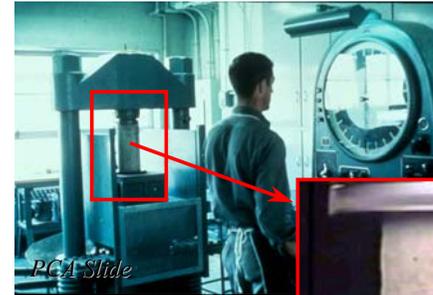


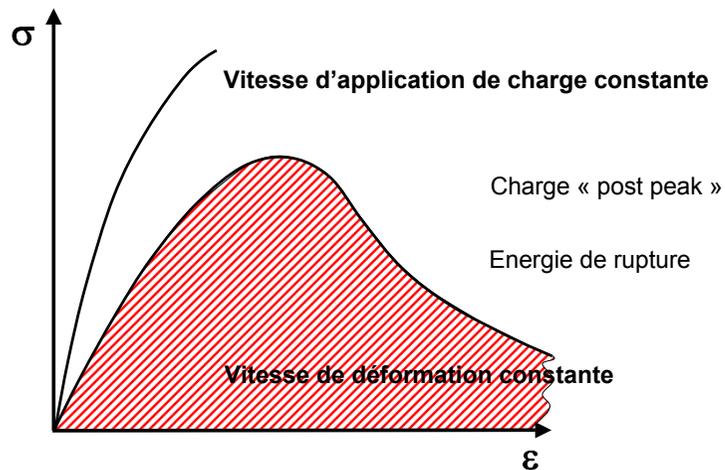
Processus de la rupture



Processus du rupture



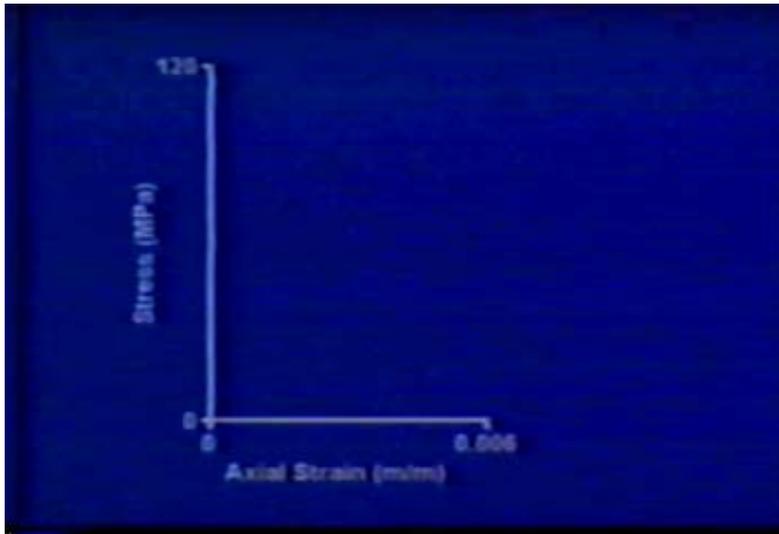
Mode d'application de charge



Fracture du béton à résistance normale à haute résistance



Modified from ACBM Movie



Changement de dimension

Le béton peut être soumis au changement de dimension
 – les causes principales pour ces changements sont:

