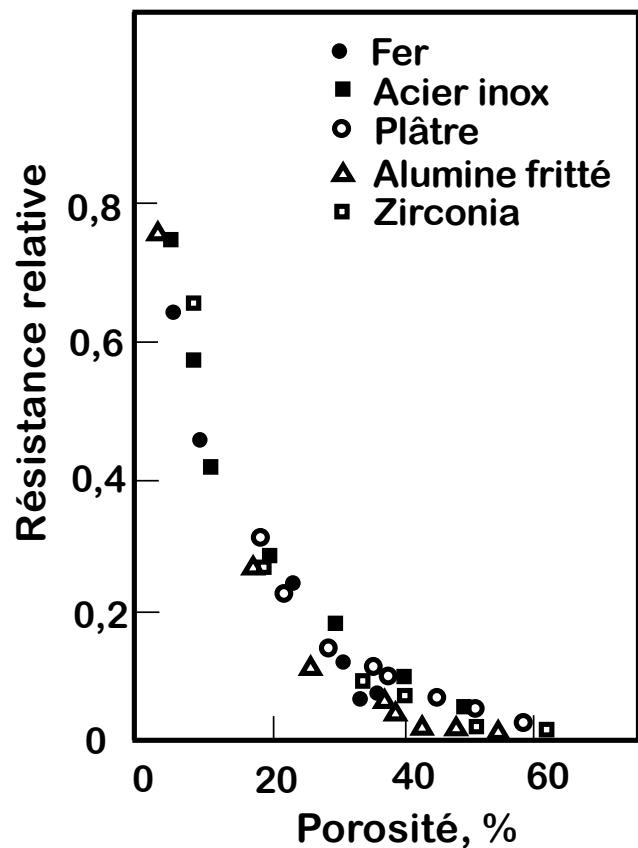


La résistance des fibres augmente quand leur épaisseur diminue

$$\sigma \propto \frac{1}{\sqrt{C}}$$



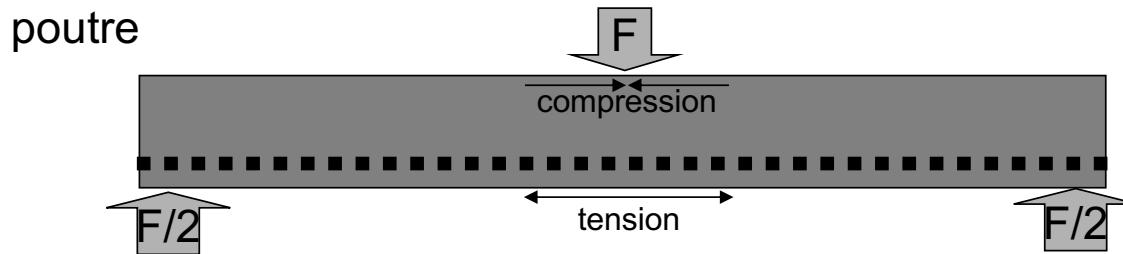
Dans tous les matériaux, les pores sont aussi un paramètre qui influence fortement la résistance



Compression vs Flexion

- A cause des fissures, la résistance à la flexion des bétons est très basse: quelque MPa (acier : 300)
- $R_c \sim 10 \times R_t$
- en conséquence les bétons sont toujours utilisés en compression.

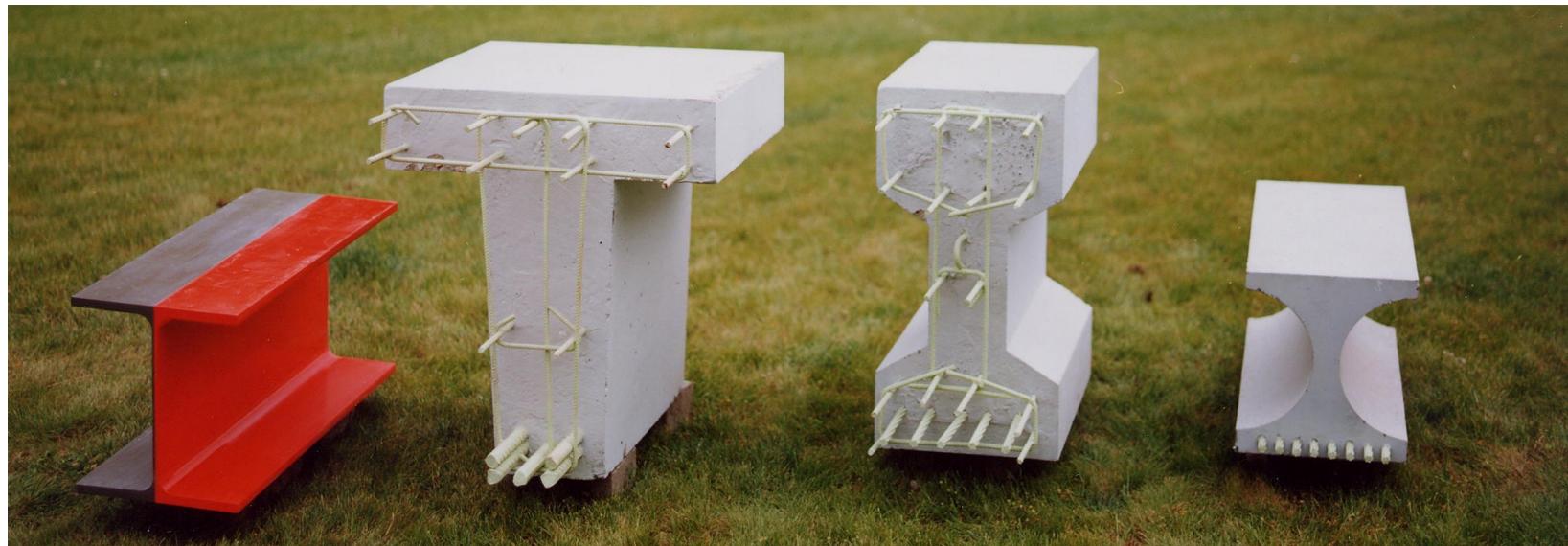
Le béton armé est renforcé par des armatures en acier:



La résistance à la traction du béton est admise comme nulle: $R_t = 0$

Par définition, le béton armé est fissuré sous les charges de service.

