

Résistances mécaniques

Rôle critique des fissures

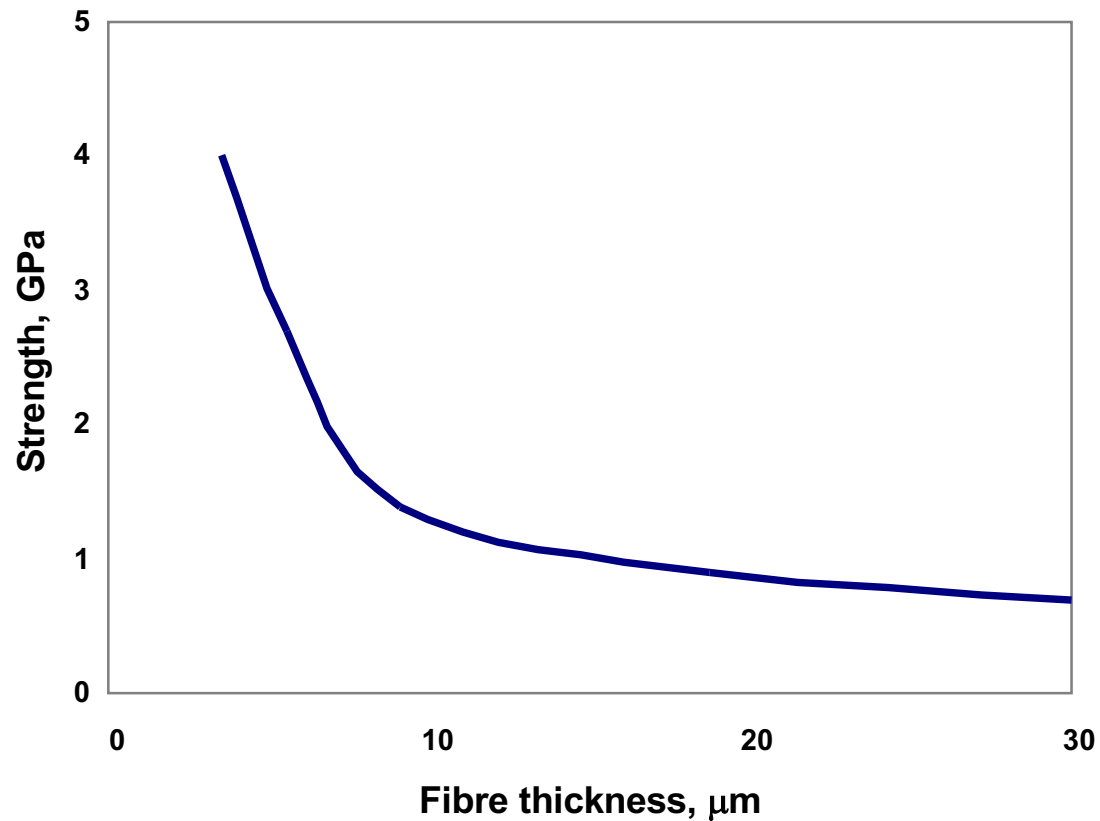
La résistance théorique
est de l'ordre de

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

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

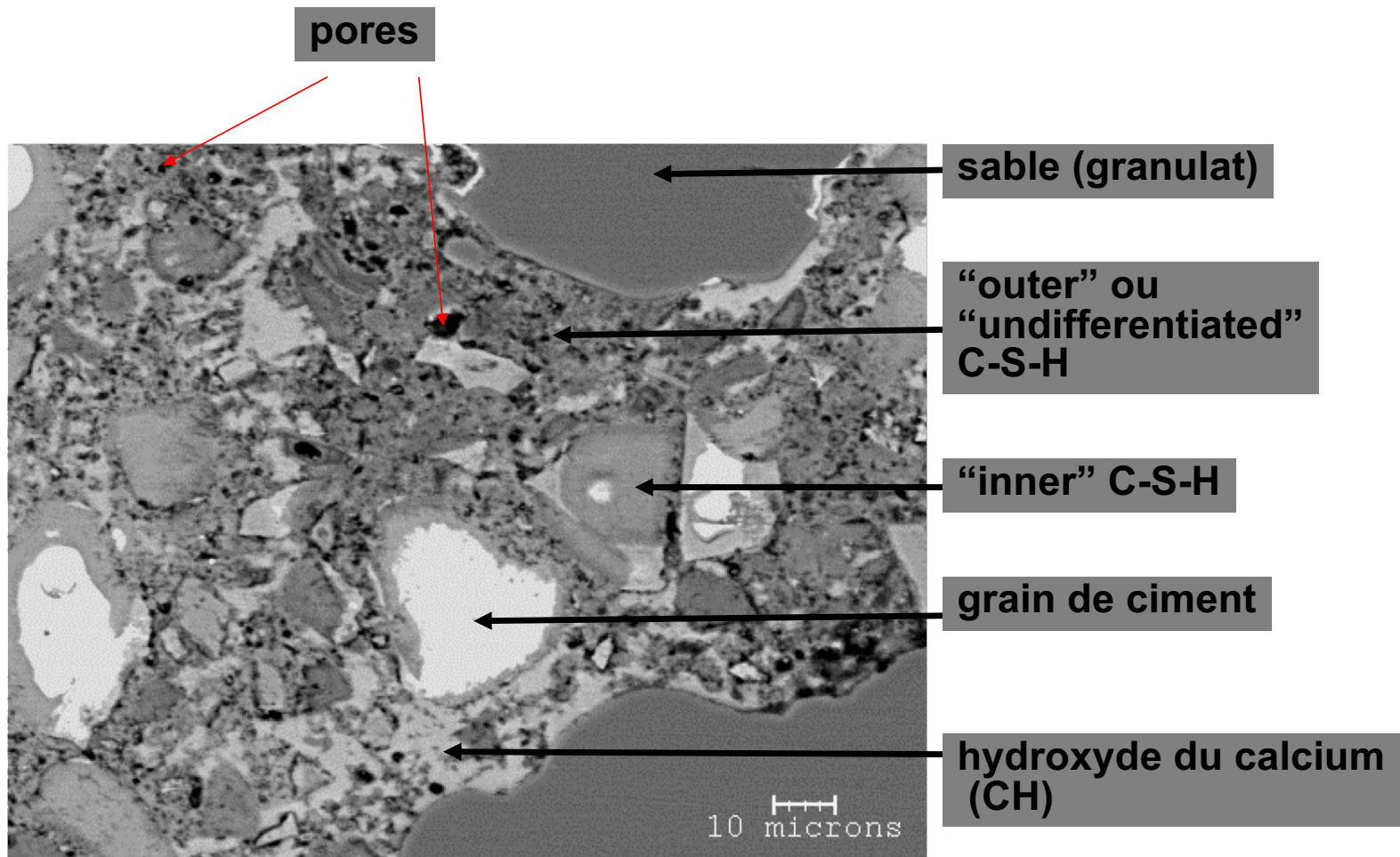
Mais,
pour les fibres très minces
on s'approche de la résistance théorique

Travail de Griffith sur les fibres de verre

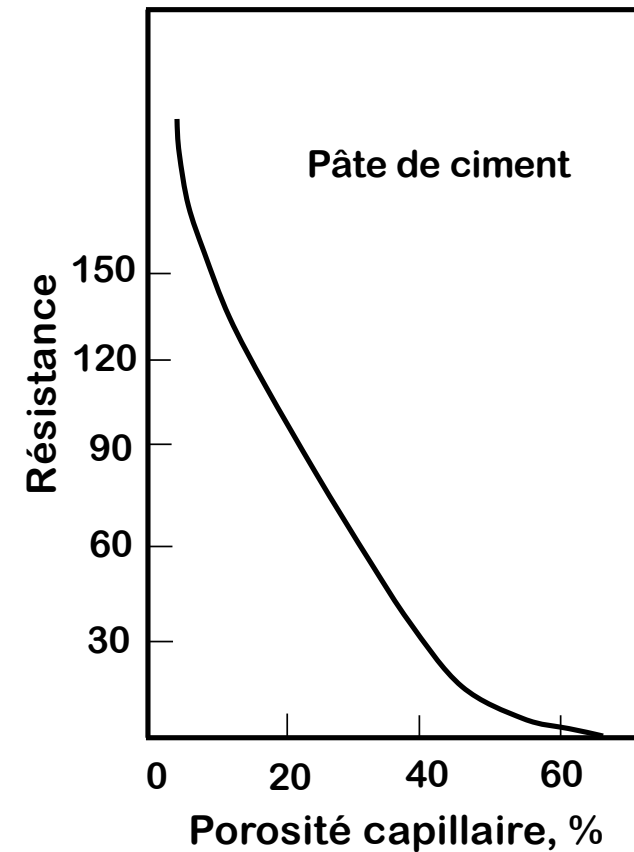
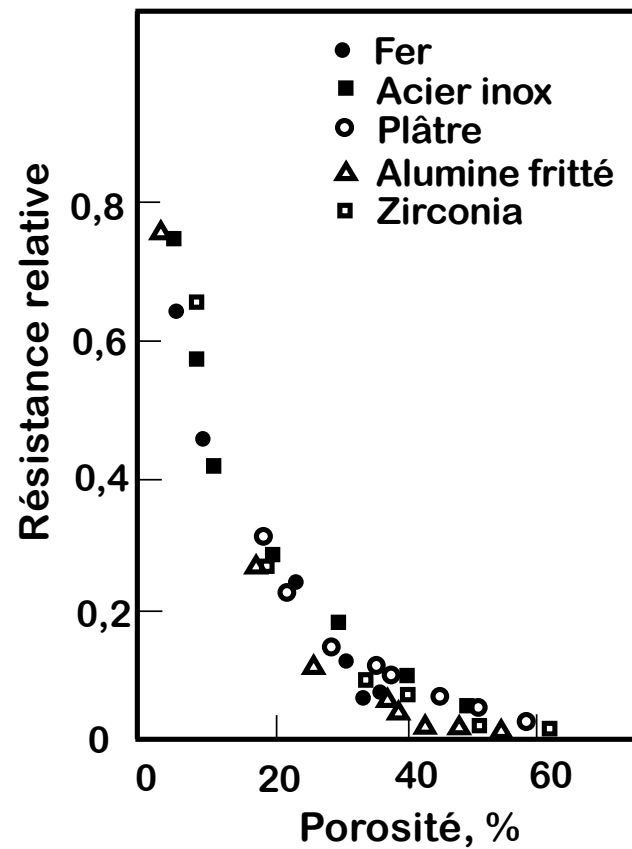