CHARGE MÉCANIQUE → FLUAGE

VARIATION D'HUMIDITÉ
 SECHAGE

VARIATION DE TEMPERATURE

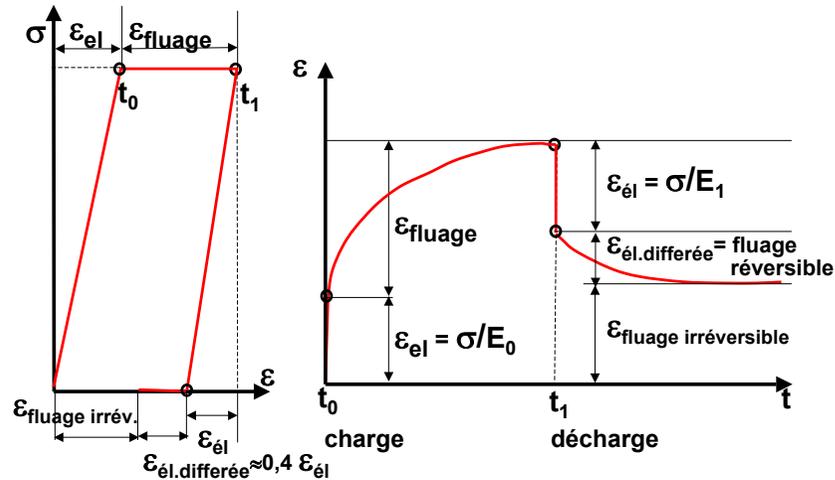
Ces changements dimensionnelles sont aux origines de la fissuration

Souvent ces effets interagissent

Fluage

Comportement sous charge constante

Pourquoi tenir compte du fluage ?



- Le fluage peut provoquer des déformations considérables des ouvrages (2 à 3 fois la déformation instantanée en 3 ans).
- Il est la cause principale des pertes de précontrainte dans les éléments structuraux (relaxation).
- A l'origine de l'atténuation des contraintes maximales (relaxation) d'où l'économie de matière.

Fluage:

Déformation à contrainte constante

Relaxation:

Diminution de contrainte à déformation constante (restraint)

Fluage de base (basic creep):

Sans échange d'eau avec environnement (sans séchage)

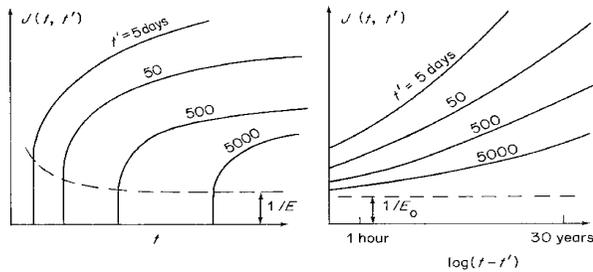
Mécanisme:

L'origine du fluage est dans la pâte de ciment.

Le mécanisme exact n'est pas connu, mais quelques personnes émettent l'hypothèse selon laquelle l'eau dans les pores du C-S-H, sous stress, se diffuse vers les pores capillaires

- réduction de volume du C-S-H

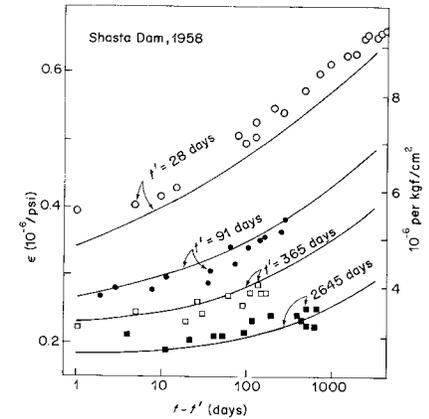
L'importance de l'âge à la mise en charge



$$J(t, t') = \frac{\varepsilon(t, t')}{\sigma_0} \quad \text{: fonction fluage = déformation par unité de charge}$$

t' : l'âge à la mise en charge
 σ_0 : charge constante

Fluage à long terme



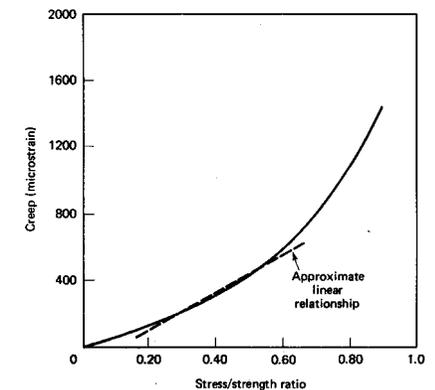
Observations importantes :

- La partie instantanée dépend de l'âge à la mise en charge: vieillissement;
- Le fluage de base n'est pas asymptotique, il est illimité;
- La vitesse de fluage diminue avec le temps;
- Dans la pratique on prend un asymptote fictif, ex après 3ans