Poutres avec capacité porteuse équivalente



ACIER

poids **117**

BÉTON ARMÉ

530

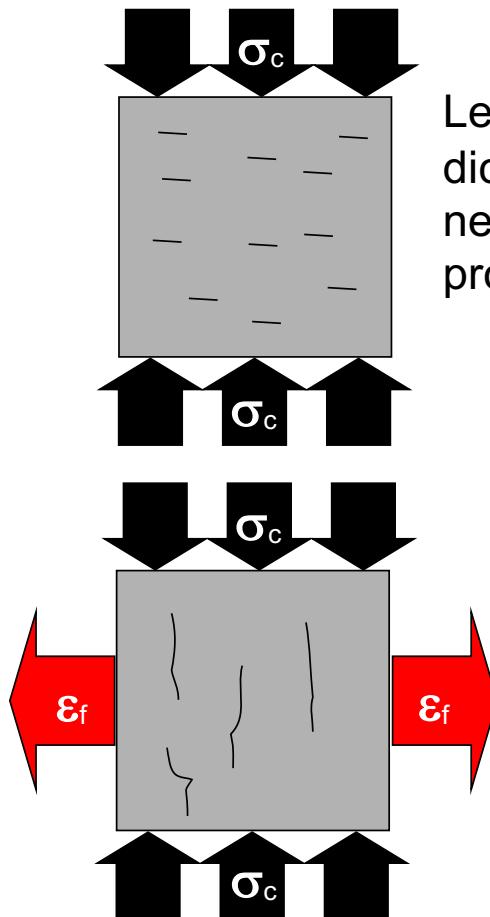
**BÉTON
PRÉCON-
TRAINT**

467

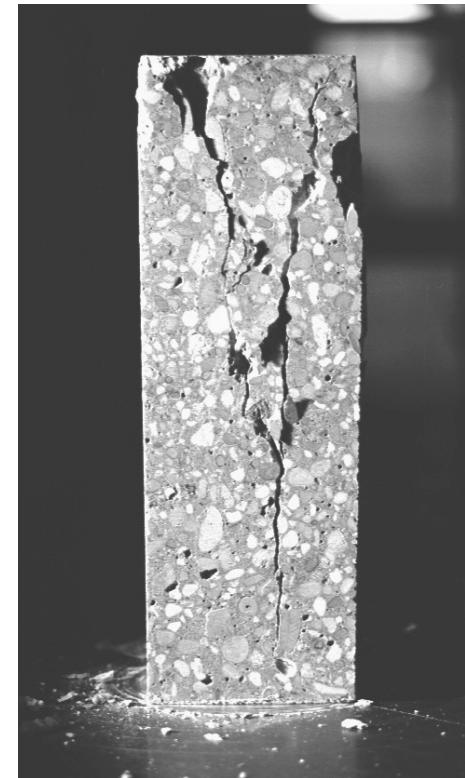
 **Ductal®**

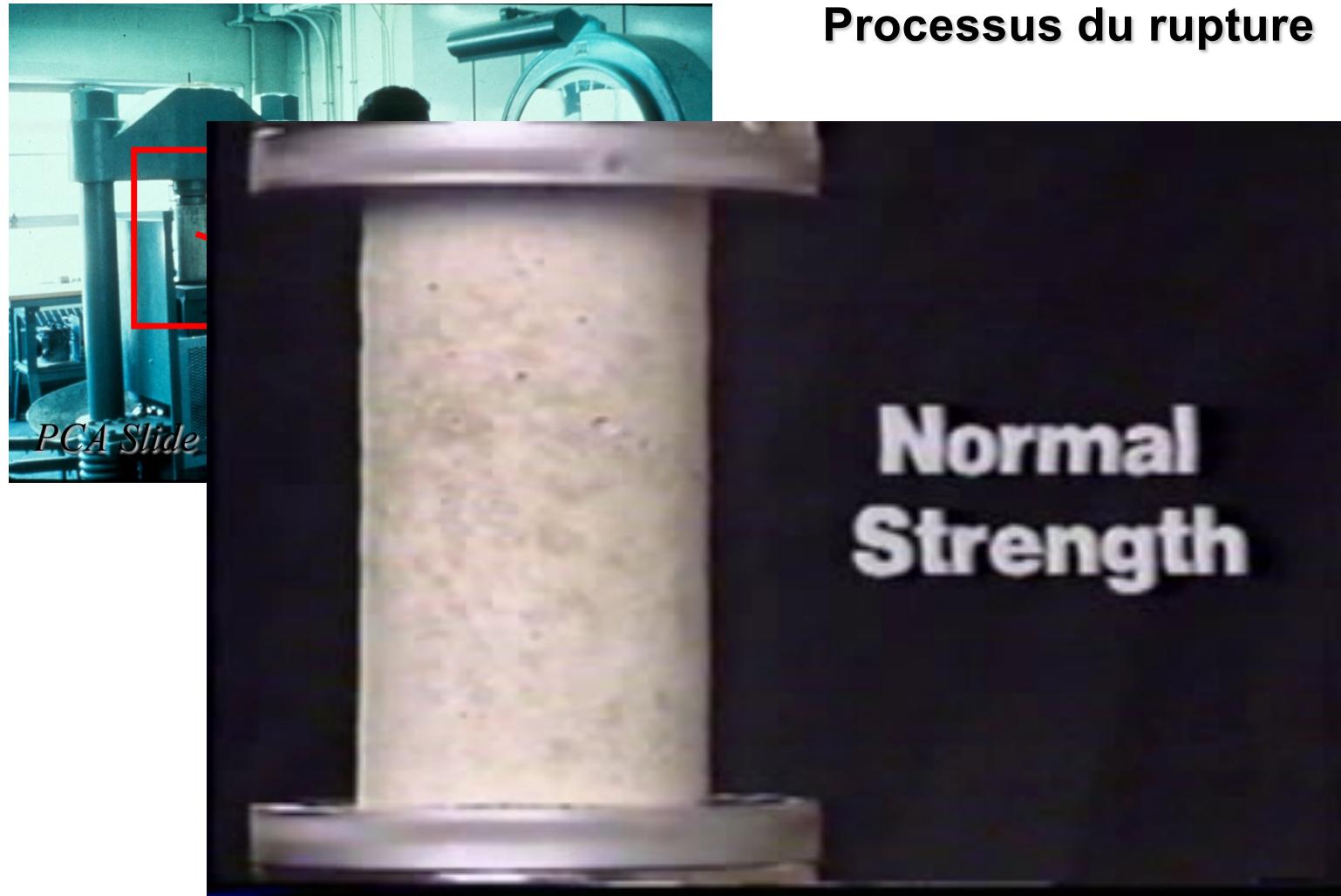
140

Sous l'effet d'une compression l'échantillon se raccourcit longitudinalement et gonfle latéralement



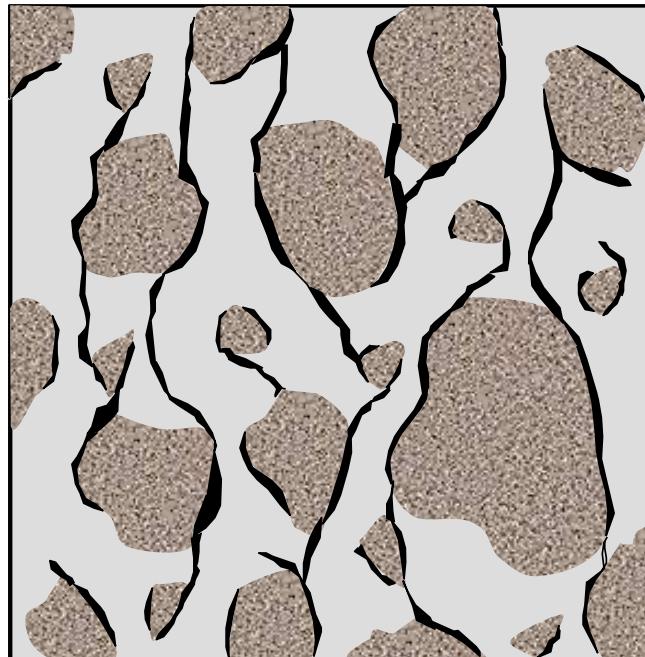
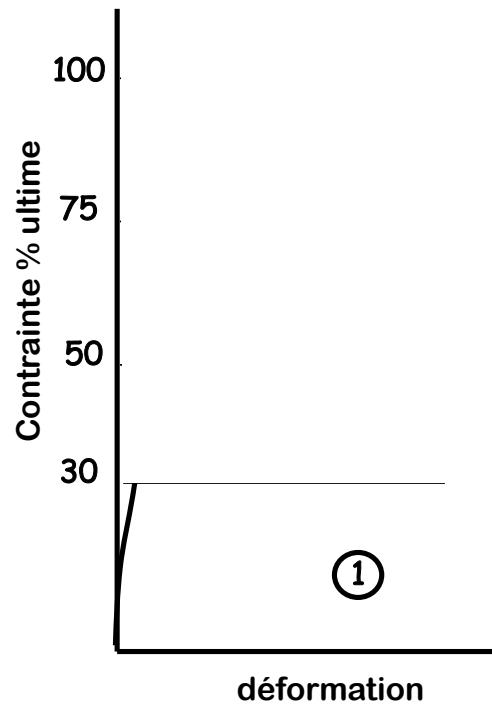
Les fissures perpendiculaires aux charges ne peuvent pas se propager





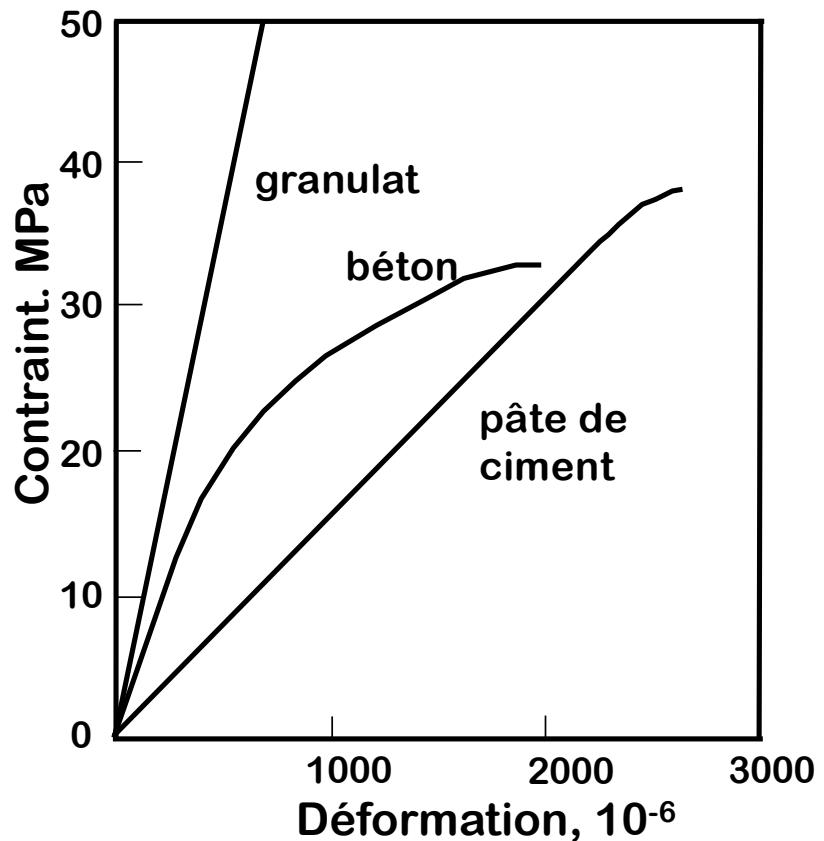
Processus du rupture

Mode de rupture



- ① 30% contrainte ultime
- ② 50% contrainte ultime
- ③ 75% contrainte ultime
- ④ contrainte ultime

Le béton comme matériau composite

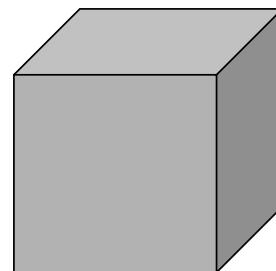


- Les granulats et la pâte de ciment ont un comportement linéaire élastique jusqu'à la rupture
- En revanche, le béton démontre une déviation à la linéarité avant rupture

D'où la complexité du mode de rupture:

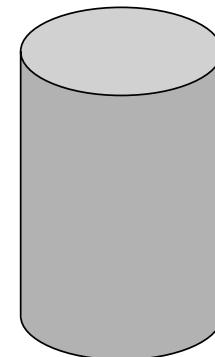
La forme de l'échantillon a un impact significatif:

cubes



$$R_{\text{cyl}} \sim 0,8 R_{\text{cub}}$$

cylindres



$$\frac{\text{hauteur}}{\text{largeur}} = 2$$

Pays

UK, Suisse, etc

USA, France, etc

Dimensions typiques

200 mm x
200 mm x
200 mm

160 mm x
320 mm

$$D_{\min \text{ moule}} > 5 \times D_{\max \text{ gran.}}$$

Avantages

2 faces moulées

Distribution des contraintes plus uniforme; fretage réduit

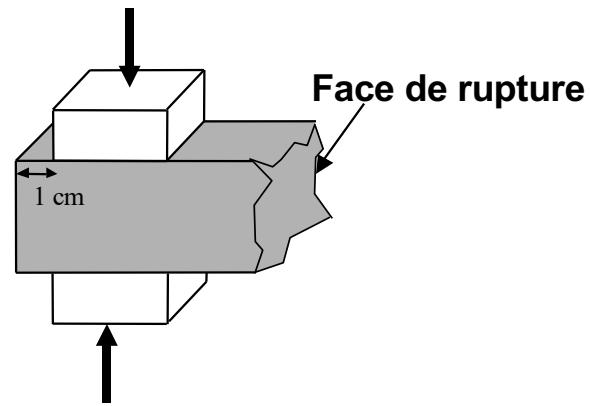
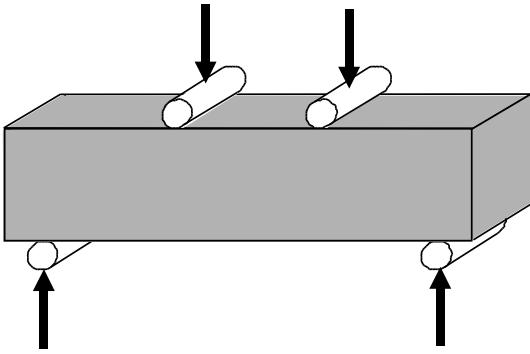
Désavantages

Résistance élevée par fretage;
État de contrainte non uniforme

Besoin de rectifier

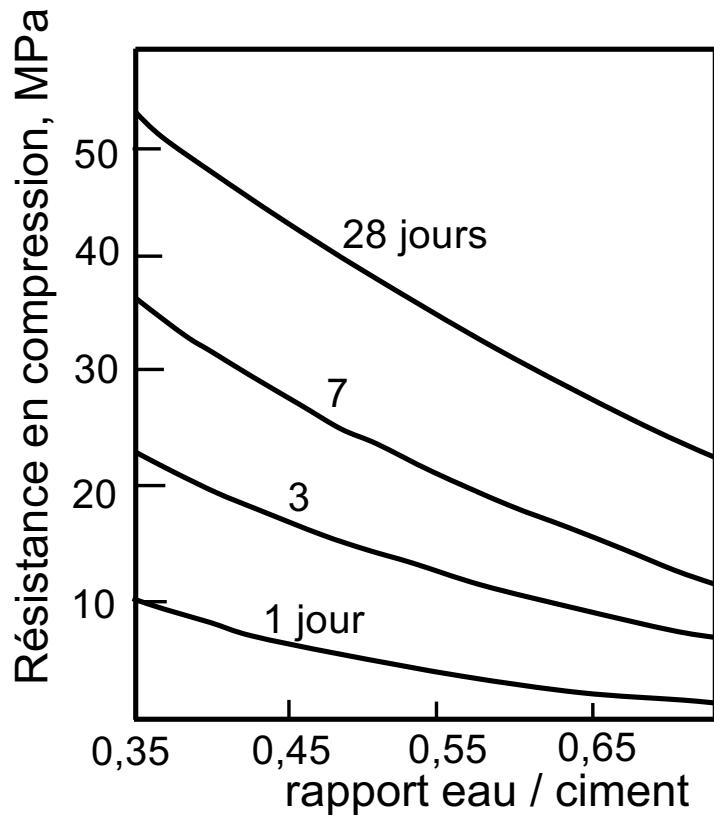
Prismes

Ex: 40 mm x 40 mm x 160 mm
100

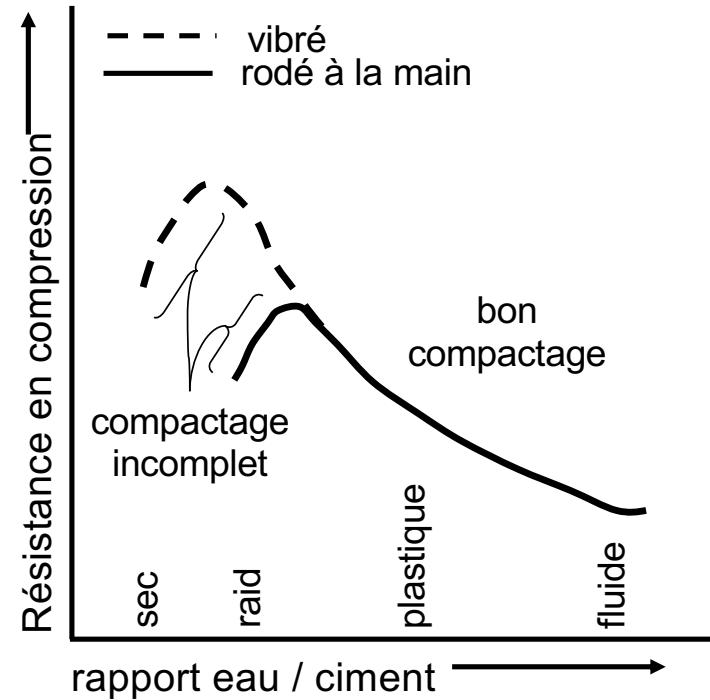


Possibilité de mesurer la résistance à la flexion et à la compression sur le même échantillon

Effet de l'âge et E/C



Mais attention à l'ouvrabilité



Loi de Feret, 1896

$$R = K \left(\frac{c}{c + e + v} \right)^2$$

Résistance à la compression

Constante,:
Fonction de l'âge,
mode de conservation
et liant

Volumes de:
c – ciment
e – eau
v – vides

$$R = K \left(\frac{c/(e+v)}{c/(e+v)+1} \right)^2$$

Loi de Bolomey

$$R = K \left(\frac{C}{E + V} - K' \right)$$

Pour $v < \sim 2\%$

$$R = K \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

Powers

$$R = a \left(\frac{\alpha c}{\alpha c + e + v} \right)^3$$

α = fraction du ciment hydraté

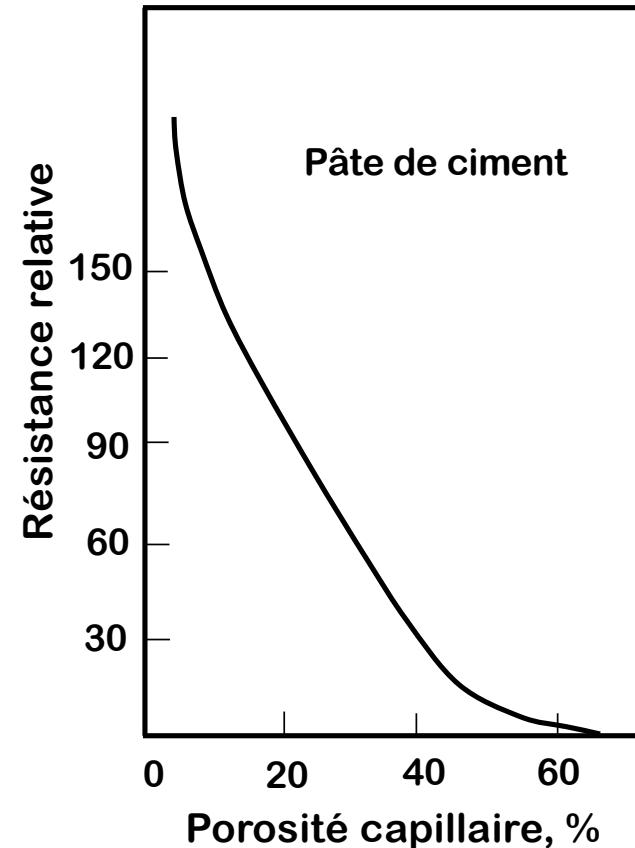
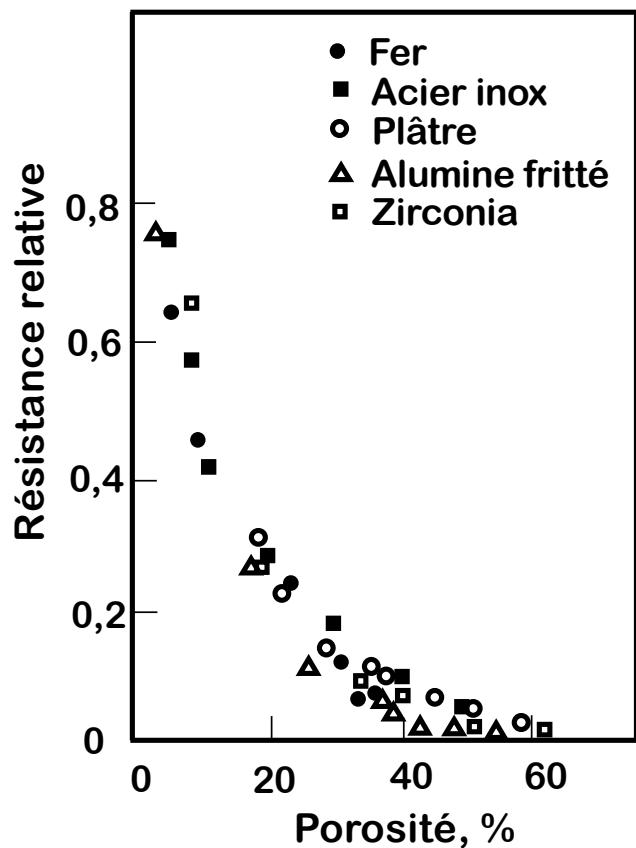
Équivalent à:

$$R = a(1 - P)^3$$

Ou P = porosité:

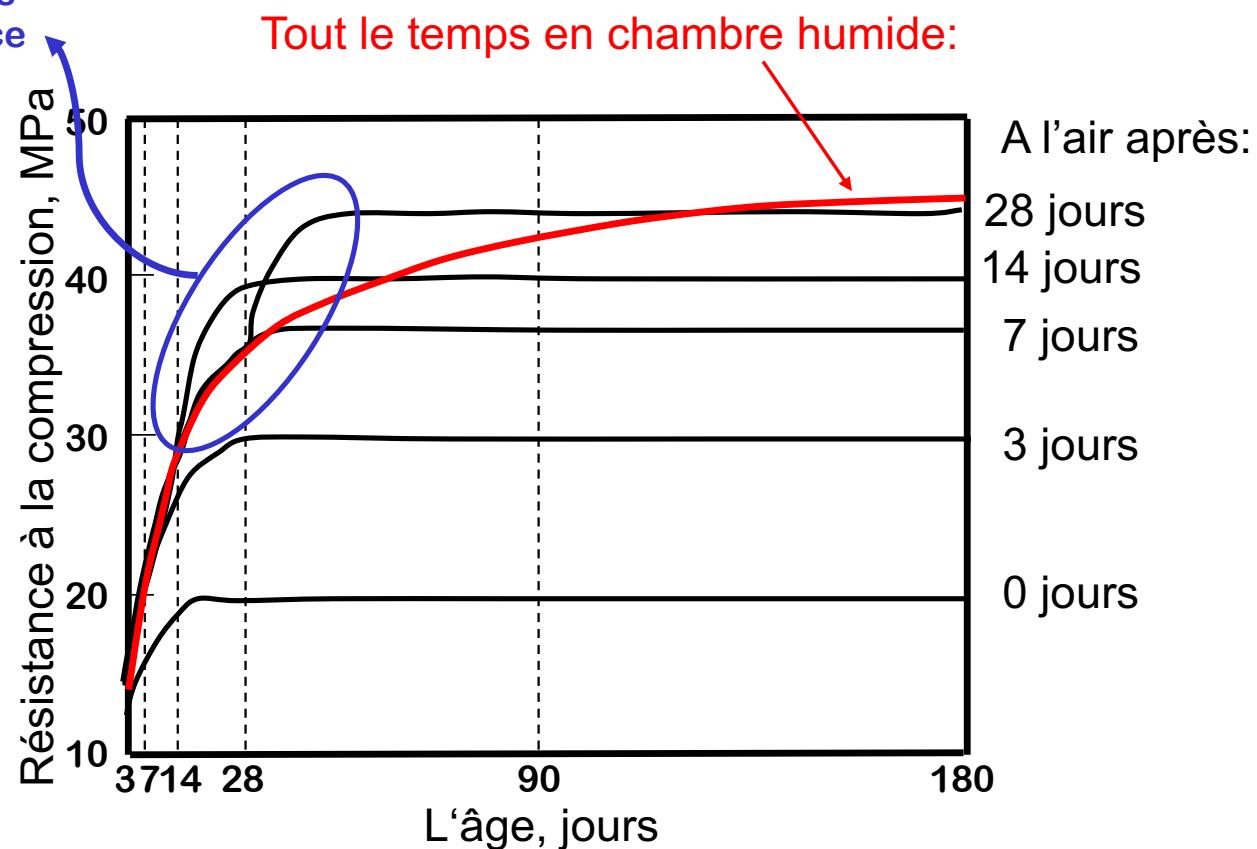
En fonction du nombres de paramètres inconnus (a et α), cette formule n'est pas pratique à utiliser

Dans tous les matériaux, la porosité est aussi un paramètre qui influence fortement la résistance