La résistance des fibres augmente quand leur épaisseur diminue

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



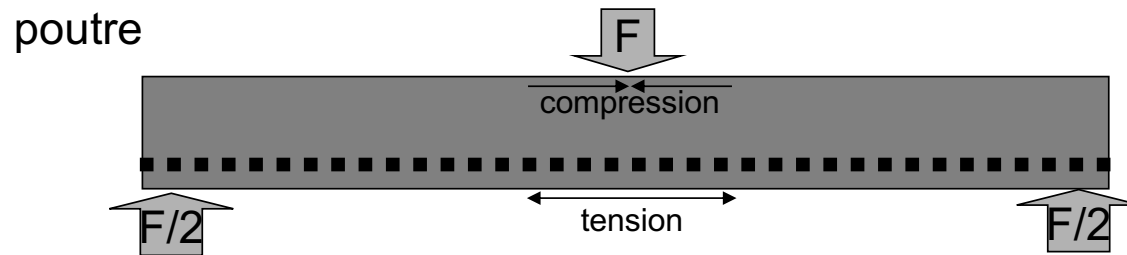
Dans tous les matériaux, les pores sont aussi un paramètre qui influence fortement la résistance



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.**

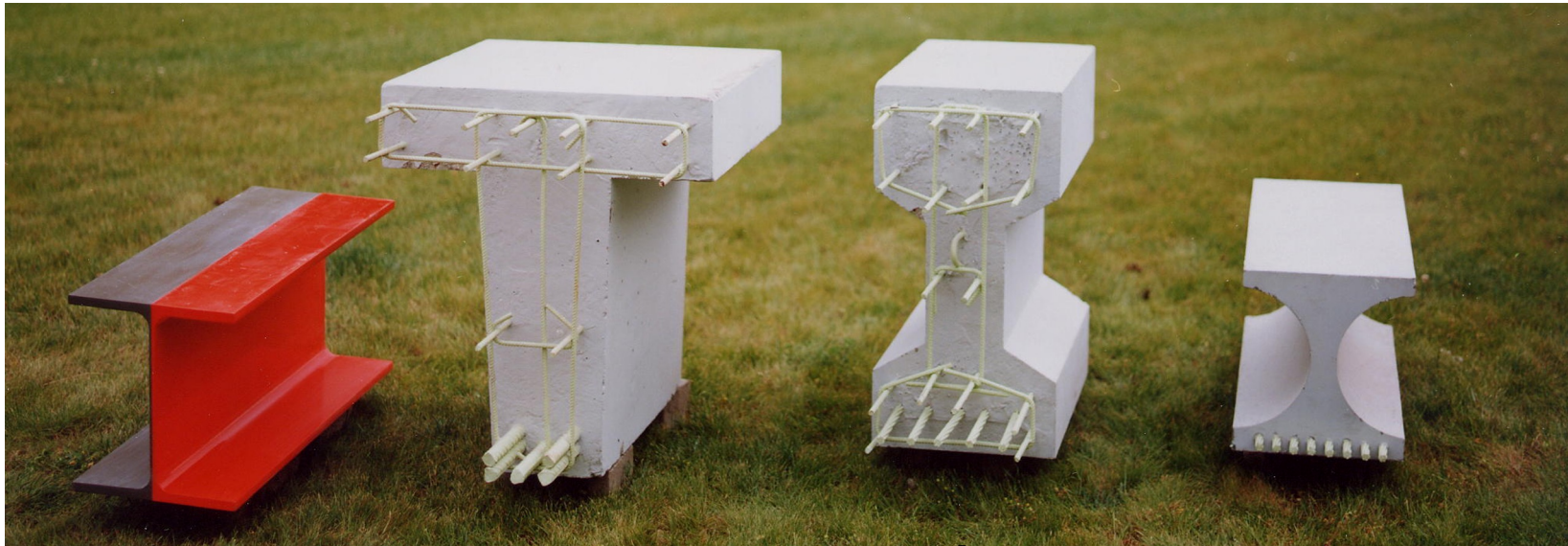
Le béton armé est renforcé par des armatures en acier:



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

BÉTON ARMÉ

**BÉTON
PRÉCON-
TRAIT**

Ductal®

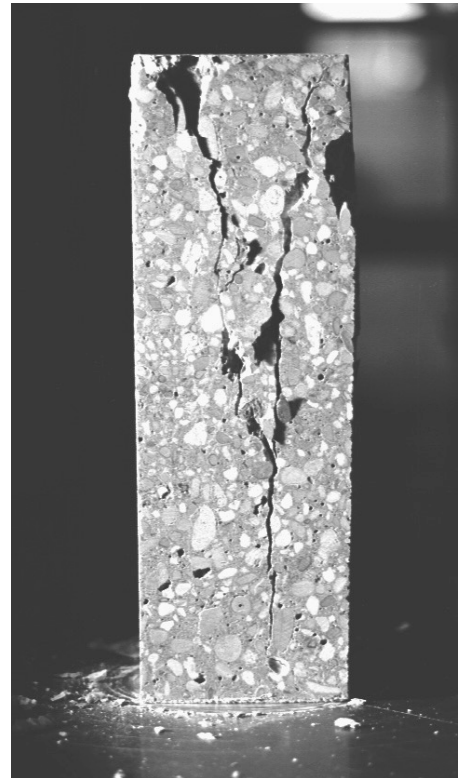
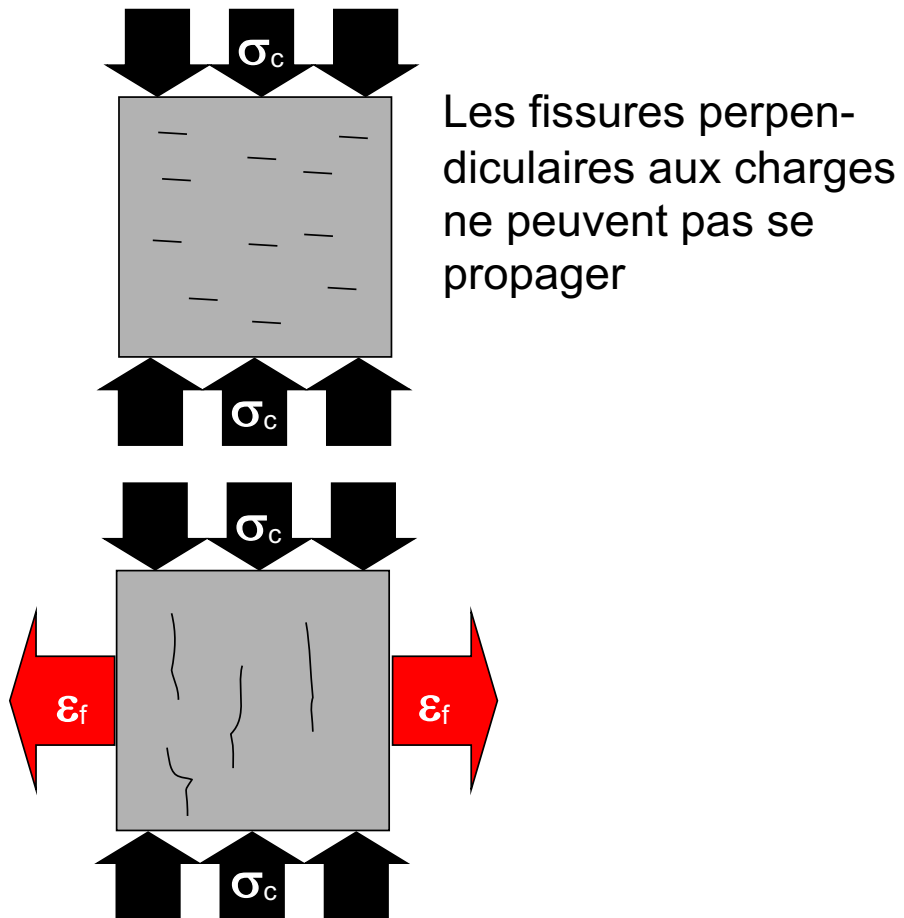
poids 117