Fluage spécifique

Pour la gamme de stress normal d'utilisation - $\sim 0,4R_c$
 La relation entre la déformation en fluage (ε_{fl}) et la contrainte relative (σ / f_c') est presque linéaire

Pour comparer les comportements des bétons:
 Fluage spécifique (specific creep) - c



$$c = \frac{\varepsilon_{fl}}{\sigma}$$

Valeur typique $150 \times 10^{-6} / \text{MPa}$

Coefficient de fluage

$$\varepsilon_{\text{él}} + \varepsilon_{\text{fl}} = \frac{\sigma}{E} + c \cdot \sigma = \frac{\sigma}{E} (1 + E \cdot c) = \frac{\sigma}{E} (1 + \varphi) = \varepsilon_{\text{él}} (1 + \varphi)$$

Fluage spécifique

Coefficient de fluage

$$\varphi = \frac{\varepsilon_{\text{fl}}}{\varepsilon_{\text{él}}}$$

Valeurs typiques:

« φ_{∞} » coefficient de fluage final

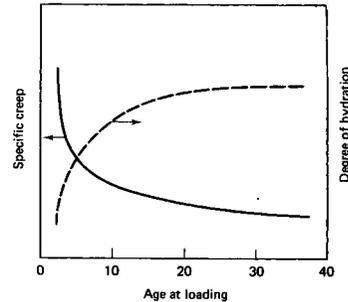
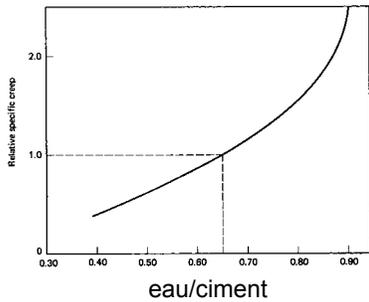
Age lors de l'application de la charge	à l'air humide	à l'air sec
7 jours	2,8	3,5
14 jours	2,4	3,0
28 jours	2,0	2,5
90 jours	1,5	2,0

$$\varphi_{28j} = 0,4 \varphi_{\infty}$$

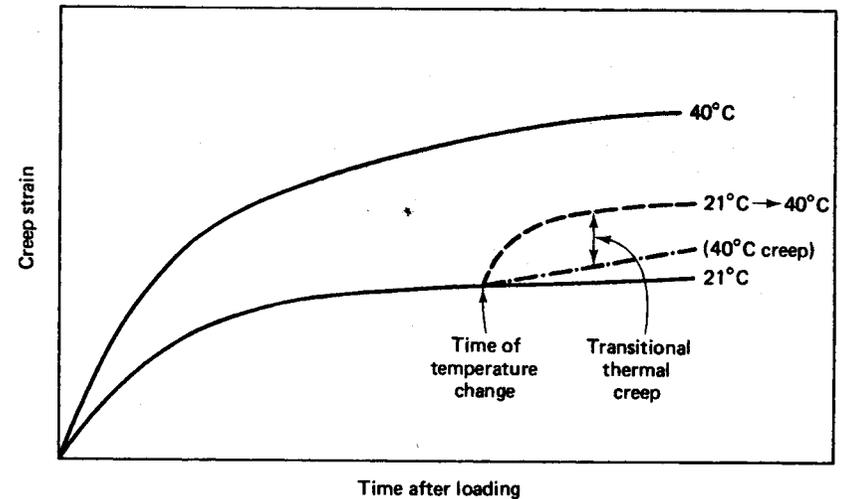
$$\varphi_{90j} = 0,6 \varphi_{\infty}$$

$$\varphi_{365j} = 0,8 \varphi_{\infty}$$

Effet des paramètres



Effet des paramètres



Modèles pratiques (empiriques)

• Acker,
$$J(t, t') = \frac{1}{E(t')} + \varepsilon_\infty(t') \sqrt{\frac{(t+t')^\alpha}{(t+t')^\alpha + b}}$$

ε_∞ : déformation ultime du fluage

• ACI :
$$J(t, t') = \frac{C_u}{E(t')} \left[1 + \frac{(t-t')^{0.6}}{10 + (t-t')^{0.6}} \right]$$

C_u : dépend de l'humidité, épaisseur, qté ciment, vides,...