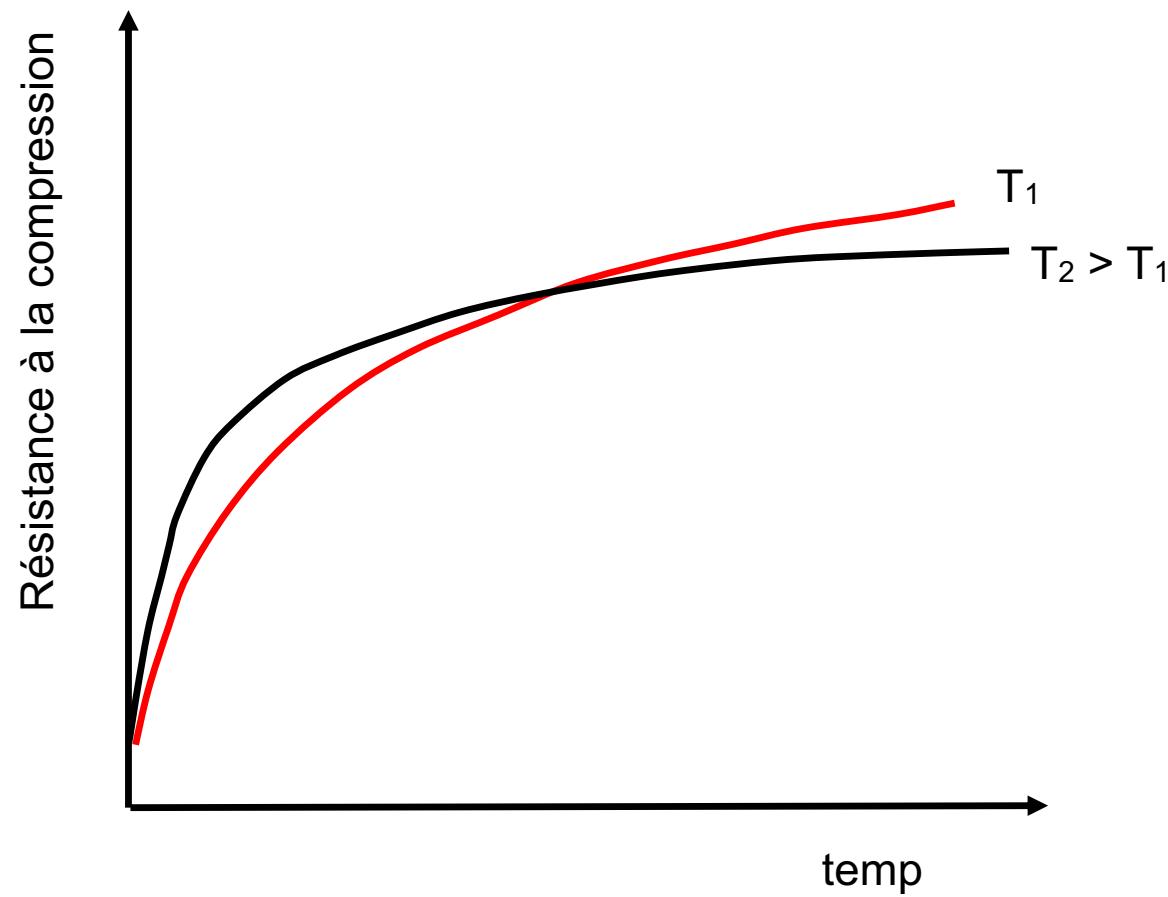


Importance de conservation

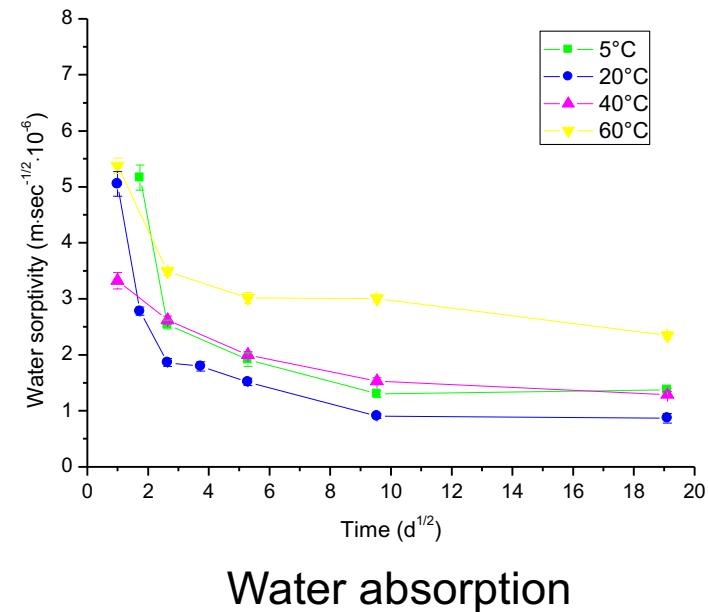
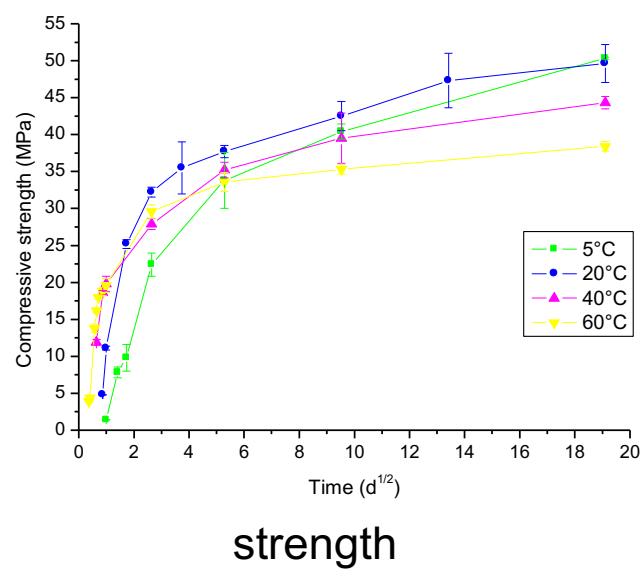
Pour le même état d'hydratation les échantillons secs ont une résistance plus élevée que les échantillons humides



Temperature



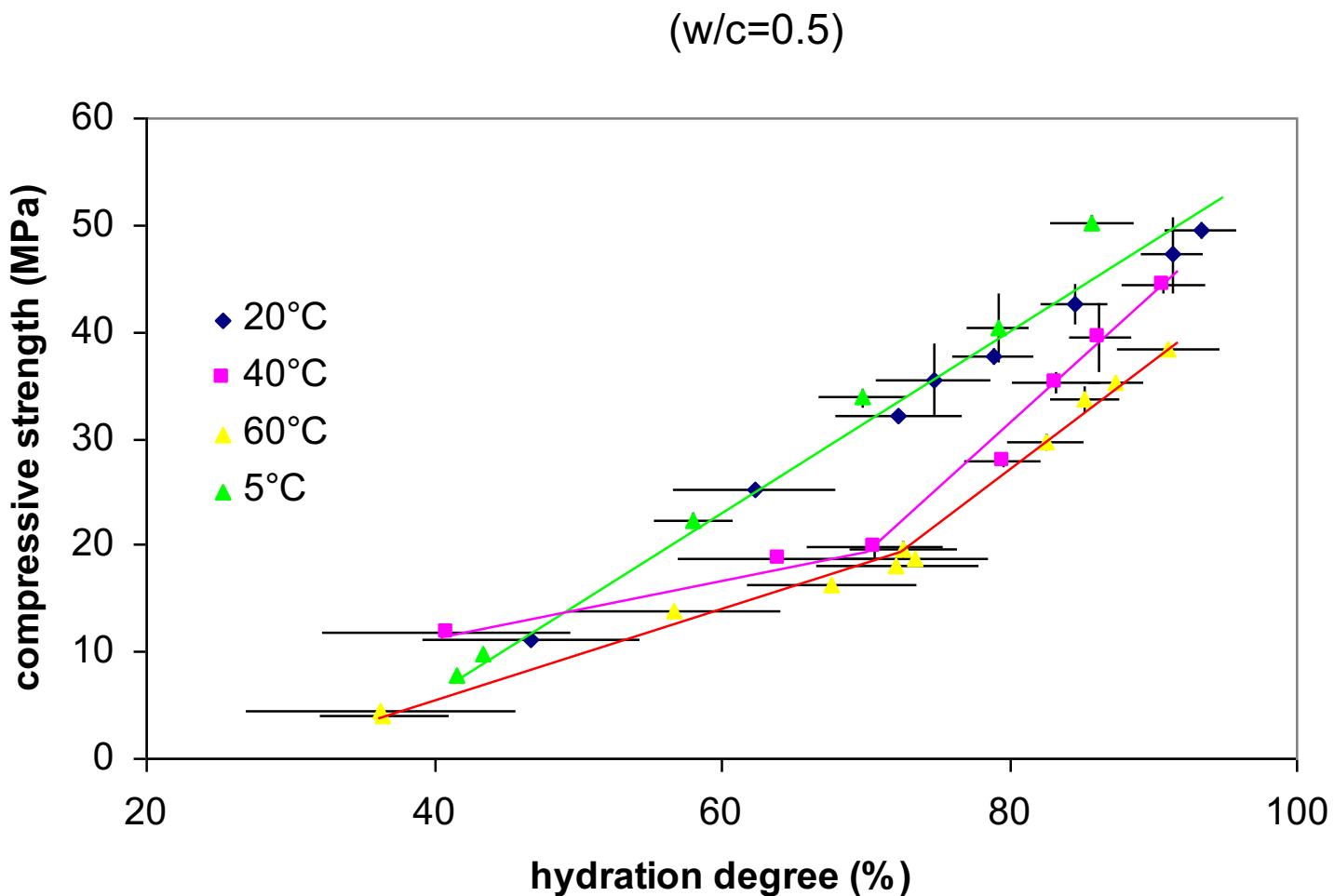
Temperatures does not
affect mechanical properties and
“durability” in the same way



Thesis Xinyu Zhang, EPFL

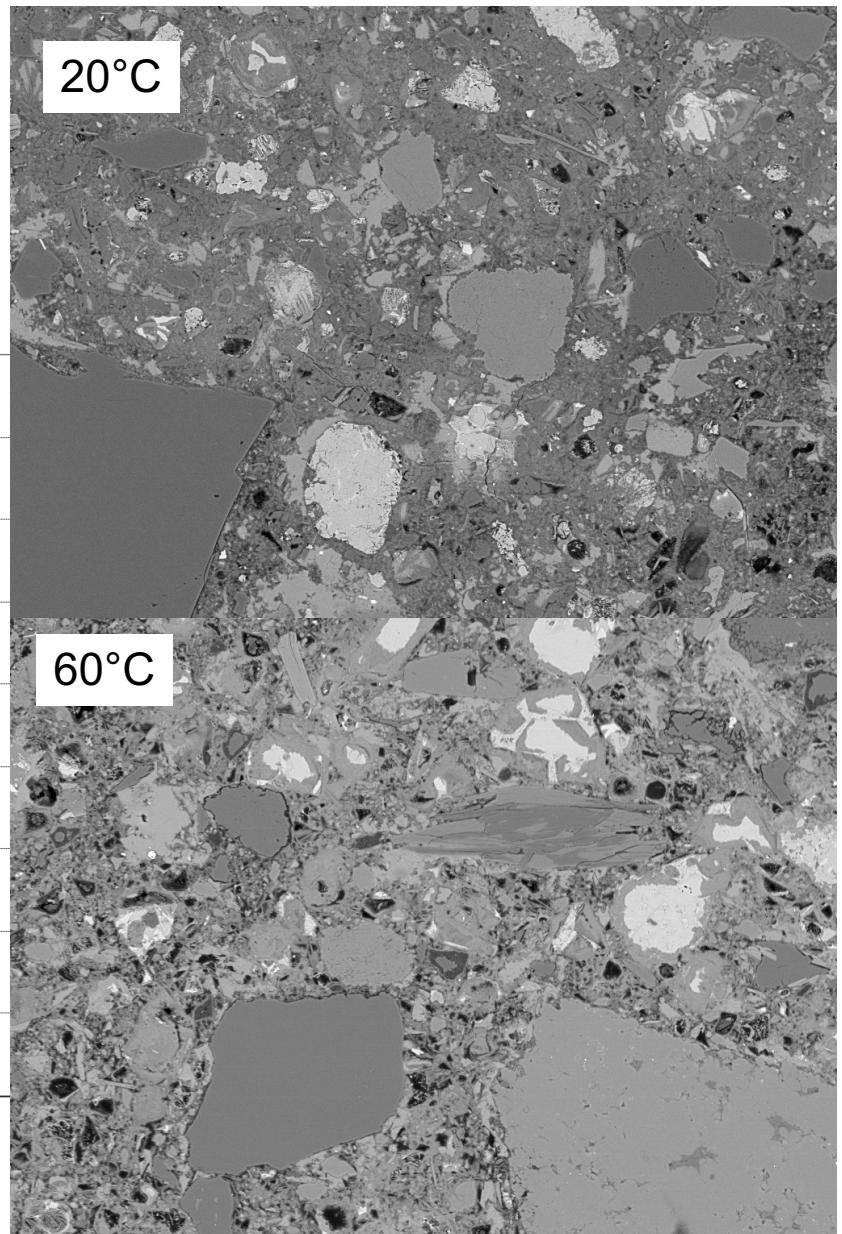
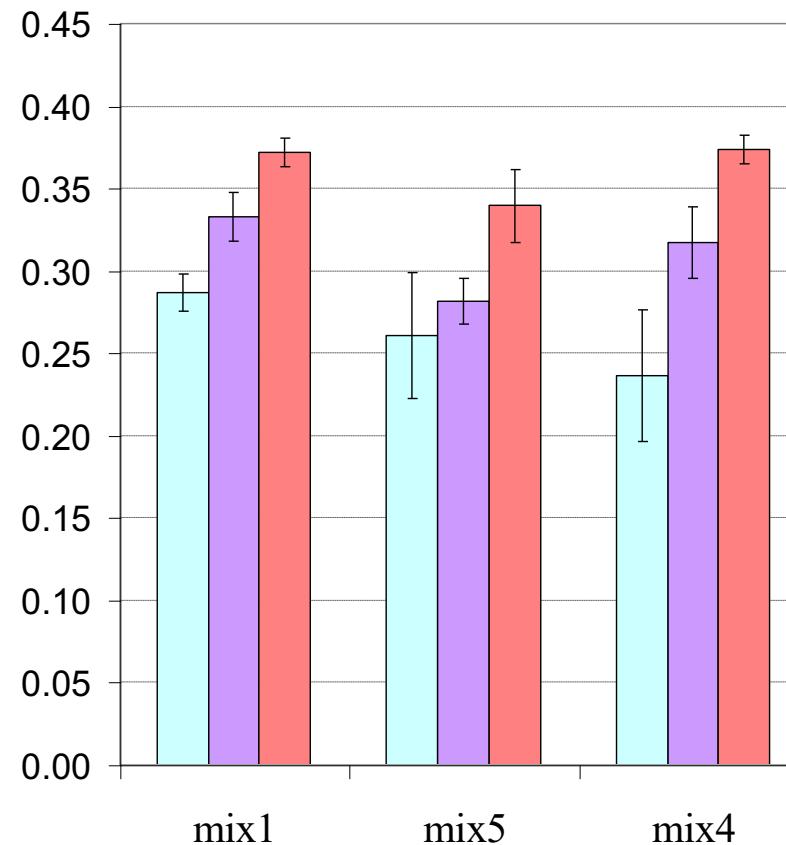
Why?