530

467

140

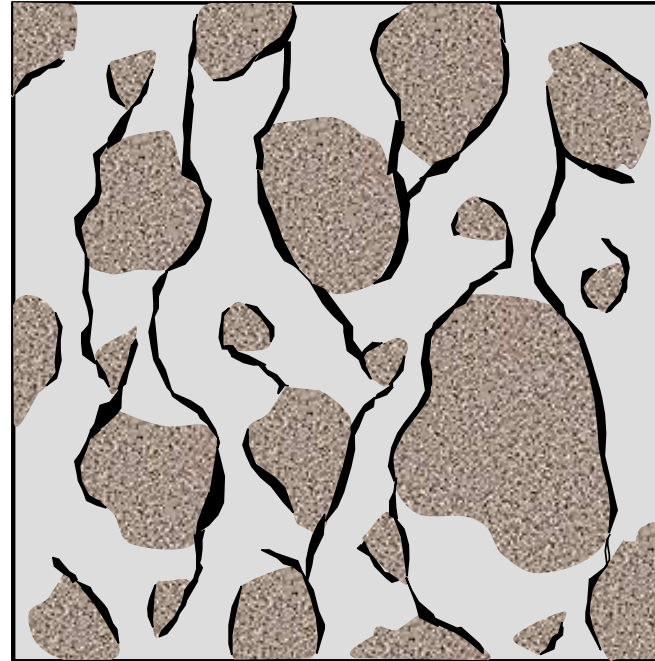
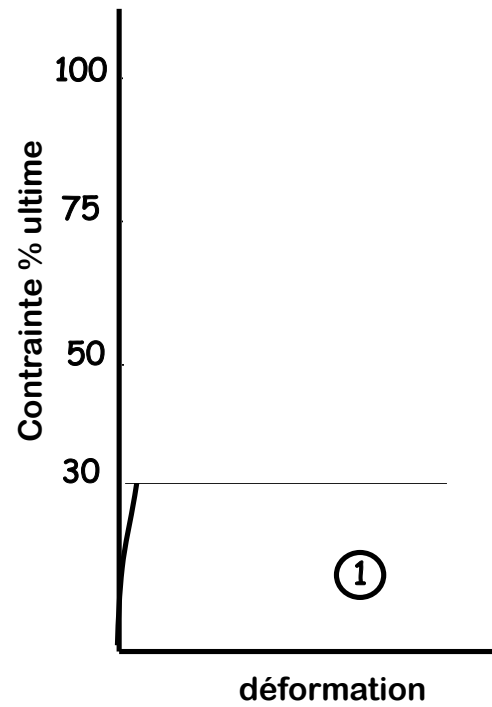
Sous l'effet d'une compression l'échantillon se raccourcit longitudinalement et gonfle latéralement



Processus du rupture

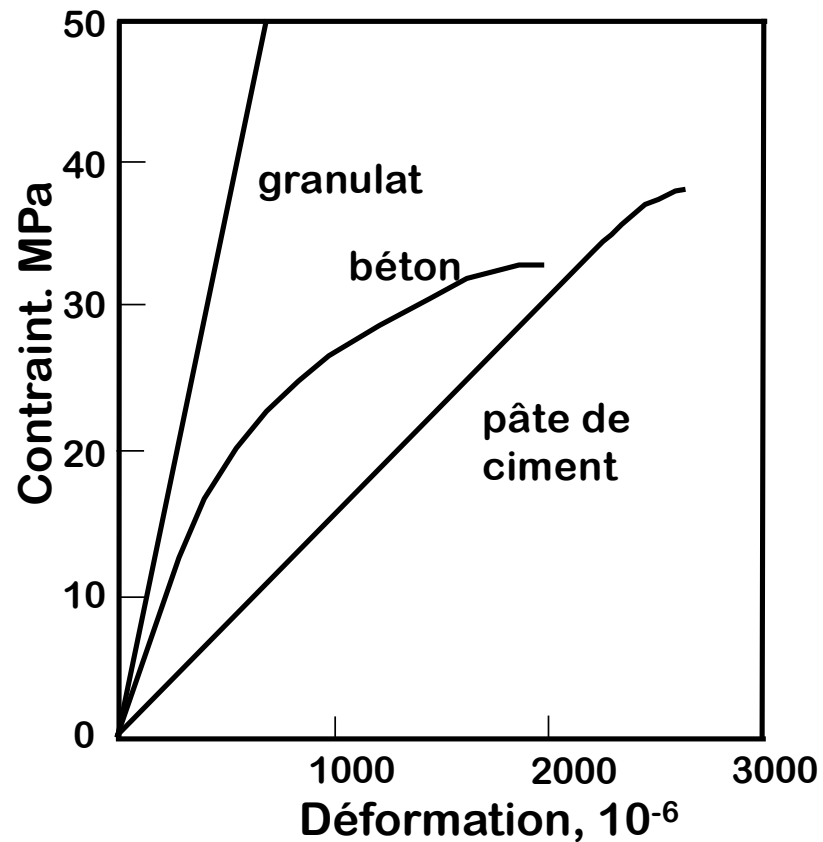


Mode de rupture



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

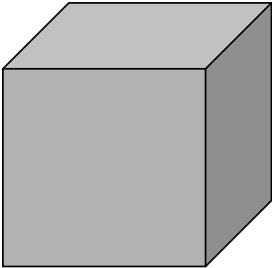
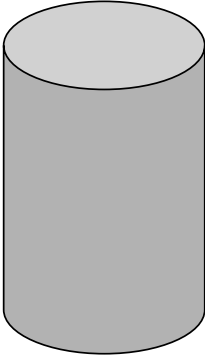
Le béton comme matériau composite



- 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:

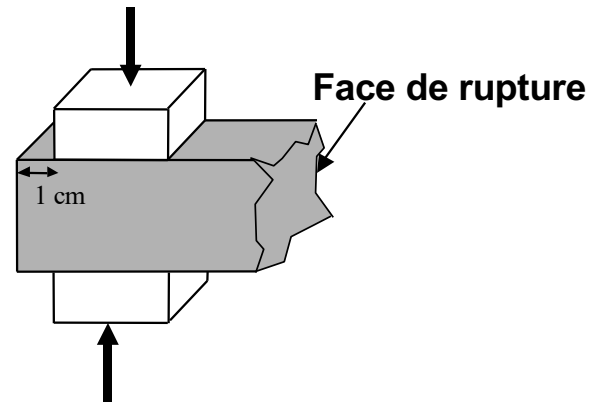
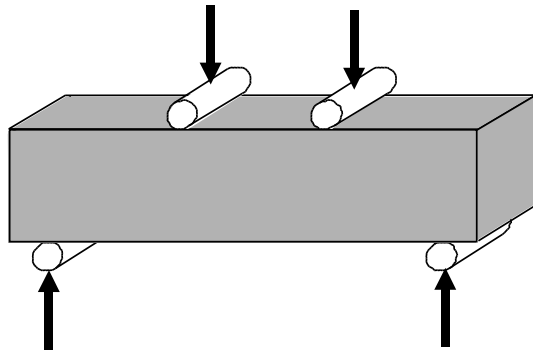
La forme de l'échantillon a un impact significatif:

	cubes	cylindres
		
		$\frac{\text{hauteur}}{\text{largeur}} = 2$
$R_{\text{cyl}} \sim 0,8 R_{\text{cub}}$		
Pays	UK, Suisse, etc	USA, France, etc
Dimensions typiques	200 mm x 200 mm x 200 mm	160 mm x 320 mm
Avantages	2 faces moulées	Distribution des contraintes plus uniforme; frettage réduit
Désavantages	Résistance élevée par frettage; État de contrainte non uniforme	Besoin de rectifier

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

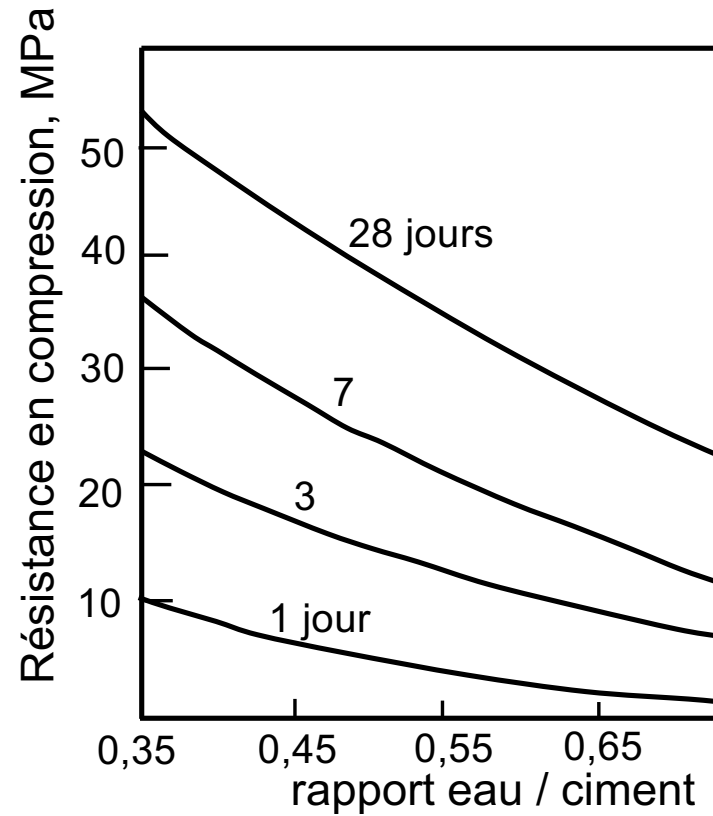
Prismes

Ex: 40 mm x 40 mm x 160 mm
100

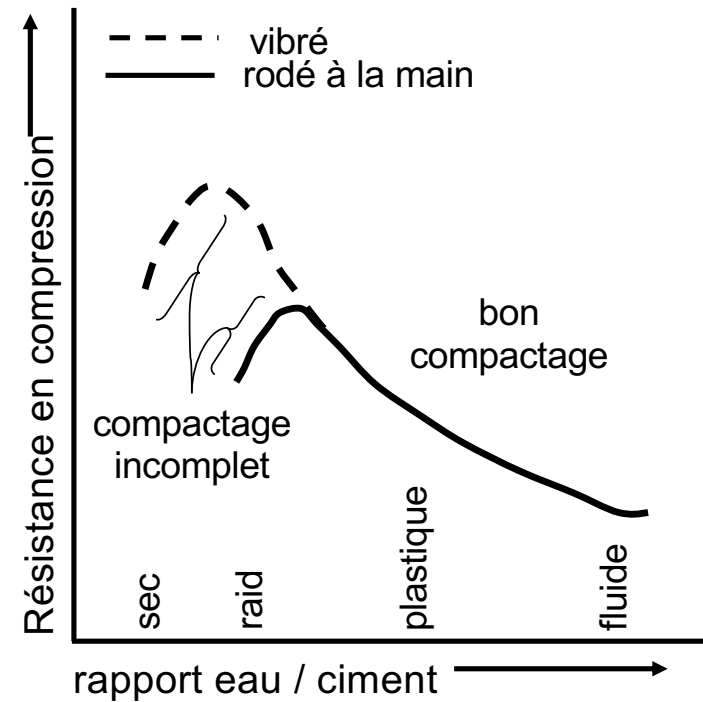


Possibilité de mesurer la résistance à la flexion et à la compression
sur le même échantillon