• CEB :
$$J(t, t') = F_i(t') + \frac{0.4\beta_d(t-t')}{E_{28}} + \frac{\phi_f[\beta_f(t) - \beta_f(t')]}{E_{28}}$$

E_{28} : module à 28 j; $F_i(t')$: exprime la déformation instantanée

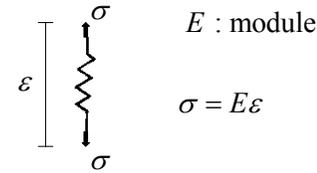
ϕ_d : dépend de H

t' : temps à laquelle le charge est appliqué

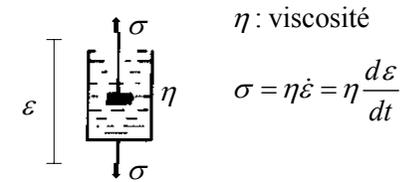
Modélisation du fluage

Comportements élémentaires

Élastique : Ressort



Visqueux : Amortisseur



A charge constante :

$$J = \frac{\varepsilon}{\sigma} = \frac{1}{E}$$

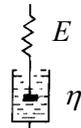
$$J = \frac{\varepsilon}{\sigma} = \frac{t}{\eta} = \frac{1}{E} \left(\frac{t}{\tau} \right)$$

avec $\tau = \eta/E$

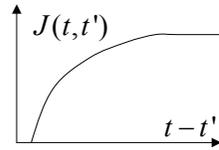
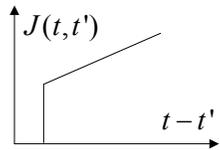
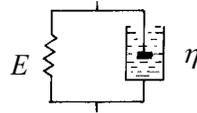
Modélisation du fluage

Modèle rhéologique de base

Maxwell
(fluage linéaire)



Kelvin



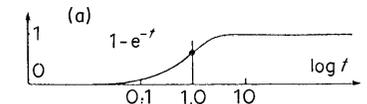
$$J(t, t') = \frac{1}{E(t')} \left[1 + \frac{t-t'}{\tau} \right]$$

$$J(t, t') = \frac{1}{E(t')} \left[1 + e^{-(t-t')/\tau} \right]$$

$\tau = E/\eta$; temps de retardation

Fluage de base

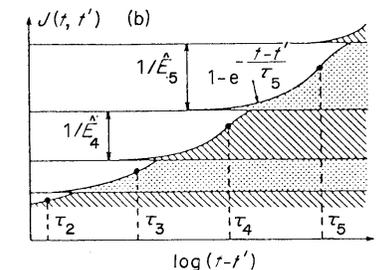
Kelvin généralisé



$$J(t, t') = \frac{1}{E_0(t')} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{E_i(t')} \left[1 + e^{-(t-t')/\tau_i} \right]$$

Inconvénient: beaucoup de paramètres

Avantage: calcul numérique des structures



Fluage de base

Modèles paraboliques (Power law Models, Bazant)

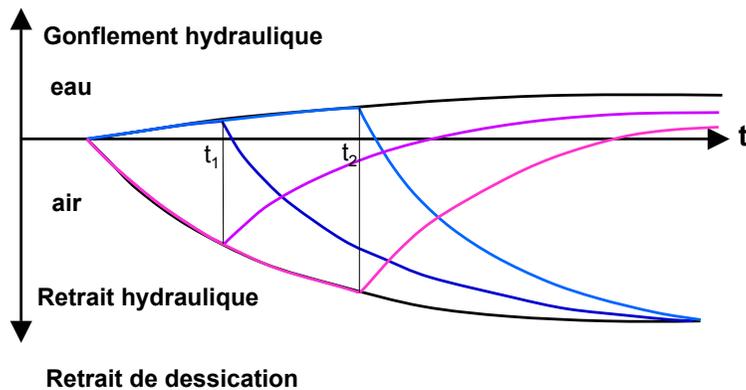
- Modèles à 4 paramètres, valables jusqu'à 30 ans

$$J(t, t') = \frac{1}{E_0} \left[1 + \beta t'^{-m} (t - t')^n \right]$$

- 30 ans et plus :