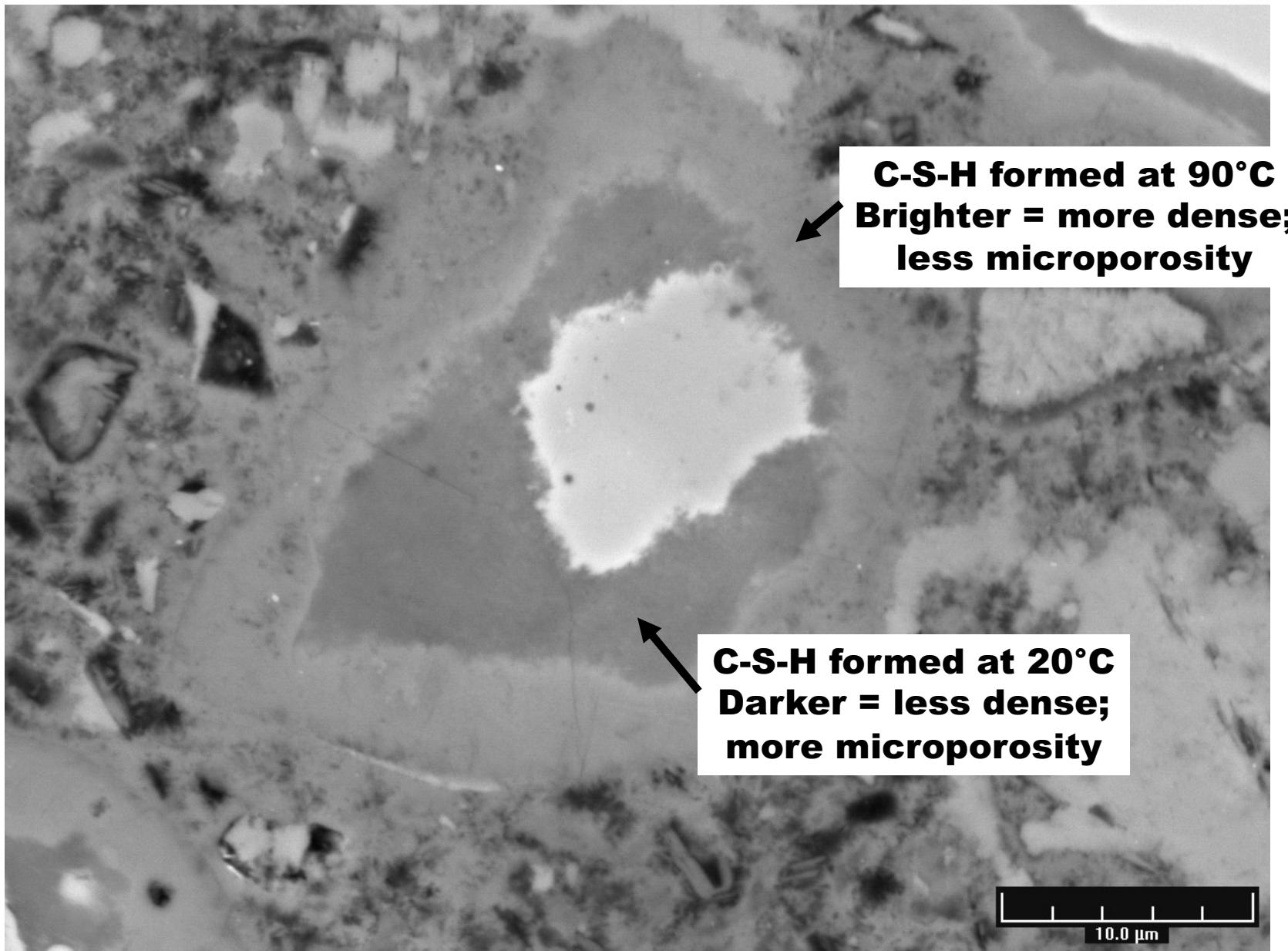
- Lower final degree of hydration at higher temperatures?
- Different hydration products?
- Need strength as a function of hydration degree not time



CSH relative density

Due to lower microporosity in C-S-H
– more capillary porosity at higher
temperatures. **90d**





C-S-H formed at 90°C
Brighter = more dense;
less microporosity

C-S-H formed at 20°C
Darker = less dense;
more microporosity

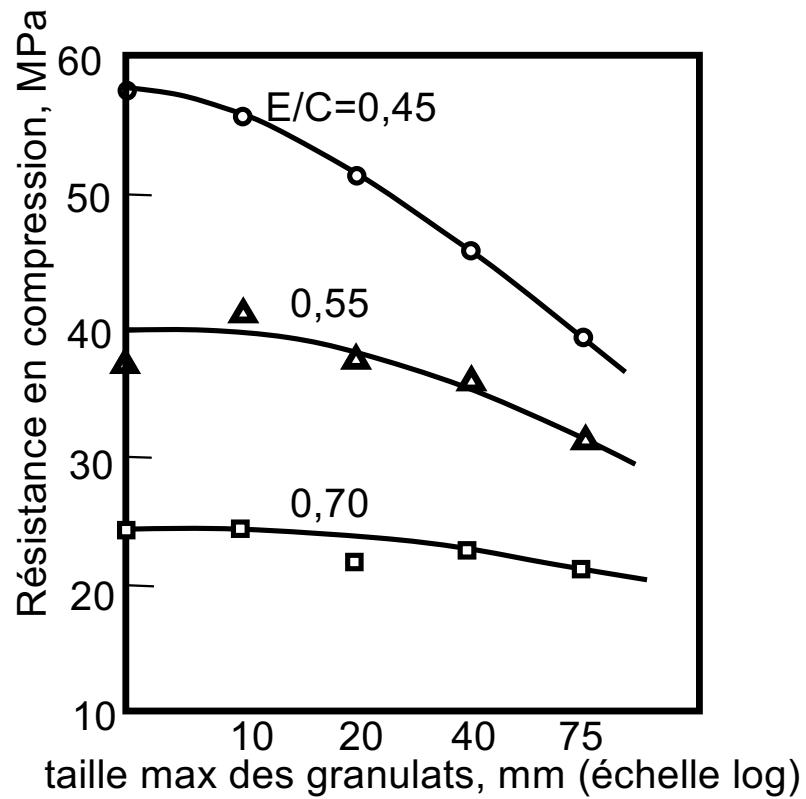
10.0 μm

Taille des granulats

2 effets antagonistes:

Une granulométrie étendue
a un meilleur compactage:
– $E/C \downarrow, R_c \uparrow$