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

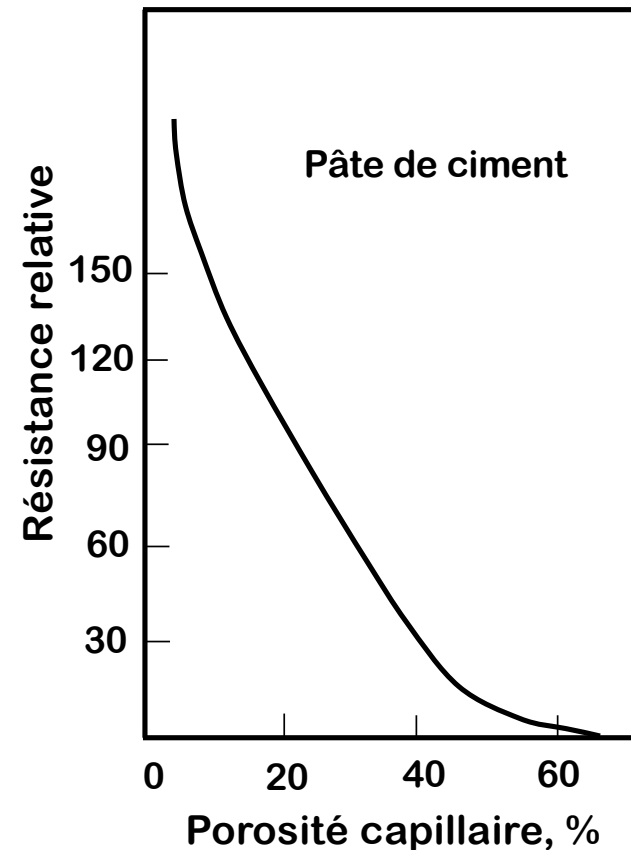
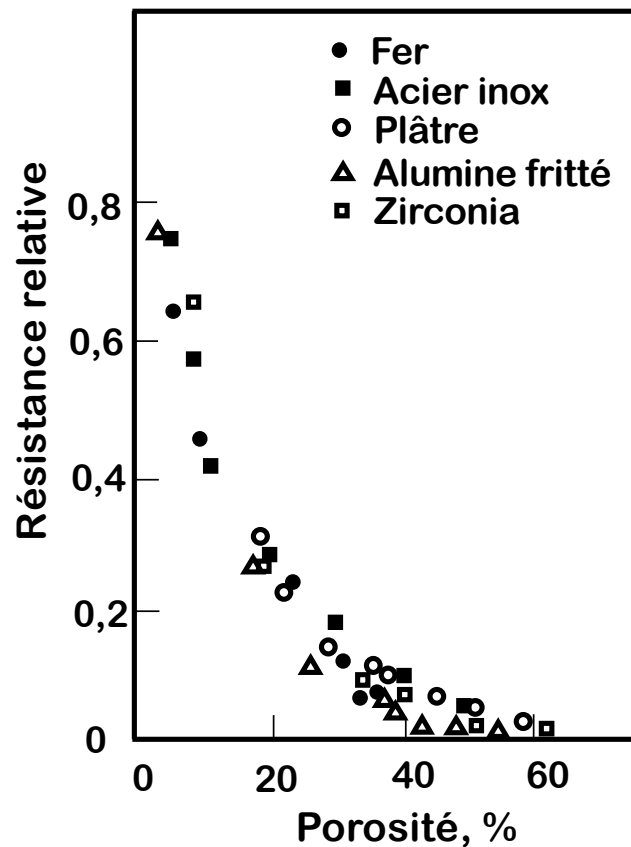
Équivalent à:

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

Ou P = porosité:

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

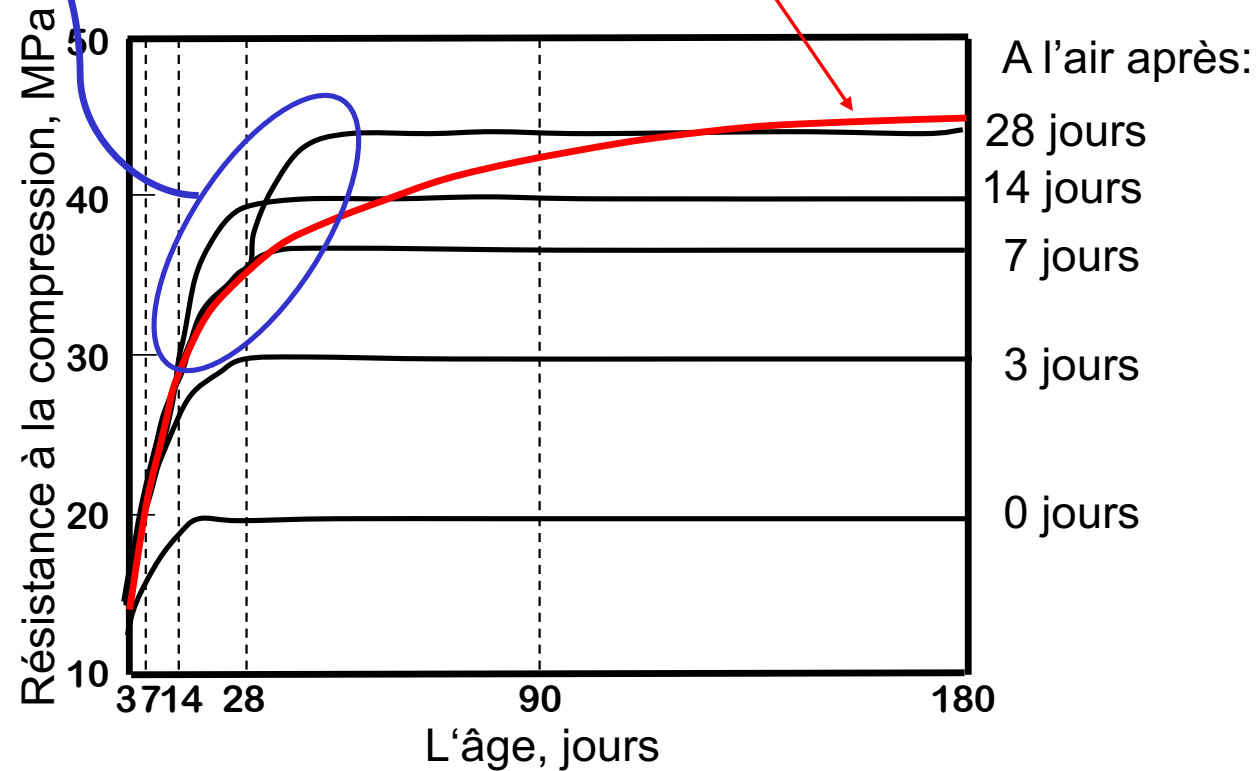
Dans tous les matériaux, la porosité est aussi un paramètre qui influence fortement la résistance