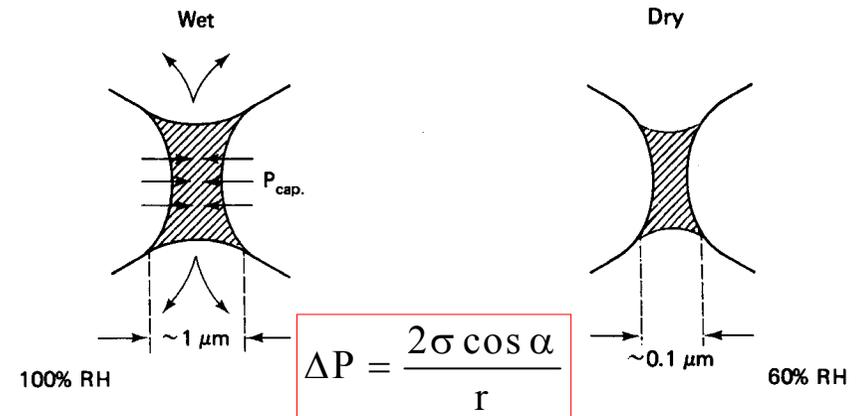
$$J(t, t') = \frac{1}{E_0} \left[1 + \ln \left[\beta t'^{-m} (t - t')^n \right] \right]$$

Avantage: peu de paramètres
 Inconvénient: calcul numérique des structures, stockage de toute l'histoire de chargement

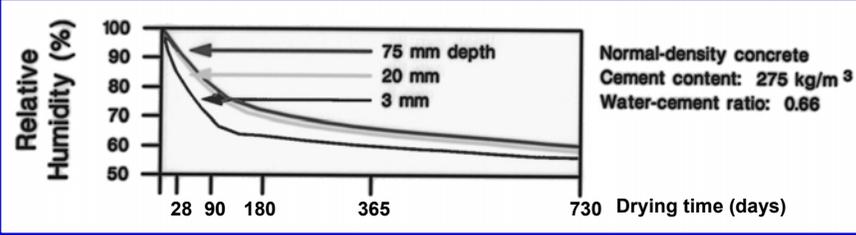


Effet de l'humidité

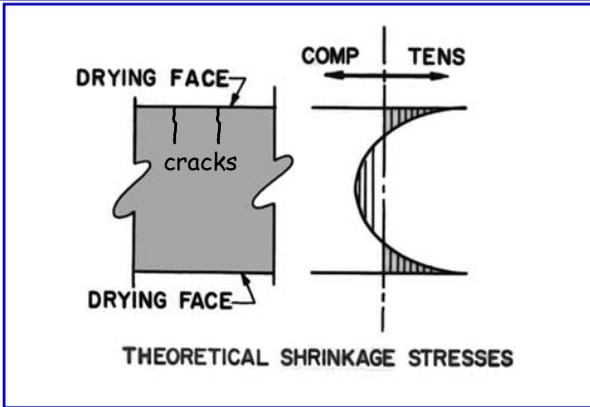
L'origine de retrait de dessiccation



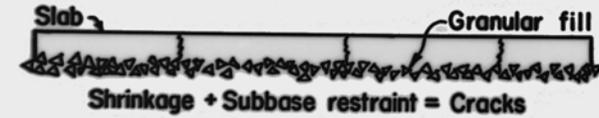
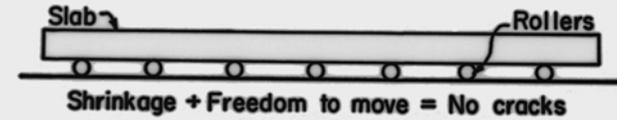
Les forces de ménisque dans les pore capillaire



Le béton ne sèche pas uniformément - l'eau s'évapore d'abord à la surface. Le retrait de la surface est empêché par le béton du cœur et cela résulte par des tractions à la surface