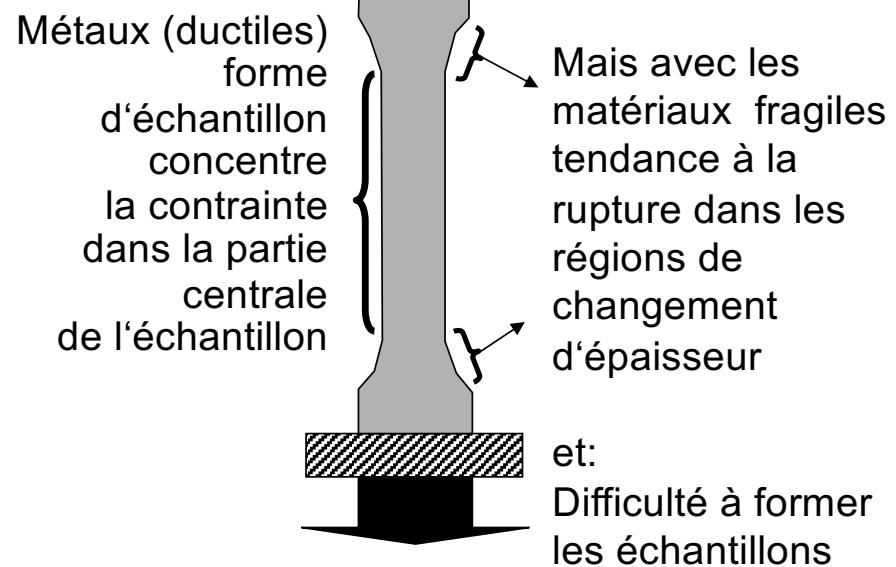
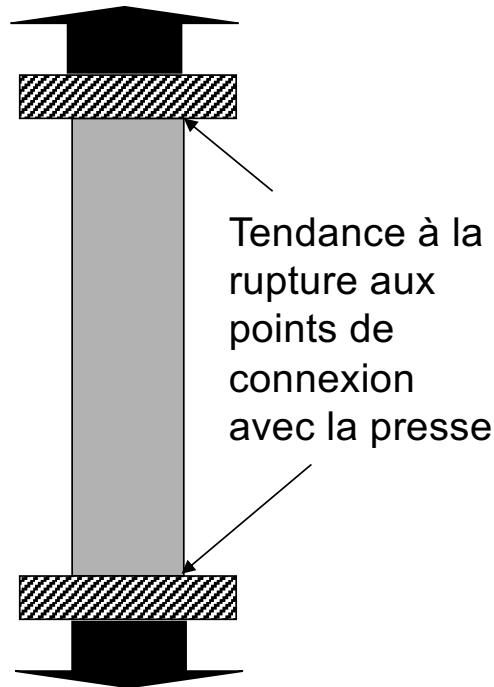
Mais à E/C égal:



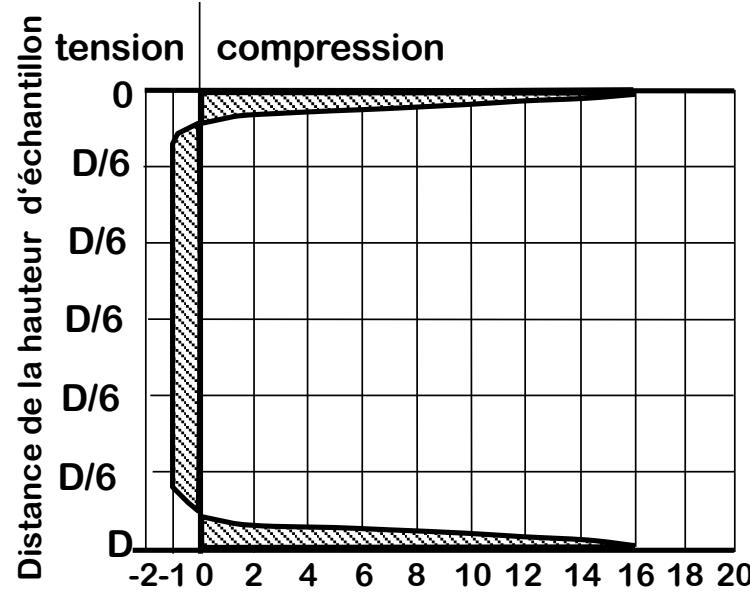
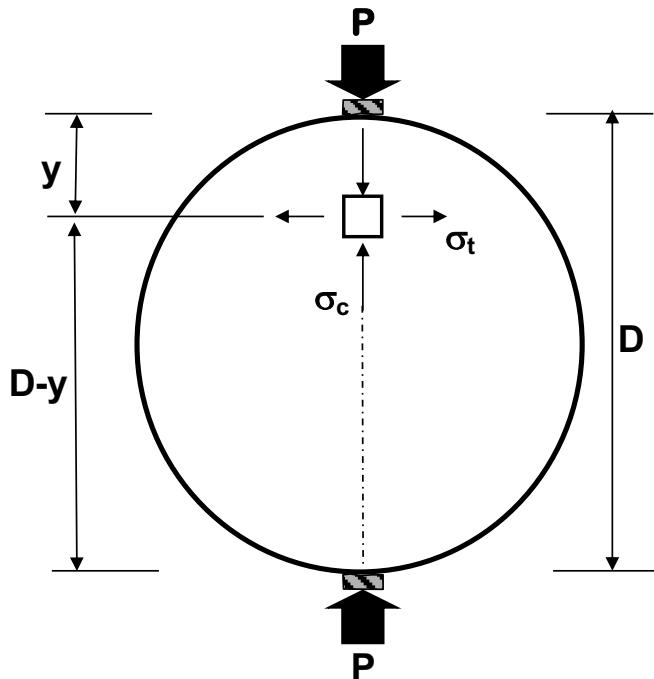
Résumé des paramètres qui influencent la résistance à la compression

Pourquoi mesurer la résistance à la traction

Résistance à la traction



Méthodes, indirectes:

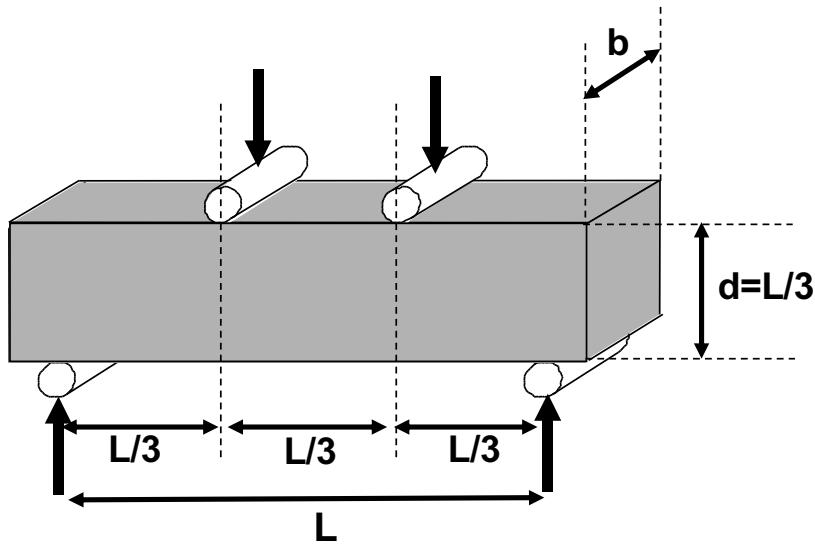


Test „fendage Brésilien“

Très pratique,
peut être fait sur cylindres et carottes

$$T = 2P/\pi l D$$

Flexion, 4pt



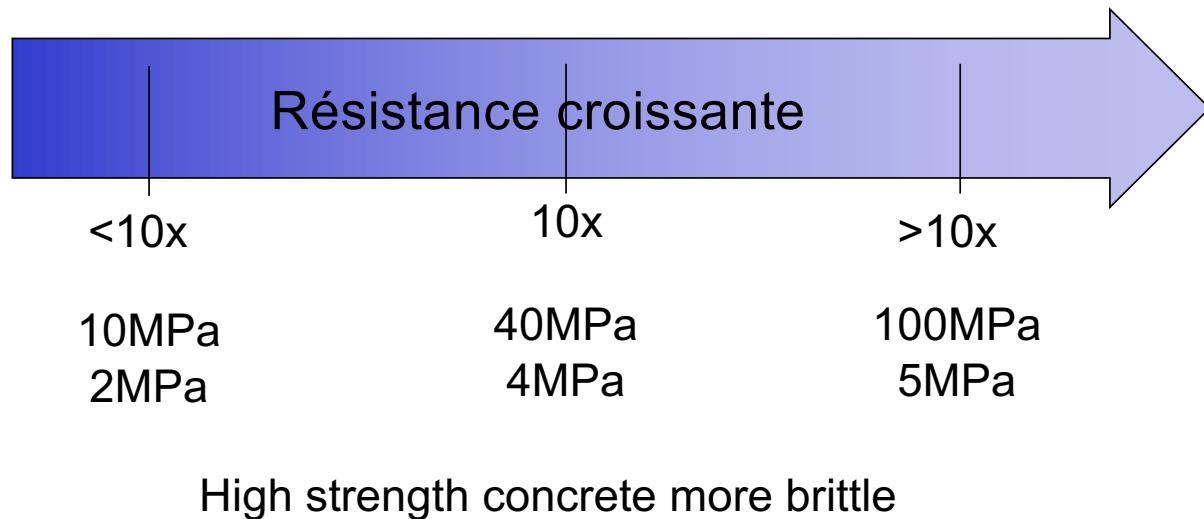
$$f_{fl} = PL/bd^2$$

Cette résistance est plus importante pour les dalles – routes, etc, qui sont chargées en flexion