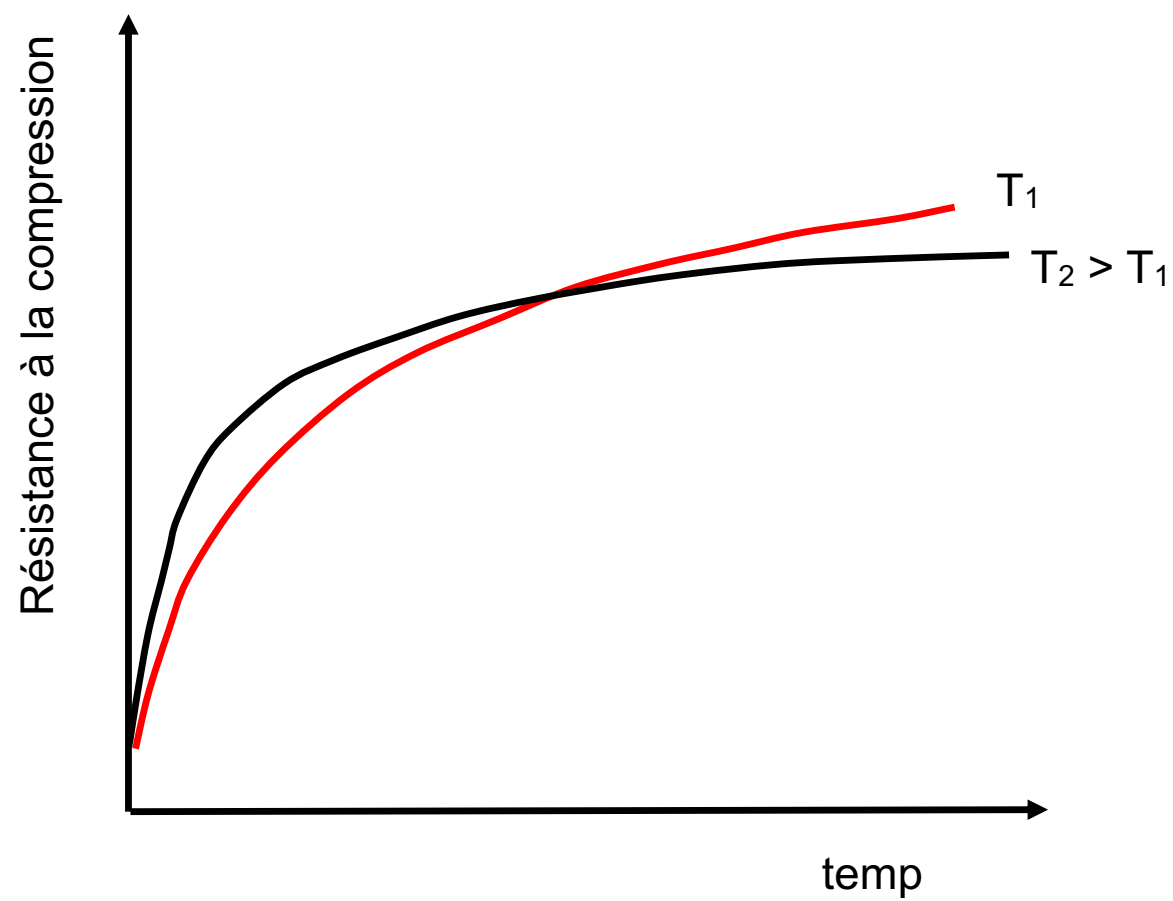
Importance de conservation

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

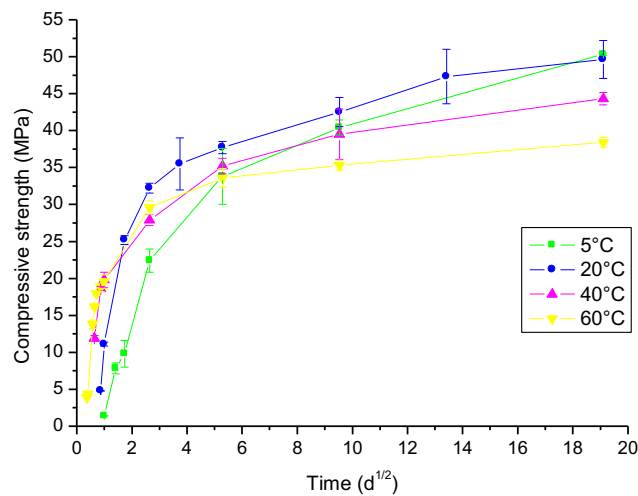
Tout le temps en chambre humide:



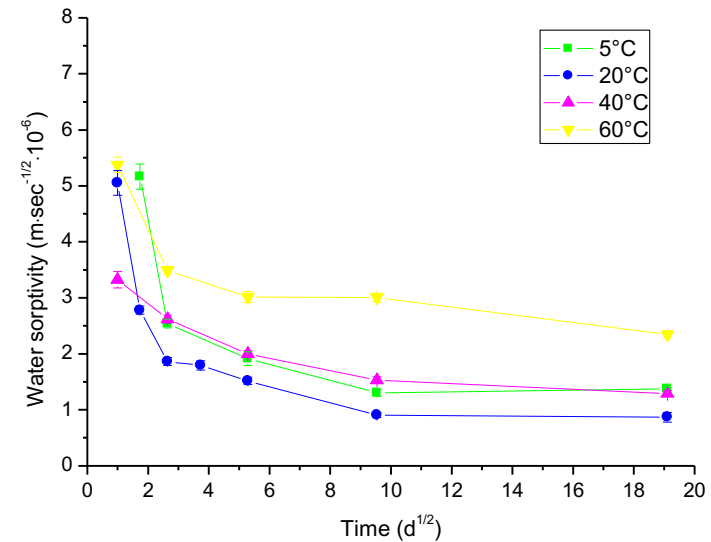
Temperature



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



strength



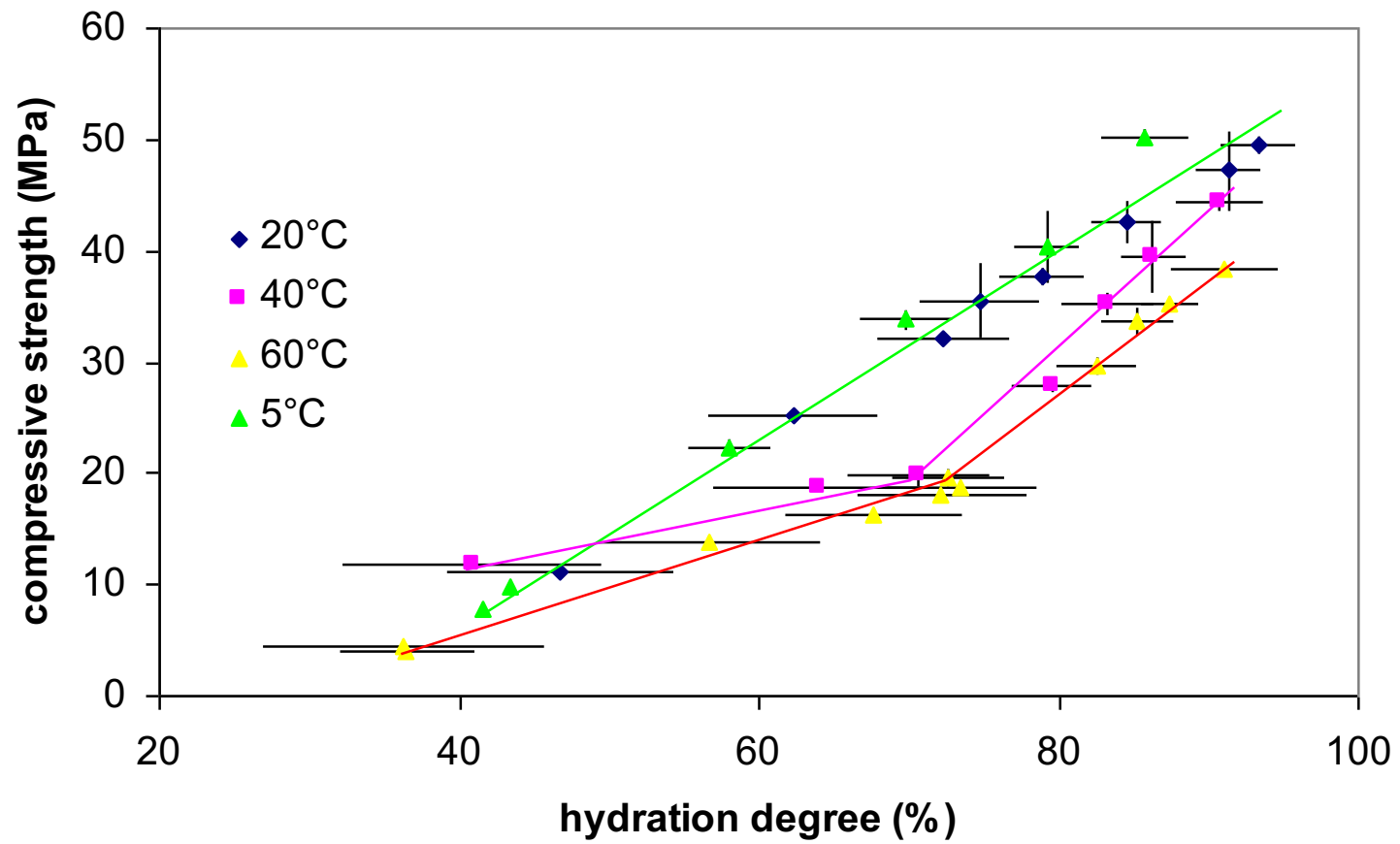
Water absorption

Thesis Xinyu Zhang, EPFL

Why?