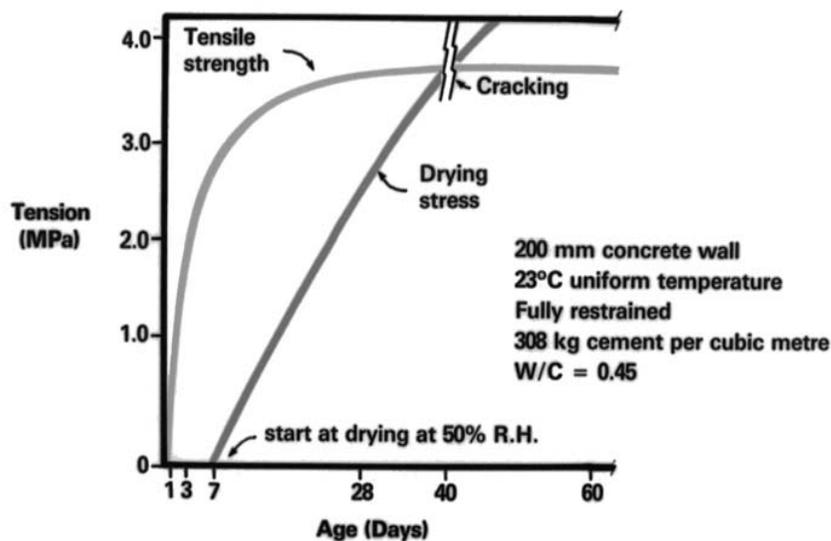


SHRINKAGE AND CRACKING



Les changes de volume sans restreint ne provoquera pas de rupture !

CONCRETE CRACKING

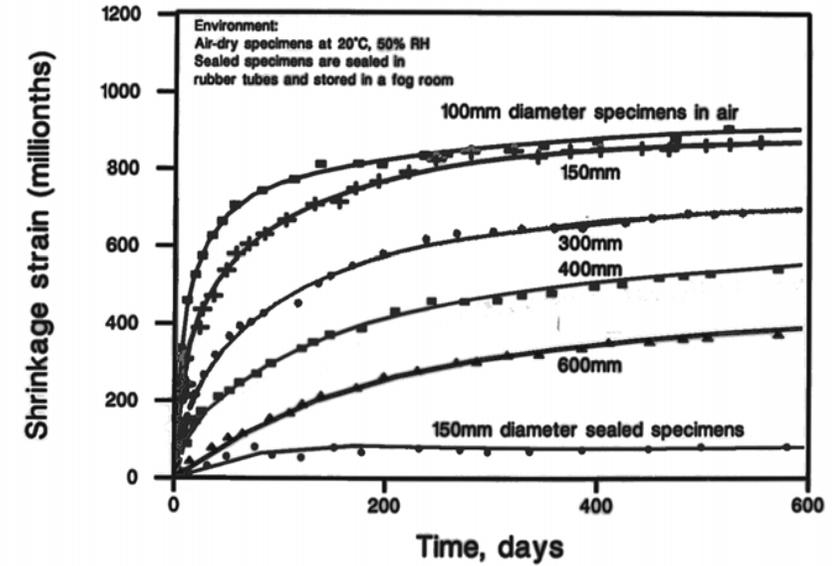


Fissure de retrait dans un plaque de béton

La quantité de retrait qui peut se produire dans un béton de ciment Portland normal s'étend n'importe où jusqu'à environ 0,8 ‰ (800 microstrain or 0.0008 strain) (normalement ~0,5 ‰). Cela dépend de:

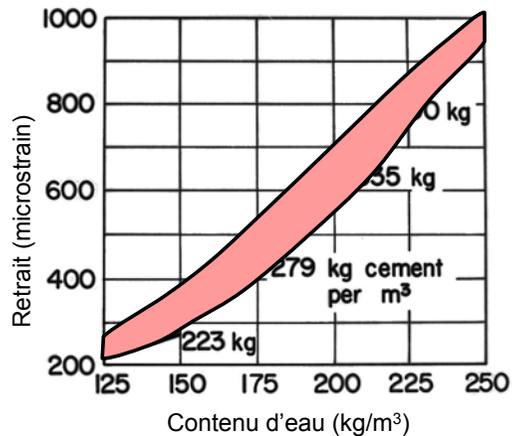
- Conditions de séchage
 - Humidité relative
 - Température
 - Vitesse du vent
- Taille du spécimen
 - Les spécimens plus grands ont un retrait plus lent
- Cure d'hydratation avant séchage
 - Béton bien hydraté a moins de retrait
- Proportions du mélange de béton
 - Eau
 - Volume des Granulats
 - e/c

SHRINKAGE AND SIZE



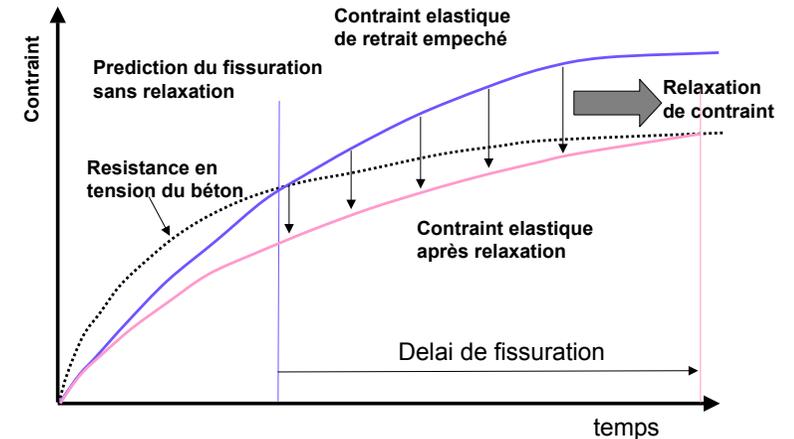
Contrôle du retrait de séchage

La quantité d'eau joue un rôle très important au niveau du retrait. La réduction de la quantité d'eau totale par adjonction de produits chimiques (ex. réducteurs d'eaux ou superfluidifiants) ou par le choix d'une courbe granulométrique appropriées permet de

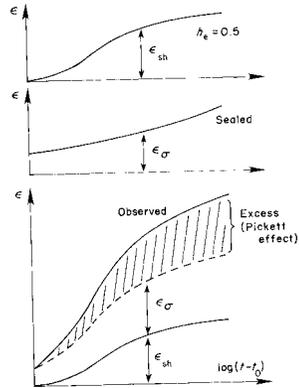


réduire de manière significative le retrait de séchage. L'utilisation des granulats bien arrondi avec le maximum étendu granulométrique possible permet de réduire le contenu en eau.

Le relaxation peut mitiger les effet de retrait



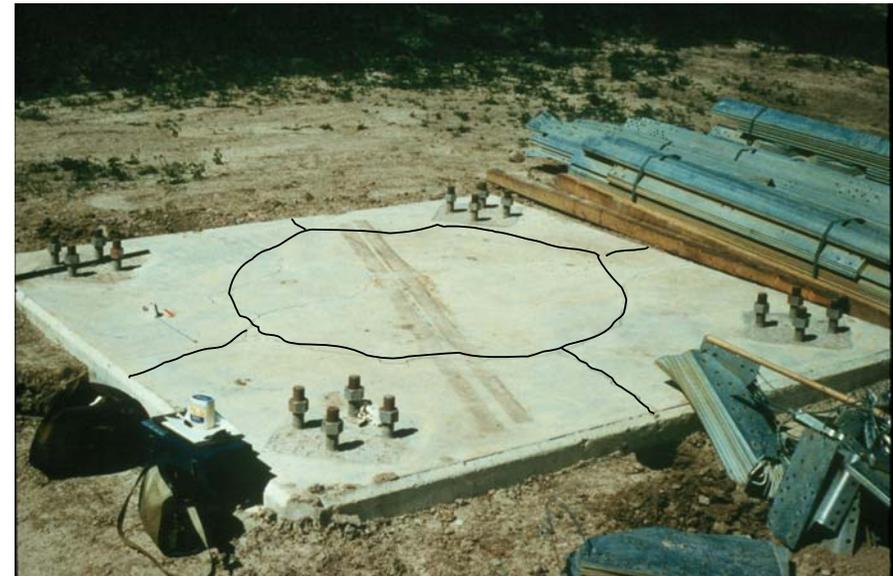
Mais l'effet de retrait plus fluage (en compression) et plus grande que le somme des deux séparé



