

**COMPAGNIE DES EXPERTS ARCHITECTES PRÈS LA COURS D'APPEL DE PARIS**

**17 JANVIER 2012**

**LE FLUAGE**

**CE COMPAGNON SILENCIEUX**

**Jean-Antoine LEDUCQ  
Ingénieur ESTP  
Expert Près la CAP  
A. C. de Cassation**



PREMIÈRE RÉALISATION DE JOSEPH-LOUIS LAMBOT INVENTEUR DU CIMENT ARMÉ, QUI DONNERA NAISSANCE AU BÉTON ARMÉ

UNE BARQUE EN CIMENT CONSTRUITE EN 1848 ET ESSAYÉE SUR LE LAC DE BESSE-SUR-ISSOLE DANS LE VAR. PROTOTYPE ORIGINAL VISIBLE AU MUSÉE DE BRIGNOLES



LE PONT DU JARDIN DES PLANTES DE GRENOBLE, PREMIER OUVRAGE AU MONDE EN BÉTON COULÉ, CONSTRUIT EN 1855 PAR JOSEPH ET LOUIS VICAT



IMMEUBLE DU N°1 RUE DANTON  
CONSTRUIT EN 1892 PAR FRANÇOIS HENNEBIQUE LE PREMIER IMMEUBLE PARISIEN UTILISANT LA TECHNIQUE DU BÉTON ARMÉ

**PONT du VEURDRE-sur-ALLIER, construit en 1911-1912 par M. FREYSSINET, Ingénieur des Ponts-et-Chaussées avec le Portland Artificiel ALLARD, NICOLET & C<sup>ie</sup>, de VOREPPE (ISÈRE), (ENTREPRISE F. MERCIER, MOULINS.)**



PONTÉES.. { Arche centrale.. 72<sup>m</sup> 50 } à triple articulation { au sommet une rotule métallique,  
 { Arches de rive.. 66<sup>m</sup> " } { aux naissances deux surfaces en ciment.  
 ÉPAISSEURS : à la clé 19 cm.; aux naissances 50 cm; surhaissement 1/14 et 1/15.

PONT DU VEURDRE SUR ALLIER CONSTRUIT EN 1911 PAR EUGENE FREYSSINET  
 DÉCOUVERTE DU FLUAGE DU BÉTON ET DE SES EFFETS



**Figure 5 : Reboilage des forages et marquage en surface supérieure**

### 3.1.3 ESSAIS MECANIKES AU LABORATOIRE

Les carottes prélevées sont tronçonnées et rectifiées à un élanement de deux ( $\varnothing 73\text{mm}$  L=150mm).



**Figure 6 : tronçonnage à la scie diamant**



**Figure 7 : Surfaçage des éprouvettes**

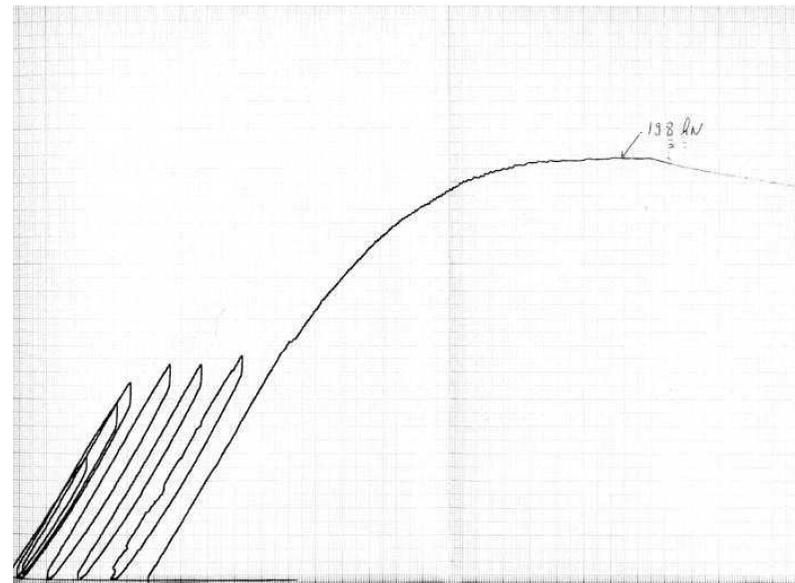
Tous les essais mécaniques sont menés sur éprouvettes saturées (au moins 72h sous eau à 20°C) sous presse hydraulique (2500kN). La mesure du module d'Young est effectuée à la fois par mesure dynamique ultrasonore (auscultation sonore selon la norme P 18-418) et par mesure statique par extensométrie. Ce dernier essai consiste à venir appliquer trois cycles de charge au tiers de sa résistance à la rupture sur l'éprouvette de béton afin de déterminer son module d'élasticité E. La charge à la rupture permet de déterminer la résistance du béton à la compression (vitesse de chargement constante de 2kN/sec).