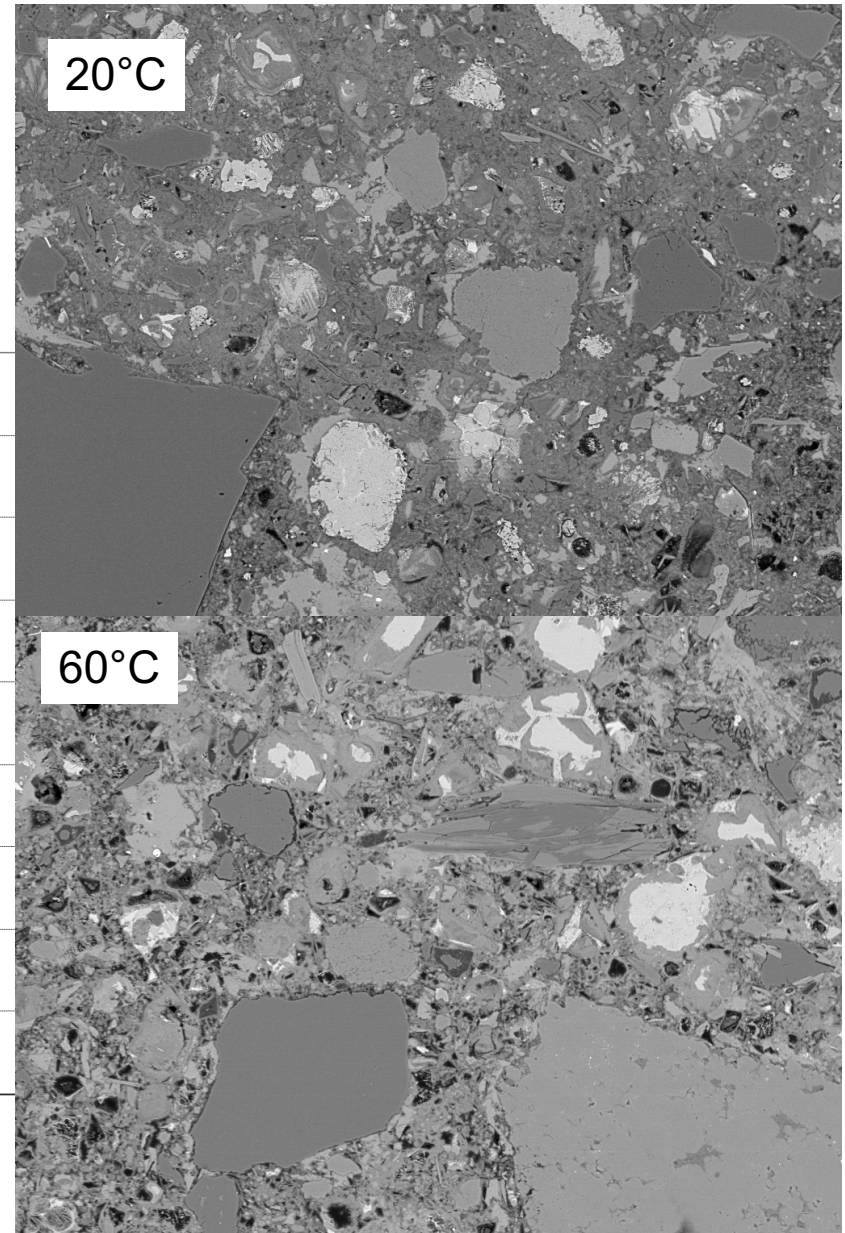
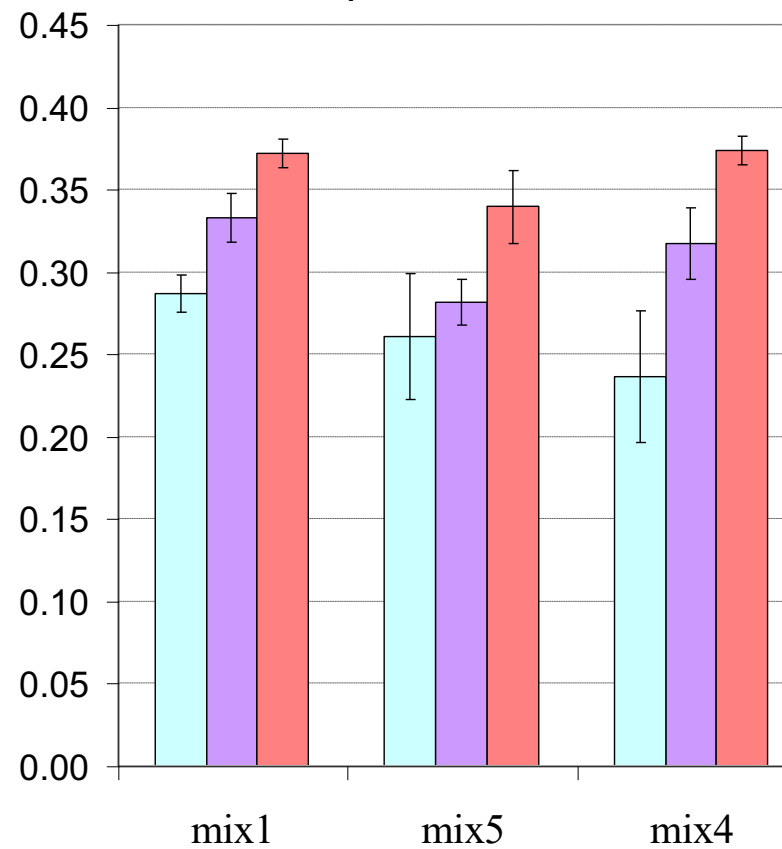
- **Lower final degree of hydration at higher temperatures?**
- **Different hydration products?**
- **Need strength as a function of hydration degree not time**

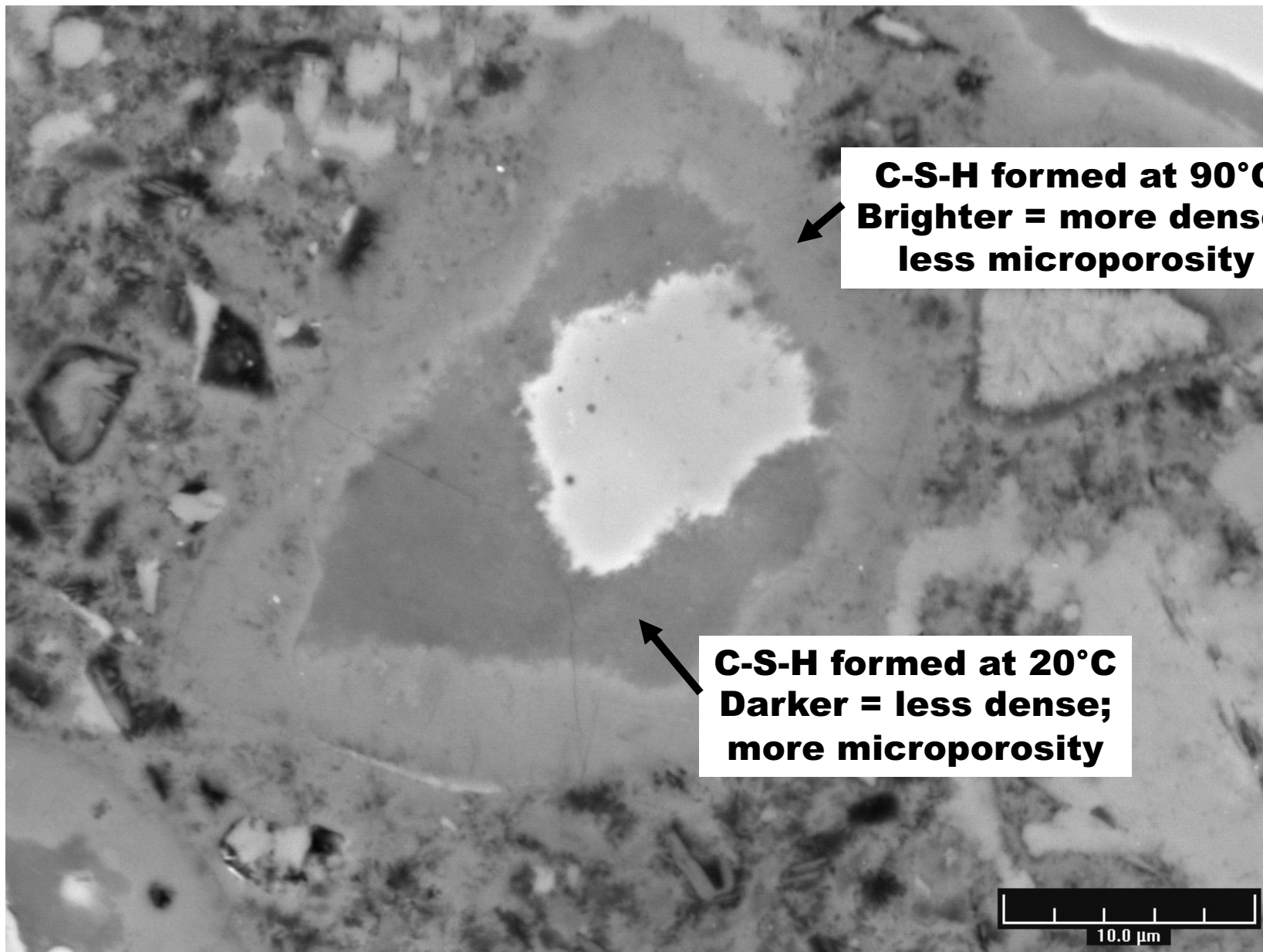
(w/c=0.5)



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

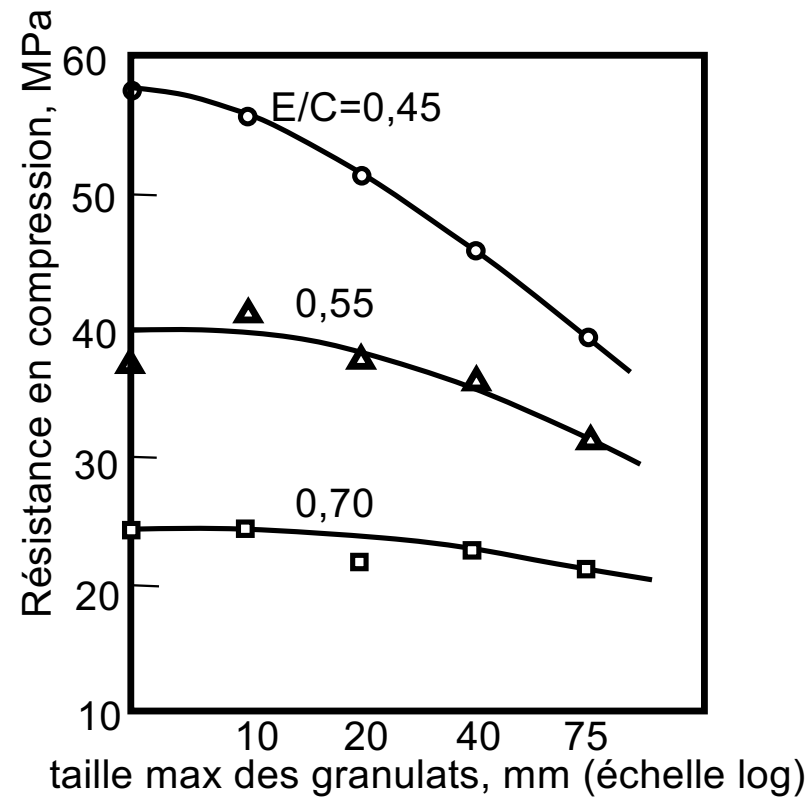
Taille des granulats

2 effets antagonistes:

Une granulométrie étendue
à un meilleur compactage:

— $E/C \downarrow$, $R_c \uparrow$

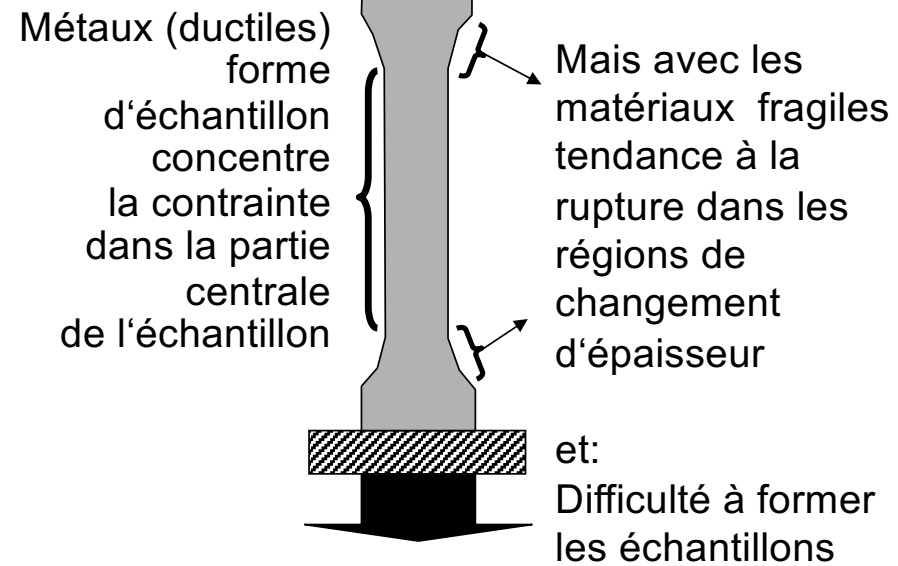
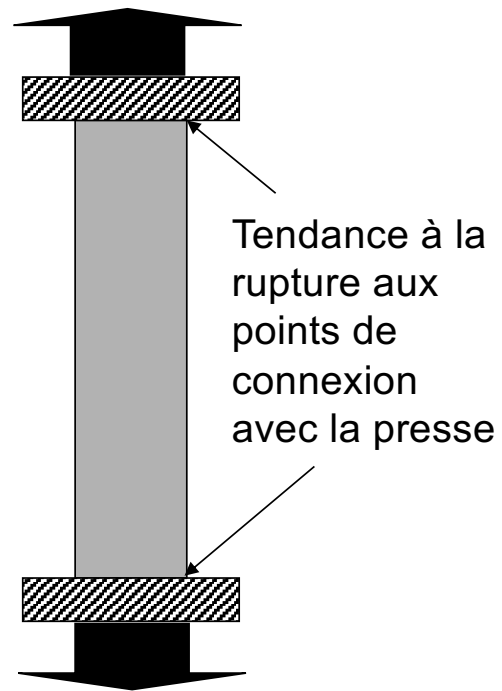
Mais à E/C égal:



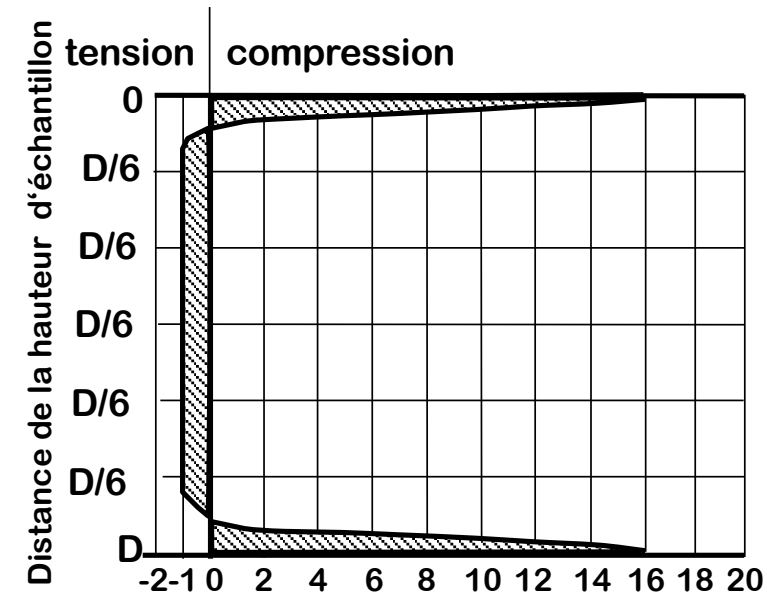
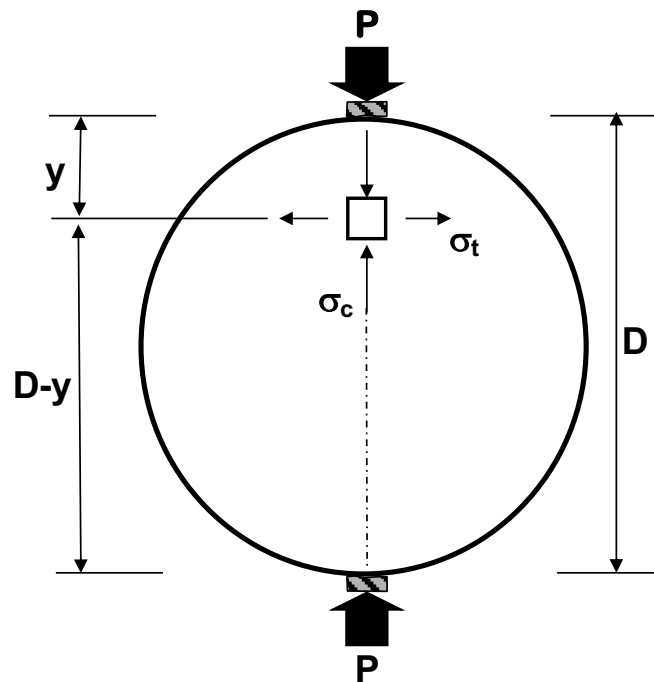
Résumé des paramètres qui influencent la résistance à la compression

Pourquoi mesurer la résistance à la traction

Résistance à la traction



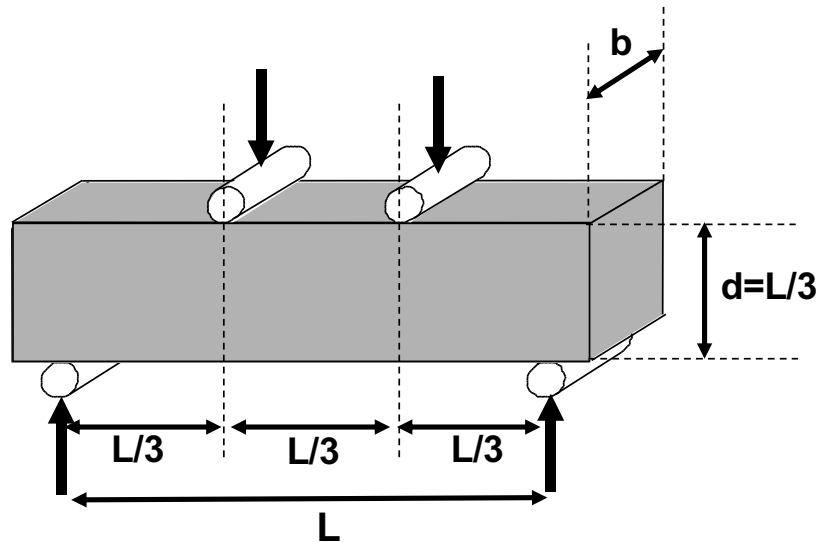
Méthodes, indirectes:



Test „fendage Brésilien“
Très pratique,
peut être fait sur cylindres et carottes

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

Flexion, 4pt



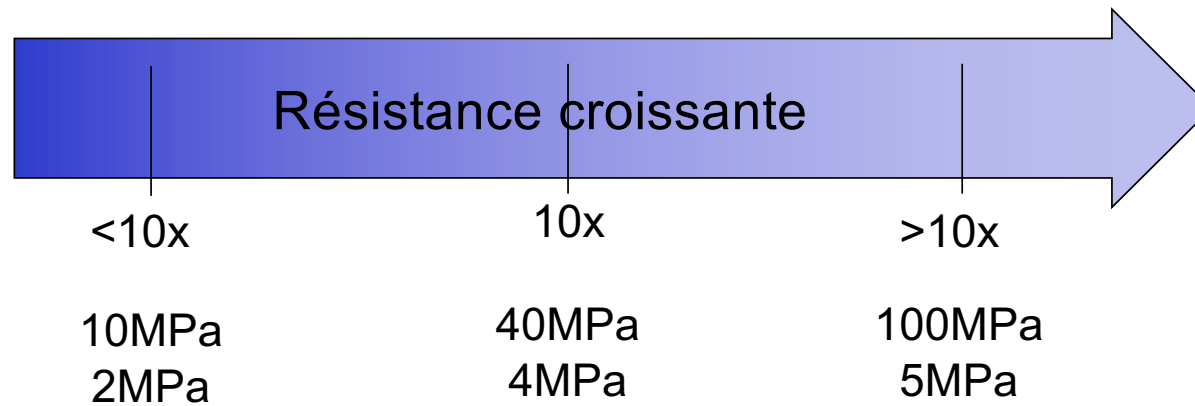
$$f_{fl} = PL/bd^2$$

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

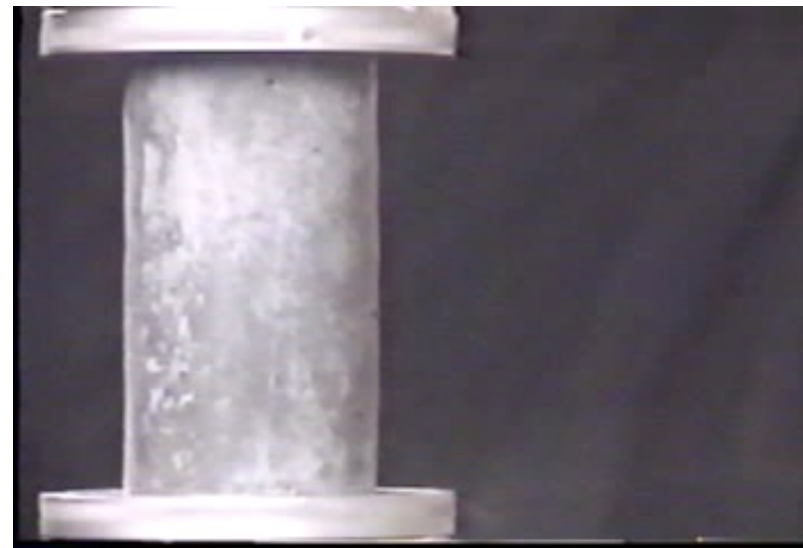


High strength concrete more brittle

Fracture du béton
à résistance normale

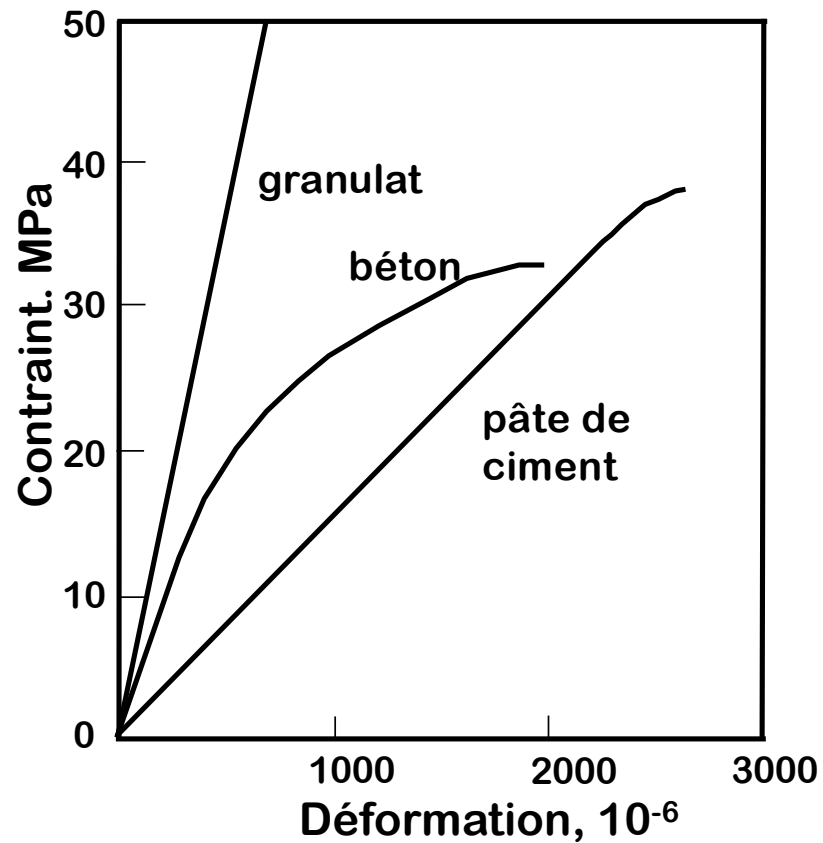


à haute résistance



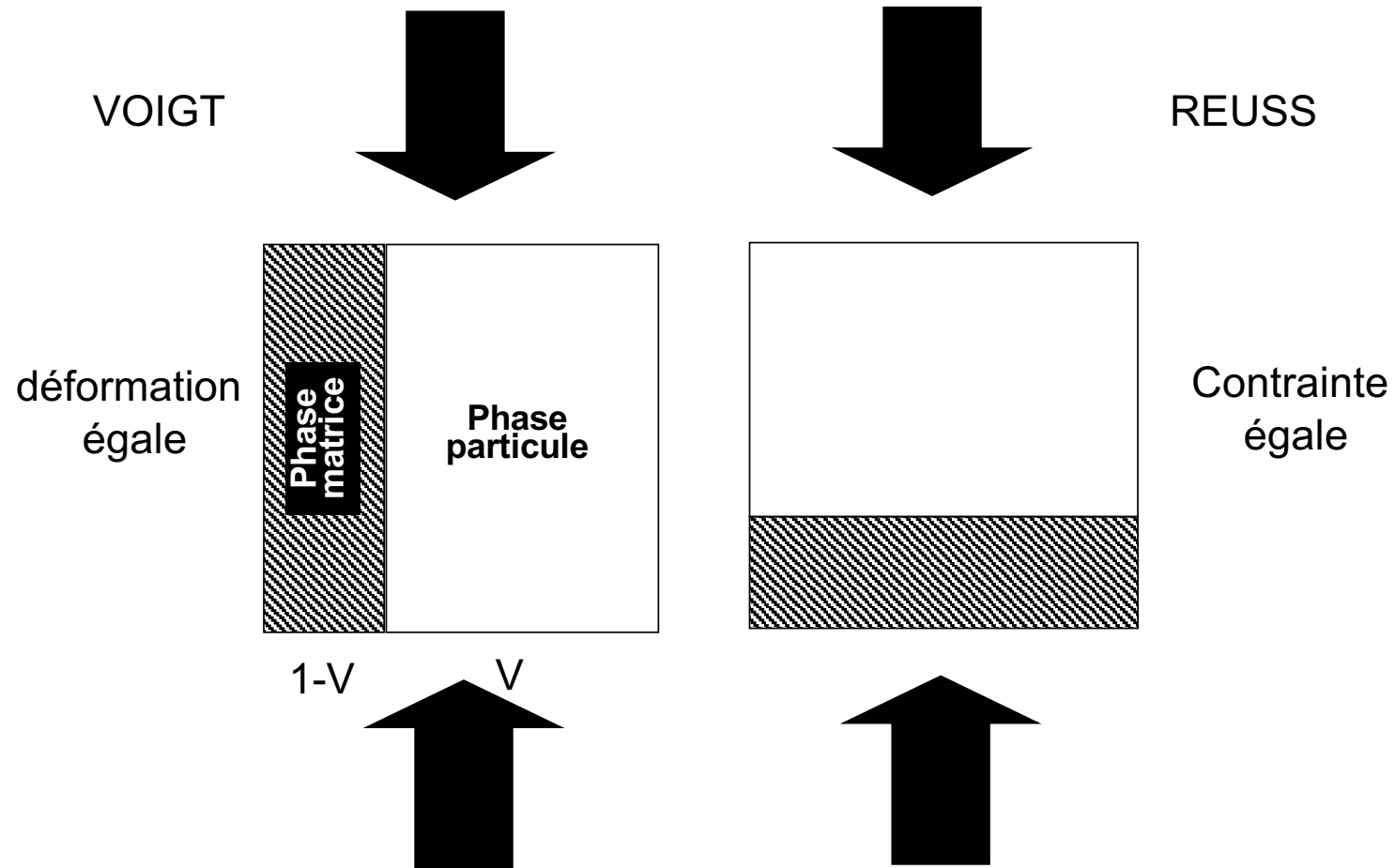
Modified from ACBM Movie

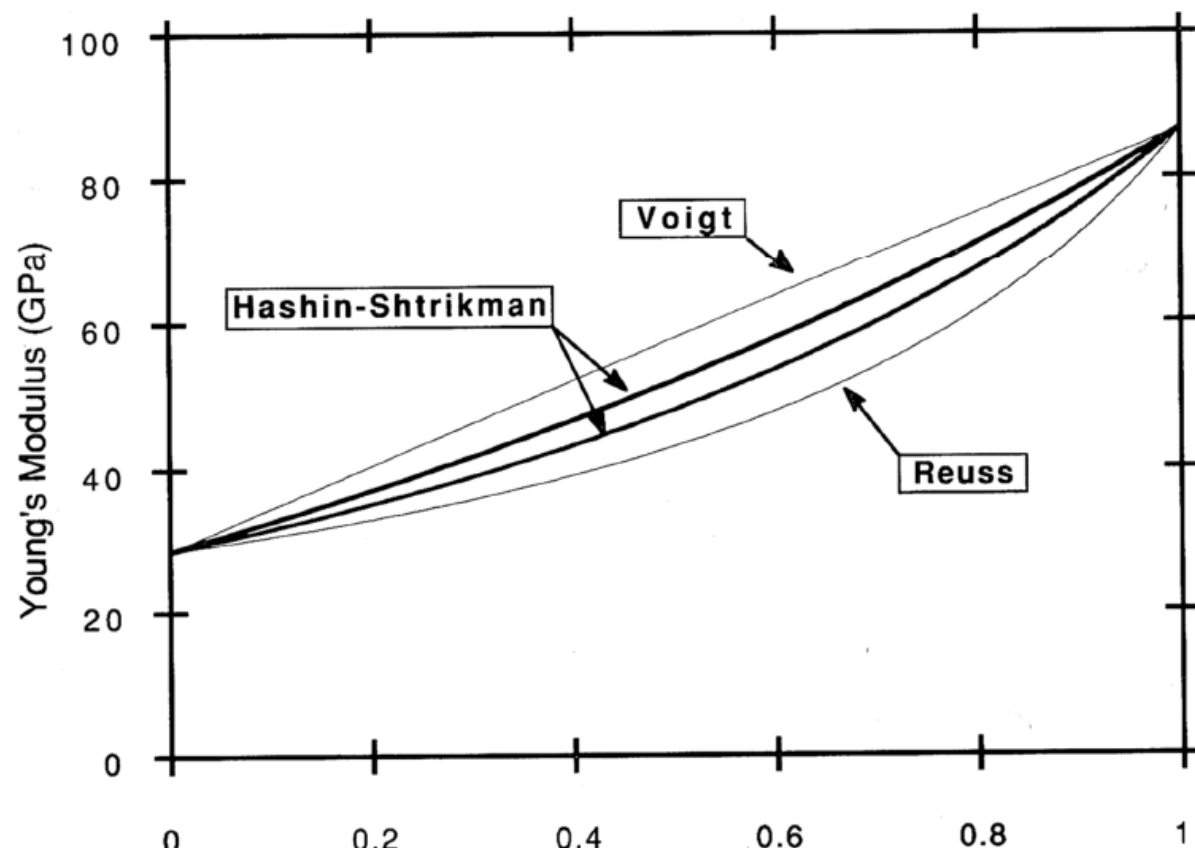
Le béton comme matériau composite



- 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.**