- La charge du fluage peut accélérer le séchage donc le retrait
- Les contraintes induites par le séchage comme charge supplémentaire peuvent accélérer le fluage
- Distinguer :
 - fluage total
 - fluage de base

Effet de la temperature

- L'hydratation du ciment genere du chaleur
- Le béton (comme la plupart des matériaux) gonfle comme la temperature augement et diminue en volume quand la temperature diminue.
- Les effets de temperature peut poser un probleme dans les structures massive, au cœur du quel les hausses de temperature peut être significative.
- Les regions proche au surface refroidisse plus vite, sont soumis au retrait qui et empecher par le cœur et en consequence sont vulnérable au fissuration.



Un Exemple

Coefficient thermal d'expansion, $\alpha = 10^{-5}$ per °C

ΔT (dû au hydratation) = 15 °C

$$\varepsilon = \alpha \Delta T = 1.5 \times 10^{-4}$$

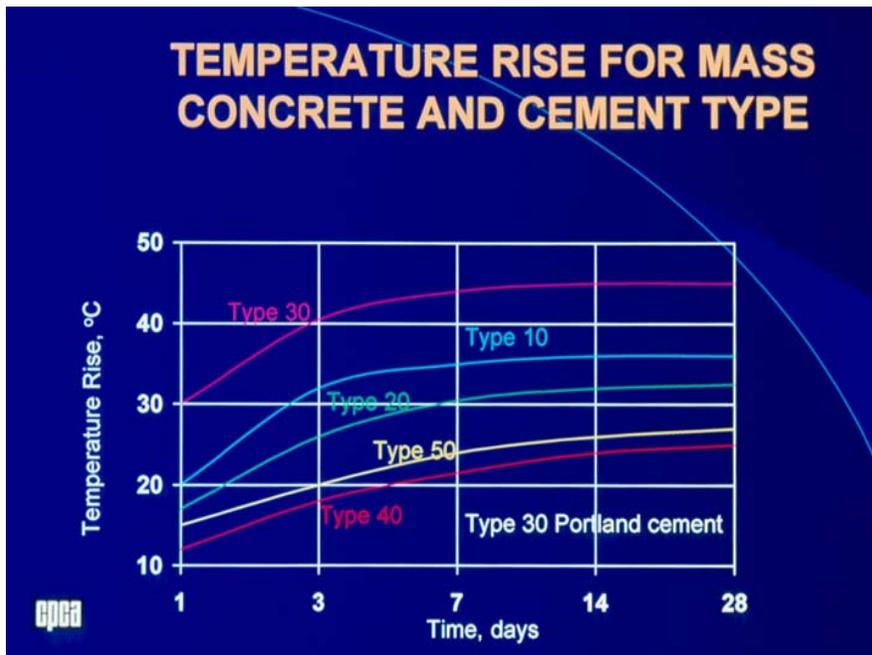
E = 20 GPa

$$\sigma = E\varepsilon = 3 \text{ MPa} > f_t$$

Mais il y a du relaxation – il faut éviter que $\Delta T > 20^\circ\text{C}$

Il y a plusieurs façons de réduire le gradients thermique:

- Réduire le température du béton frais (ex. eau glacé)
- Utilise le pozzolans ou fillers
- réduire le contenu du ciment
- réduire le masse le bétons, fait à la fois
- installe de tuyaux pour refroidire le masses
- insulation du coffrage (reduire de gradients en grandes éléments)
- coffrage en métaux (évacuation du chaleur pour les petits éléments)
- **Utilisation d'un ciment bas chaleur hydratation**



Interaction des effect sechage, charge mécanique, température