**Figure 8 : Extensomètre J2P pour la mesure du module d'Young sur éprouvettes**



**Figure 9 : Presse hydraulique 2500kN (Controlab)**



**Figure 10 : Courbe type obtenue sur éprouvette (éprouvette P28 bas)**

COURBES CONTRAINTE DÉFORMATION DU BÉTON

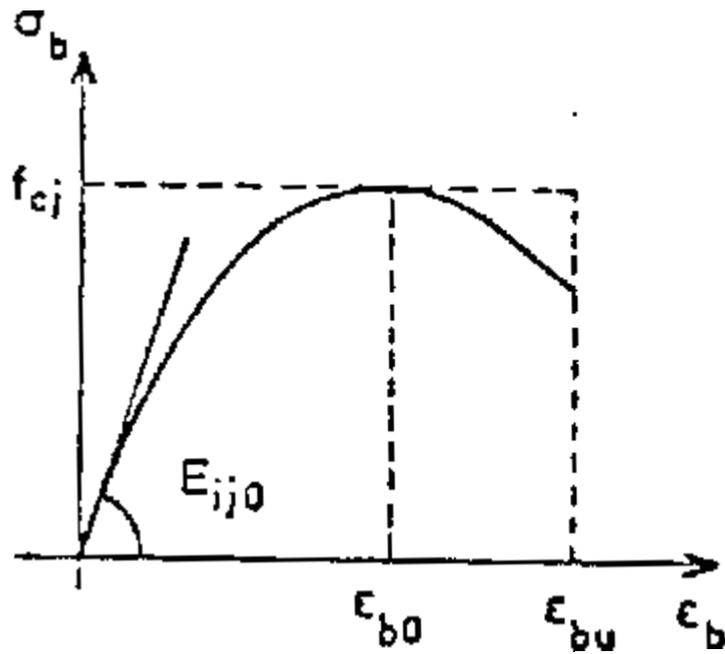
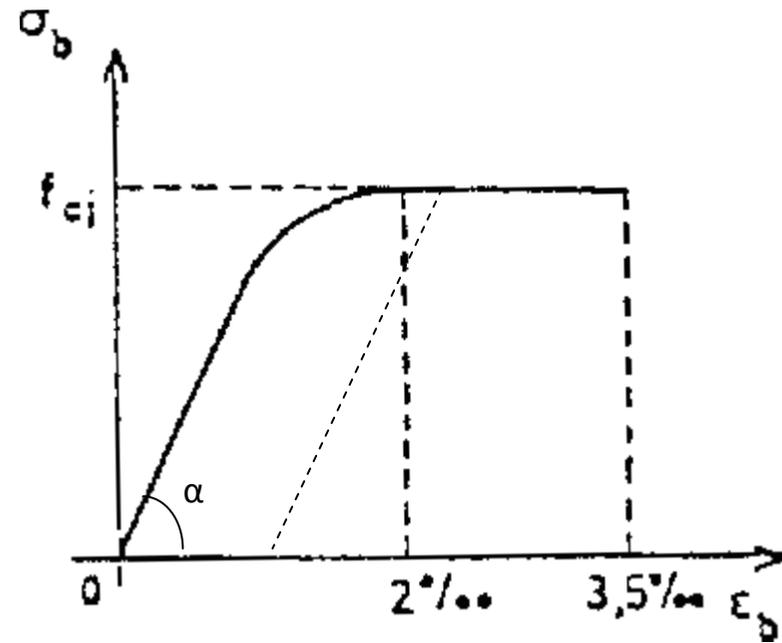


