

## 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

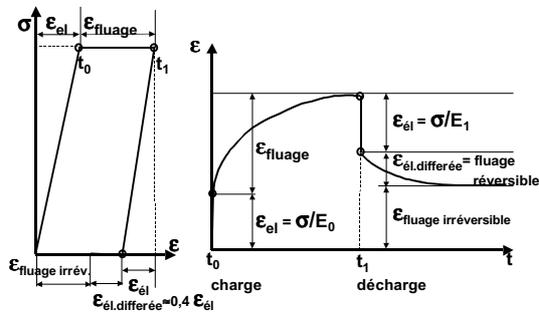
VARIATION DE TEMPERATURE

Ces changements dimensionnelles sont aux origine du  
fissuration

Souvent ces effets interagir

## 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)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



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

---

---

---

---

---

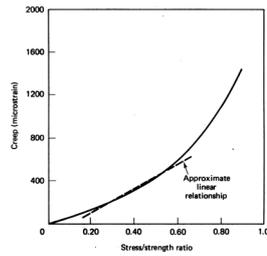
---

---

---

Fluage spécifique

Pour la gamme de stress normal d'utilisation - <math>\sim 0,4R\_c</math>  
 La relation entre la déformation en fluage ( $\epsilon_{fl}$ ) et la contrainte relative ( $\sigma / f_c'$ ) est presque linéaire  
 Pour comparer les comportements des bétons:  
 Fluage spécifique (specific creep) -  $c$



$$c = \frac{\epsilon_{fl}}{\sigma} \quad \text{Valeur typique } 150 \times 10^{-6} / \text{MPa}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

Coefficient de fluage

$$\epsilon_{el} + \epsilon_{fl} = \frac{\sigma}{E} + c \cdot \sigma = \frac{\sigma}{E} (1 + E \cdot c) = \frac{\sigma}{E} (1 + \varphi) = \epsilon_{el} (1 + \varphi)$$

Fluage spécifique
Coefficient de fluage

$$\varphi = \frac{\epsilon_{fl}}{\epsilon_{el}}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Valeurs typiques:

«  $\varphi_{\infty}$  » 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

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

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

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

---

---

---

---

---

---

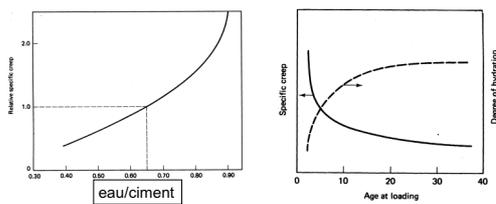
---

---

---

---

## Effet des paramètres




---

---

---

---

---

---

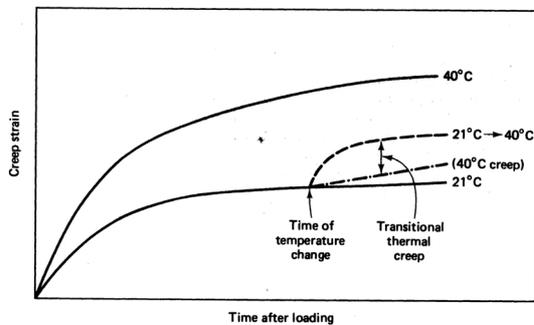
---

---

---

---

## Effet des paramètres




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Modèles pratiques (empiriques)

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

$\varepsilon_{\infty}$  : 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

$\phi_f$ : dépend de  $H$

$t'$  : temps à quelle le charge est appliqué

---

---

---

---

---

---

---

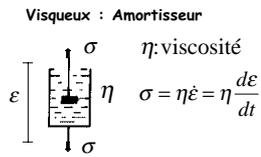
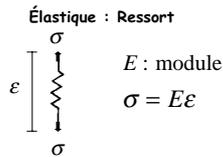
---

---

---

### Modélisation du fluage

#### Comportements élémentaires



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  $\tau = \eta/E$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

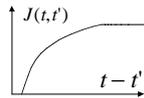
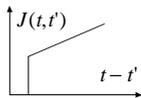
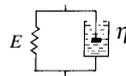
### Modélisation du fluage

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

---

---

---

---

---

---

---

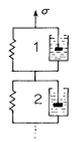
---

---

---

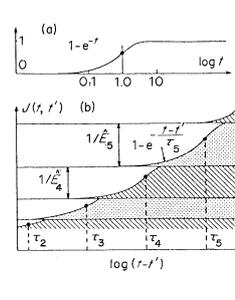
## Fluage de base

Kelvin généralisé



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

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

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

- 30 ans et plus :

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

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

---

---

---

---

---

---

---

---