$$f_{fl} > f_t$$

Tension vs compression

Relation non linéaire, fonction de la résistance



Fracture du béton
à résistance normale

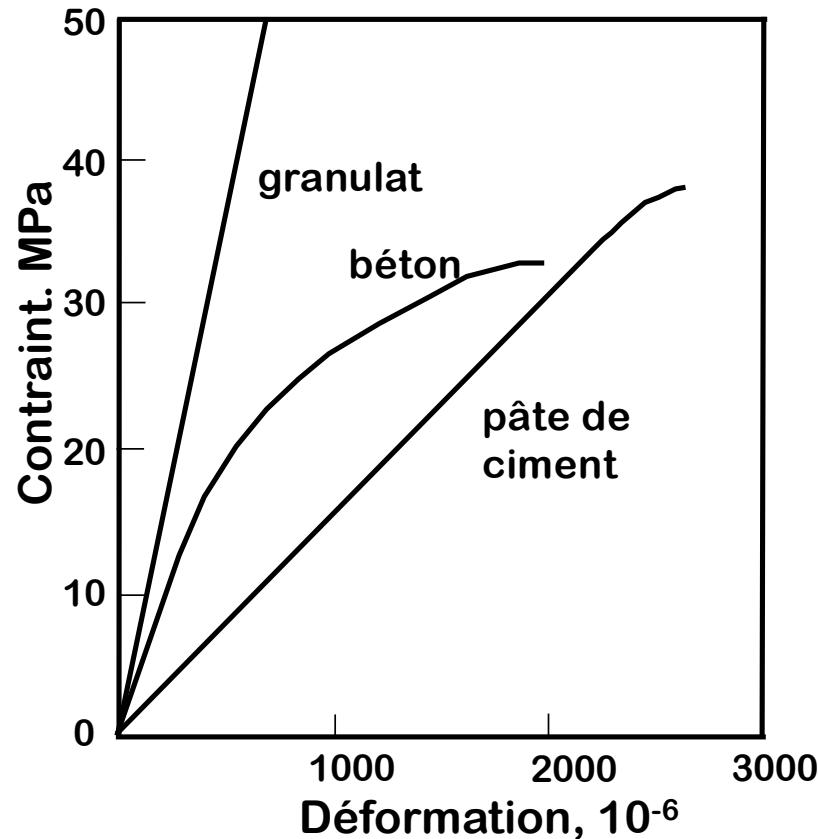


à haute résistance



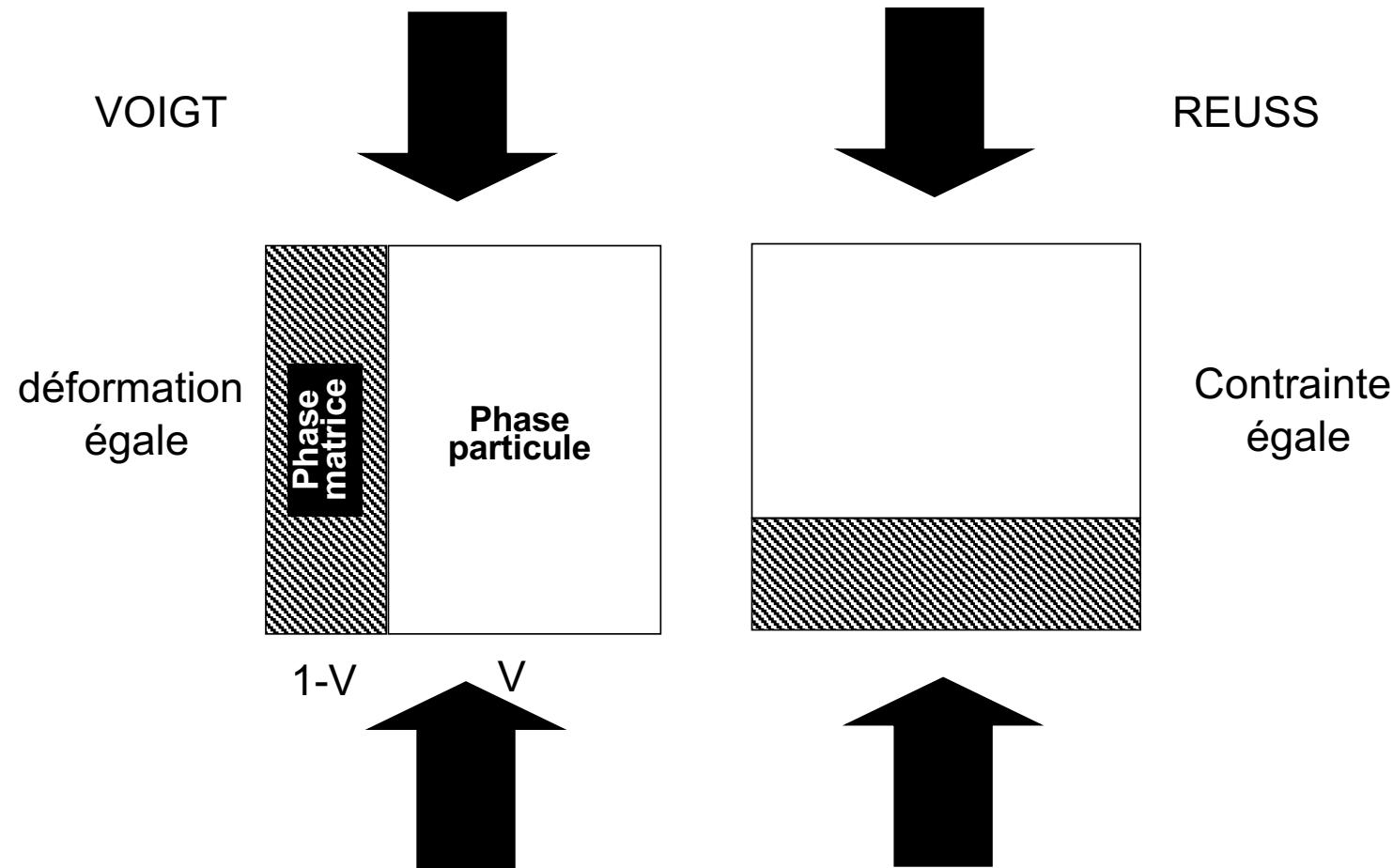
Modified from ACBM Movie

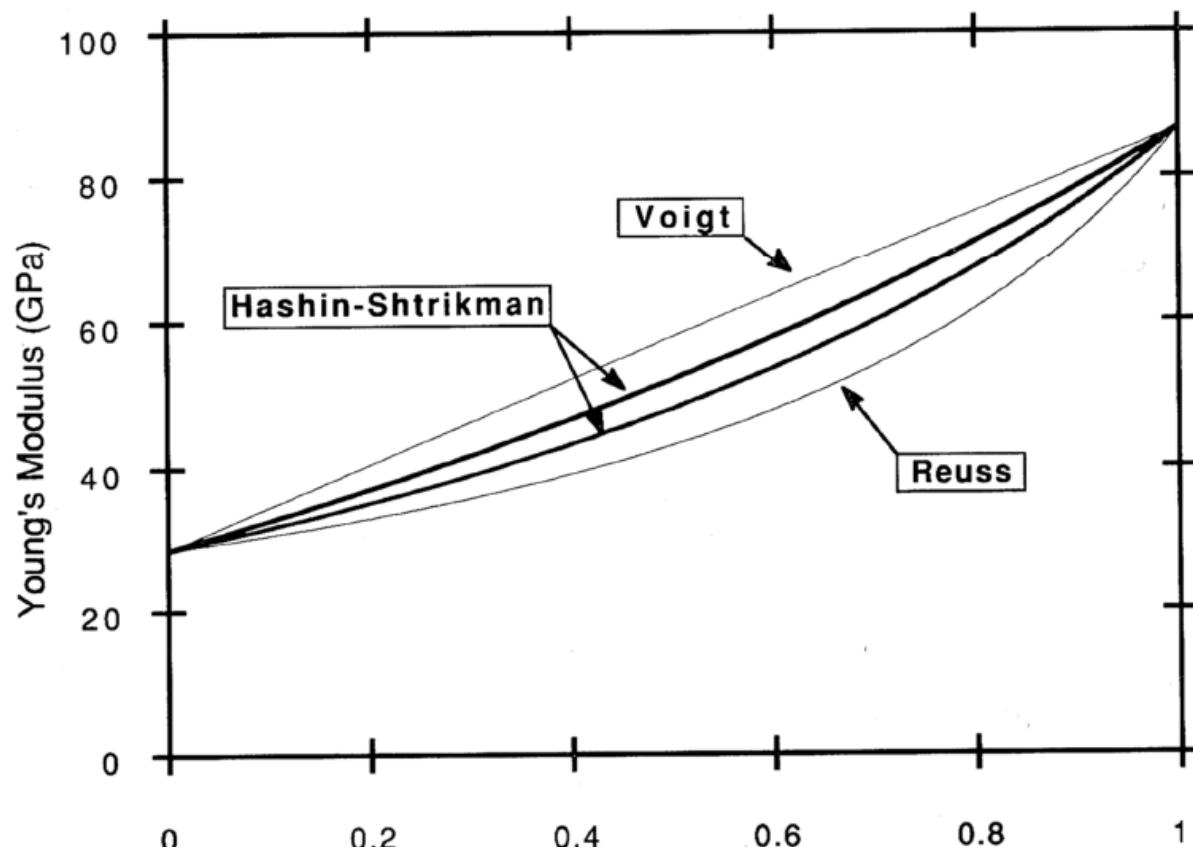
Le béton comme matériau composite



- Les granulats et la pâte de ciment sont élastiques jusqu'à la rupture
- En revanche, le béton démontre une déviation de la linéarité avant rupture

Calcul du module pour les matériaux composites





- **Le module d'Young est une propriété “composite”**
Les Granulats constituent ~70% du volume – ils dominent le Module d'Young
- **Idem pour les propriétés thermiques**
- **Les Resistances mécaniques ne sont pas des propriétés composites – la pâte joue le rôle du “maillon faible”. Les granulats ont très peu d'impact.**