SCHÉMA RÉEL



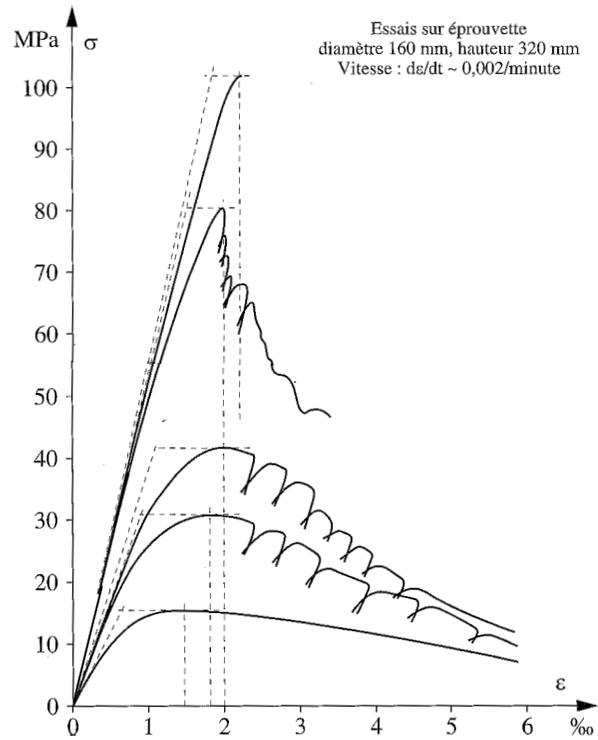
SCHÉMAS SIMPLIFIE DE CALCUL

Loi de HOOKE  $\sigma = E \varepsilon$   $E = \text{tg } \alpha$

$\sigma = F/S$   $\varepsilon = \Delta L / L = (l - l_0) / l_0$

E = module d'élasticité, module d'YOUNG

## MODULE ÉLASTIQUE DU BÉTON



Corrélation résistance maximale – module élastique du béton

**BAEL 91**

**A.2.1,21**

$$E_{Ij} = 11\,000 f_{cj}^{1/3}$$

**A.2.1,22**

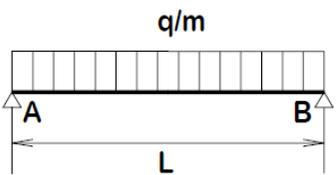
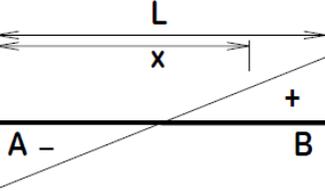
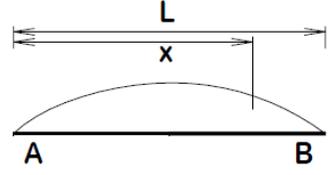
$$E_{Vj} = 3\,700 f_{cj}^{1/3}$$

$$E_{Vj} \sim E_{Ij} / 3$$

DÉFORMATION DU  
BÉTON EN  
FLEXION

(fissures dessus  
de retrait  
fissures dessous  
de flexion)



 <p> <math>R_A = \frac{qL}{2} \quad R_A = R_B</math>            Charge uniformément répartie         </p>	 <p> <math>V_A = -\frac{qL}{2} \quad V_B = +\frac{qL}{2}</math>  <math>V(x) = \frac{q \cdot L}{2} - q \cdot x</math> </p>	 <p> <math>M_0 = \frac{q \cdot L^2}{8}</math> pour <math>x_0 = \frac{L}{2}</math>  <math>M(x) = \frac{q \cdot x}{2} (L - x)</math> </p>	<p>Flèche</p> $f = \frac{5}{384} \cdot \frac{qL^4}{EI}$ <p>pour <math>x = \frac{L}{2}</math></p>
--	---	--	--



SÉCHERESSE DU SOL PHÉNOMÈNE ÉQUIVALENT AU RETRAIT DU BÉTON

BAEL 91

Art. 2.1,22 :  $2 \cdot 10^{-4}$  m/m en France sauf quart sud-est.

Joint tous les 40 m → retrait total = 8 mm

## BAEL 91

### A.2.1,22

Les déformations **différées** du béton comprennent le **retrait** et le **fluage** ; on considère dans les calculs que les effets de ces deux phénomènes **s'additionnent** sans atténuation.

#### COMMENTAIRE

Dans les cas où les règles simplifiées données ici paraîtraient insuffisantes ou incomplètes, il conviendrait de **se reporter aux règles du béton précontraint**.

A défaut de mesures, on admet que sous contraintes de **longue durée** d'application, les déformations longitudinales **complémentaires** dues au fluage du béton sont **doubles** de celles dues aux mêmes contraintes supposées de **courte durée** et appliquées au même âge.

#### COMMENTAIRE

Cette règle revient à considérer un module de déformation différée  $E_{vj}$  à j jours, qui permet de calculer la **déformation finale du béton (déformation instantanée augmentée du fluage)**. Si on exprime les résistances en MPa (ou N/mm<sup>2</sup>), ce module est donné par la formule : Si les résistances sont exprimées en bars, la formule devient :

$$E_{vj} = 3\,700 f_{cj}^{1/3} \quad \sim E_{ij} / 3$$

## BPEL 91

### 2.1.5.2 fluage

Dans les calculs relatifs aux états-limites de service

#### COMMENTAIRE

Bien que le fluage cesse d'être linéaire à partir d'une certaine valeur de la contrainte, on admet d'utiliser les formules du présent article pour évaluer l'effet du fluage dans les calculs aux états-limites ultimes de stabilité de forme.

, la déformation de fluage à l'instant t d'un béton soumis à l'âge  $j = t_1 - t_0$  à une contrainte constante  $\sigma_1$  est exprimée sous la forme :

$$\varepsilon_{fl} = \varepsilon_{ic} \cdot K_{fl}(t_1 - t_0) \cdot f(t - t_1)$$

$t_0$  : date du bétonnage,

$t_1$  : date de mise en charge ;

où :

-  $\varepsilon_{ic}$  est une déformation conventionnelle instantanée sous l'effet de la contrainte  $\sigma_1$  :

$$\varepsilon_{ic} = \sigma_1 / E_{i28}$$

-  $K_{fl}$  est le coefficient de fluage, qui dépend notamment de l'âge ( $t_1 - t_0$ ) du béton au moment où il subit la contrainte  $\sigma_1$  ;

- et  $f(t - t_1)$  une fonction de la durée du chargement ( $t - t_1$ ), exprimée en jours, qui varie de 0 à 1 quand cette durée varie de 0 à l'infini.

On peut également mettre  $\varepsilon_{fl}$  sous la forme :

$$\varepsilon_{fl} = \varepsilon_i \Phi(t_1 - t_0) f(t - t_1)$$

où :

- $\varepsilon_i$  est la déformation réelle instantanée :  $\varepsilon_i = \sigma_i / E_{ij}$  ;
- $\Phi = K_{fl} E_{ij} / E_{i28}$  le rapport entre la déformation finale du fluage et la déformation réelle instantanée.

Lorsque l'évaluation des déformations doit être faite avec précision, le calcul est mené selon les indications de l'annexe 1 .

Dans les cas courants, on peut prendre

#### COMMENTAIRE

On peut donc définir en tant que moyen de calcul un module de déformation longitudinale du béton à long terme incluant les déformations instantanées et différées et noté  $E_{vj}$  utilisable sous l'effet des charges permanentes ou de très longue durée d'application et donné par la formule :

$$E_{vj} = \frac{11\,000 \sqrt[3]{f_{cj}}}{1 + \Phi} \text{ (MPa)}$$

Pour un béton à hautes performances, de résistance caractéristique  $f_{c28}$  supérieure à 50 MPa, il est possible d'adopter pour  $\Phi$  une valeur inférieure à 2 sous réserve de la justifier par des essais probants.

:

, avec  $\Phi = 2$ .

$$\varepsilon_{fl} = \Phi \frac{\sigma_1}{E_{ij}} f(t-t_1)$$

La loi d'évolution de fluage  $f(t - t_1)$  est donnée par la formule :

$$f(t-t_1) = \frac{\sqrt{t-t_1}}{\sqrt{t-t_1} + 5\sqrt{r_m}}$$

dans laquelle la durée de chargement  $(t - t_1)$  est exprimée en jours et le rayon moyen  $r_m$  en centimètres.

Lorsque le béton est soumis à une succession de variations de contrainte il est admis de superposer des déformations de fluage dues à chaque variation de contrainte, sauf si certaines de ces variations sont de fortes diminutions. Il faut alors se reporter à l'annexe 1 .

#### 2.1,52 Fluage MODIFICATION 2000

Dans les cas où les déformations finales de fluage sont évaluées à l'aide d'un module de déformations à long terme incluant les déformations instantanées et différées le coefficient  $\Phi$  prend les valeurs suivantes :

si  $40 \leq f_{c28} < 60$  MPa :  $\Phi = 2$

si  $60 \leq f_{c28} < 80$  MPa

et pour un BHP sans fumée de silice :  $\Phi = 1,5$

si  $60 \leq f_{c28} < 80$  MPa

et pour un BHP avec fumée de silice :  $\Phi = 0,8$ .

Pour des calculs plus précis, il faut se reporter à l'annexe 1 modifiée.

# ANNEXE 1 BPEL 91

## DÉFORMATIONS DU BÉTON

### 1 domaine d'application

La présente annexe concerne l'estimation des déformations instantanée et différée par retrait et par fluage du béton de ciment Portland. Elle reflète l'état actuel des connaissances. Elle est modifiée ou complétée :

- par l'annexe 5 pour les bétons légers,
- par l'annexe 6 dans le cas d'un béton traité thermiquement.

### 4 fluage

#### 4.1 généralités

Le terme général de fluage désigne les déformations différées du béton sous l'effet des contraintes qui lui sont appliquées, le retrait étant par convention, déduit des déformations différées totales.

Les paragraphes suivants permettent d'évaluer les déformations de fluage dans le cas de conditions thermohygro-métriques constantes, et, par extension, pour les ouvrages.

Il est nécessaire de distinguer plusieurs cas :

- Le cas de l'application d'une contrainte  $\sigma_1$ , appliquée au temps  $t_1$ , et maintenue constante ensuite. C'est à ce cas particulier que correspond le terme de fluage pris au sens restrictif, tel que le définissent les normes d'essai.
- Le cas d'une succession d'accroissements de contraintes, toutes de compression, s'en déduit facilement en admettant la superposabilité des déformations de fluage.
- Par contre, le cas d'une diminution de contrainte doit être traité de façon spécifique.

Pour traiter les problèmes pratiques des projets, on peut adopter, dans les cas courants, la loi de fluage correspondant à l'application d'une contrainte constante, en admettant le principe de superposition pour déterminer les effets des chargements successifs ou des variations de contrainte, même négatives. C'est ce qu'on doit faire, par exemple, pour déterminer les déformations, ou l'effet des pertes de précontrainte, lorsque ces variations de contrainte restent modérées.

Par contre, lorsque la contrainte subit une diminution très importante en valeurs absolue et relative, et s'il est nécessaire de faire les calculs avec une plus grande précision, il faut utiliser le modèle de calcul du paragraphe 4.4 .

#### 4.2 fluage sous contrainte constante

Si l'on applique sur un béton non chargé, à l'âge  $t_1$ , une contrainte  $\sigma_1$  que l'on maintient ensuite constante, on peut admettre que la déformation de fluage, à un instant donné, est proportionnelle à la déformation instantanée produite par la contrainte  $\sigma_1$ , tant que cette contrainte reste inférieure à environ  $0,7 f_{cj}$ .

La déformation de fluage qui apparaît dans l'intervalle de temps  $(t_1, t)$  peut donc être évaluée au moyen de la formule :

$$\varepsilon_{f1}(t) = \varepsilon_{ic1} K_{f1}(t_1) f(t - t_1)$$

où :

- $\varepsilon_{ic1}$  est la déformation conventionnelle instantanée produite par la contrainte  $\sigma_1$ ,
- $K_{f1}(t_1)$  est le coefficient de fluage correspondant à l'âge du chargement  $t_1$ ,
- et  $f(t - t_1)$  est la loi d'évolution du fluage, qui varie de 0 à 1 lorsque la durée du chargement,  $(t - t_1)$ , varie de 0 à l'infini.

#### 4.2.1 déformation conventionnelle instantanée

La déformation conventionnelle instantanée du béton, initialement non chargé, sous l'effet d'une contrainte  $\sigma$ , est la déformation instantanée qu'il subirait sous l'effet de cette contrainte s'il était âgé de 28 jours au moment du chargement.

Dans les cas où l'on a adopté le modèle linéaire pour la déformation instantanée, on a :

$$\varepsilon_{ic} = \sigma / E_{i28}$$

et, si l'on a adopté le modèle non linéaire défini au paragraphe 2.2.2 on a de même :

$$\varepsilon_{ic} = \frac{\sigma}{E_{i28}} (1 + k_i)$$

#### 4.2.2 coefficient de fluage

Le coefficient de fluage, à l'âge  $t_1$  de mise en charge, peut être évalué au moyen de l'expression :

$$K_{t_1} = k_s [k_e + k_c k(t_1)]$$

les coefficients  $k_s$ ,  $k_e$ ,  $k_c$  et  $k(t_1)$  étant définis ci-dessous :

- Le coefficient  $k_s$  dépend du **pourcentage des armatures adhérentes longitudinales**. Sa valeur est identique à celle donnée pour le retrait, au paragraphe 3.2.1 .
- Le coefficient  $k_e$  qui représente la limite inférieure du coefficient de fluage du béton non armé, lorsqu'il est chargé très vieux, est pris égal à 0,40.
- Le coefficient  $k_c$  dépend des conditions ambiantes et du rayon moyen de la pièce. Il est évalué au moyen de la formule suivante :

$$k_c = \frac{120 - \rho_h}{30} + \frac{2}{3} \frac{100 - \rho_h}{20 + r_m}$$

dans laquelle :

- $\rho_h$  est **l'hygrométrie ambiante** exprimée en pourcentage d'humidité relative : dans l'eau on prend  $\rho_h = 100$  ;
- $r_m$  est le **rayon moyen** de la pièce, exprimé en centimètres.
- le coefficient  $k(t_1)$  dépend du durcissement du béton à **l'âge de mise en charge**. Il est donné par :

$$k(t_1) = \frac{100}{100 + t_1}$$

où  $t_1$  est l'âge du béton, exprimé en jours, compté à partir du jour de fabrication.

#### 4.2.3 loi d'évolution du fluage

La loi d'évolution du fluage est donnée par l'expression :

$$f(t - t_1) = \frac{\sqrt{t - t_1}}{\sqrt{t - t_1} + 5\sqrt{r_m}}$$

où  $r_m$  est le rayon moyen de la pièce, exprimé en centimètres, et  $t - t_1$  la **durée d'application du chargement**, exprimée en jours.

## DÉFORMATIONS EC2

### 3.1.3 Déformation élastique

(1) Les déformations élastiques du béton dépendent largement de la composition de celui-ci (notamment des granulats). Il convient de considérer les valeurs données dans la présente Norme comme des valeurs indicatives, valables pour des applications générales. Il convient cependant de les déterminer de manière explicite si la structure est considérée comme sensible aux écarts éventuels par rapport à ces valeurs générales.

(2) Le module d'élasticité du béton dépend du module d'élasticité de ses constituants. Des valeurs approchées de  $E_{cm}$ , module sécant entre  $\sigma_c = 0$  et  $0,4f_{cm}$ , sont données dans le [Tableau 3.1](#) pour des bétons contenant des granulats de quartzite. Pour des granulats calcaires et des granulats issus de grès, il convient de réduire la valeur de 10 % et 30 % respectivement tandis qu'il convient de l'augmenter de 20 % pour des granulats issus de basalte.

#### NOTE

L'[Annexe Nationale](#) du pays peut faire état d'informations complémentaires non contradictoires.

#### Clause 3.1.3 (2) NOTE

Le module d'élasticité du béton donné par le [Tableau 3.1](#) de la norme NF EN 1992-1-1 (NF P 18-711-1) s'applique directement pour les granulats de masse volumique comprise entre 2,5 et 2,7 (c'est généralement le cas de granulats de type silico-calcaire).

Des valeurs différentes de celles proposées dans le [Tableau 3.1](#) peuvent être proposées pourvu qu'elles soient justifiées par des essais, sachant que la valeur du module d'élasticité peut s'écarter de plusieurs dizaines de % des valeurs proposées pour d'autres raisons que la nature des granulats notamment la présence d'air entraîné et le volume de pâte.

Des valeurs différentes peuvent être envisagées pour le cas des fondations profondes, écrans de soutènement, et autres ouvrages de fondations profondes. Elles sont fixées dans les normes correspondantes.

(3) L'évolution du module d'élasticité avec le temps peut être estimée par :

$$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t) / f_{cm})^{0,3} E_{cm} \quad \dots (3.5)$$

expression dans laquelle  $E_{cm}(t)$  et  $f_{cm}(t)$  sont les valeurs à l'âge  $t$  (jours) et  $E_{cm}$  et  $f_{cm}$  les valeurs déterminées à 28 jours. La relation entre  $f_{cm}(t)$  et  $f_{cm}$  est donnée par l'[Expression \(3.1\)](#).

(4) Le coefficient de Poisson peut être pris égal à 0,2 pour le béton non fissuré et à 0 pour le béton fissuré.

(5) A défaut d'informations plus précises, le coefficient linéaire de dilatation thermique peut être pris égal à  $10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

### 3.1.4 Fluage et retrait

(1)P Le fluage et le retrait du béton dépendent de l'humidité ambiante, des dimensions de l'élément et de la composition du béton. Le fluage dépend également de la maturité du béton lors du premier chargement ainsi que de la durée et de l'intensité de la charge.

(2) Le coefficient de fluage  $\varphi(t, t_0)$  est fonction de  $E_c$ , le module tangent, qui peut être pris égal à  $1,05 E_{cm}$ . Dans les cas où une grande précision n'est pas requise, la valeur obtenue à l'aide de la [Figure 3.1](#) peut être considérée comme le coefficient de fluage, sous réserve que le béton ne soit pas soumis à une contrainte de compression supérieure à  $0,45 f_{ck}(t_0)$  à un âge  $t_0$ , âge du béton au moment du chargement.

#### NOTE

Pour plus d'informations, y compris sur l'évolution du fluage avec le temps, on pourra se reporter à l'[Annexe B](#).

(3) La déformation de fluage du béton à l'instant  $t = \infty$ ,  $\varepsilon_{cc}(\infty, t_0)$  sous une contrainte de compression constante  $\sigma_c$  appliquée à l'âge du béton  $t_0$ , est donnée par :

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \cdot (\sigma_c / E_c) \quad \dots (3.6)$$

# Annexe B (informative) Déformations dues au fluage et au retrait

## B.1 Équations de base pour la détermination du coefficient de fluage

(1) Le coefficient de fluage  $\varphi(t, t_0)$  peut être calculé à partir de :

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) \quad \dots \text{(B.1)}$$

où :

- $\varphi_0$  est le coefficient de fluage conventionnel et peut être estimé par :

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad \dots \text{(B.2)}$$

- $\varphi_{RH}$  est un facteur tenant compte de l'influence de l'humidité relative sur le coefficient de fluage conventionnel :

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \quad \text{pour } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \quad \dots \text{(B.3a)}$$

$$\varphi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot a_1 \right] \cdot a_2 \quad \text{pour } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \quad \dots \text{(B.3b)}$$

- $RH$  est l'humidité relative de l'environnement ambiant en %
- $\beta(f_{cm})$  est un facteur tenant compte de l'influence de la résistance du béton sur le coefficient de fluage conventionnel :

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad \dots \text{(B.4)}$$

- $f_{cm}$  est la résistance moyenne en compression du béton à 28 jours, en MPa
- $\beta(t_0)$  est un facteur tenant compte de l'influence de l'âge du béton au moment du chargement sur le coefficient de fluage conventionnel :

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})} \quad \dots \text{(B.5)}$$

- $h_0$  est le rayon moyen de l'élément, en mm :

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} \quad \dots \text{(B.6)}$$

- $A_c$  est l'aire de la section droite
- $u$  est le périmètre de l'élément en contact avec l'atmosphère
- $\beta_c(t, t_0)$  est un coefficient qui rend compte du développement du fluage avec le temps après chargement, et peut être estimé par l'expression suivante :

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3} \quad \dots \text{(B.7)}$$

- $t$  est l'âge du béton à l'instant considéré, en jours
- $t_0$  est l'âge du béton au moment du chargement, en jours
- $t - t_0$  est la durée non ajustée du chargement, en jours
- $\beta_H$  est un coefficient dépendant de l'humidité relative ( $RH$  en %) et du rayon moyen de l'élément ( $h_0$  en mm). Il peut être estimé par :

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1\ 500 \quad \text{pour } f_{cm} \leq 35 \quad \dots \text{ (B.8a)}$$

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 a_3 \leq 1\ 500 a_3 \quad \text{pour } f_{cm} \geq 35 \quad \dots \text{ (B.8b)}$$

- $\alpha_{1/2/3}$  sont des coefficients tenant compte de l'influence de la résistance du béton :

$$a_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} \quad a_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} \quad a_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5} \quad \dots \text{ (B.8c)}$$

(2) L'influence du type de ciment sur le coefficient de fluage du béton peut être prise en compte en modifiant l'âge du chargement  $t_0$  dans l'Expression (B.5) conformément à l'expression suivante :

$$t_0 = t_{0,T} \cdot \left( \frac{9}{2 + t_{0,T}^{1,2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0,5 \quad \dots \text{ (B.9)}$$

où :

- $t_{0,T}$  est l'âge du béton au moment du chargement, en jours, corrigé en fonction de la température, conformément à l'Expression (B.10)
- $\alpha$  est une puissance qui dépend du type de ciment (voir 3.1.2 (6)) :
  - = - 1 pour les ciments de la classe S
  - = 0 pour les ciments de la classe N
  - = 1 pour les ciments de la classe R

(3) L'influence des températures élevées ou faibles dans l'intervalle de 0 à 80 °C sur la maturité du béton peut être prise en compte en ajustant l'âge du béton conformément à l'expression suivante :

$$t_t = \sum_{i=1}^n e^{-\frac{4\ 000}{273 + T(\Delta t_i)} - 13,65} \cdot \Delta t_i \quad \dots \text{ (B.10)}$$

où :

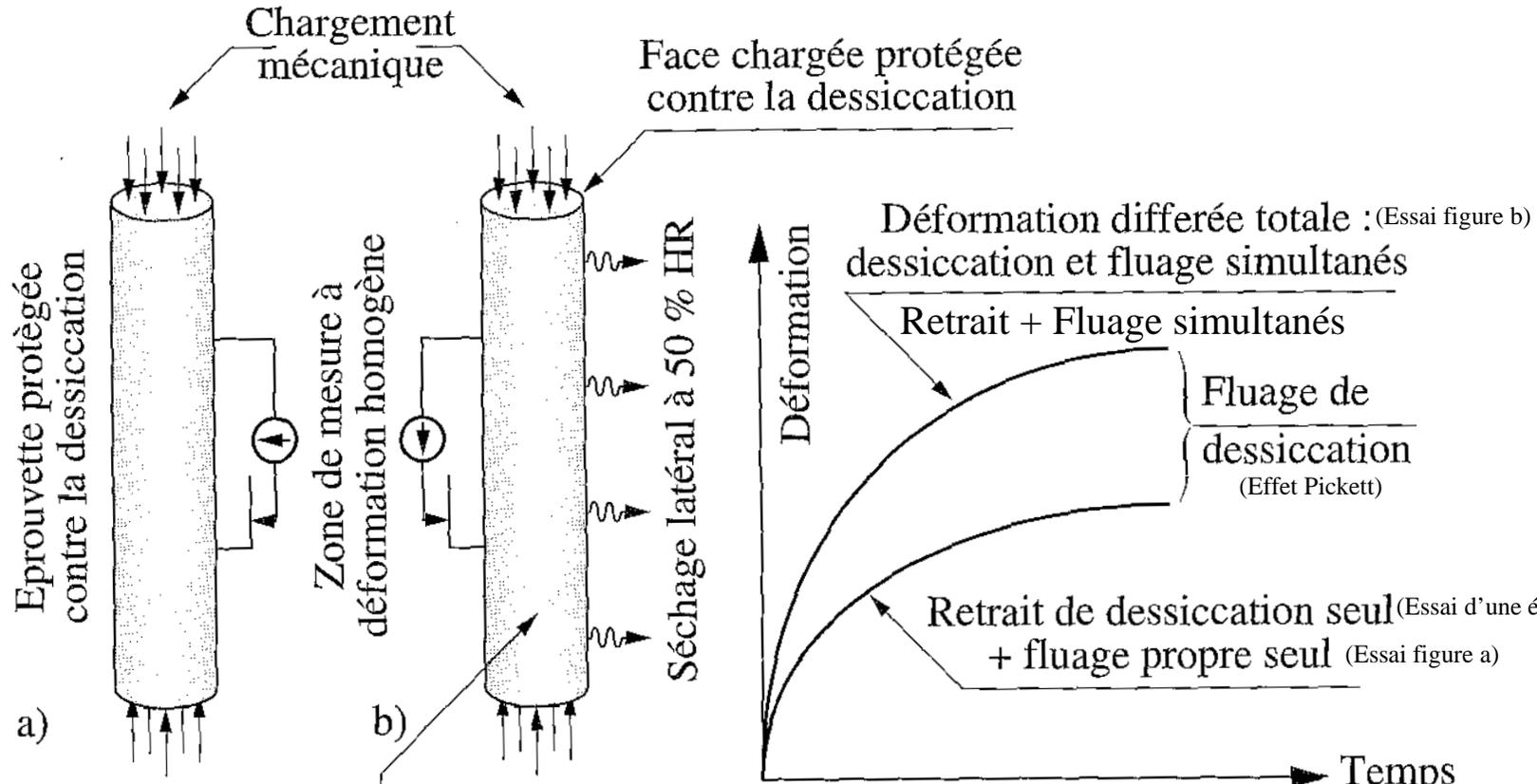
- $t_T$  est l'âge du béton corrigé en fonction de la température, remplaçant  $t$  dans les expressions correspondantes
- $T(\Delta t_i)$  est la température durant la période de temps  $\Delta t_i$ , en °C
- $\Delta t_i$  est le nombre de jours où règne la température  $T$ .

Le coefficient de variation moyen des données de fluage prévues ci-dessus et déduites d'une banque de données informatisée de résultats d'essais en laboratoire, est de l'ordre de 20 %.

Il convient d'associer les valeurs de  $\varphi(t, t_0)$  données ci-dessus au module tangent  $E_c$ .

Lorsqu'une évaluation moins précise est jugée satisfaisante, les valeurs données dans la Figure 3.1 du 3.1.4 peuvent être adoptées pour le fluage du béton à 70 ans.

**ESSAIS ET EFFETS GLOBAUX RETRAIT + FLUAGE**  
**IDENTIFICATION EXPÉRIMENTALE DES COMPOSANTES DU FLUAGE**



Fluage propre {  
 Fluage à court terme  
 Fluage à long terme

Face soumise à la dessiccation  
 ↓  
 Microfissuration en peau d'éprouvette

DÉFORMATIONS ET FLUAGE AU COURS DU TEMPS

