

Chapitre VI

LA FLEXION PURE D'UN ELEMENT EN BETON PRECONTRAIT

VI.1. INTRODUCTION

Le béton d'un élément en béton armé subit des contraintes plus importantes que dans le cas d'un élément en béton seul. Par conséquent, l'effet du fluage dynamique devrait être plus important. Dans le but d'évaluation de cet effet, étudions une section symétriquement armée d'un élément en béton précontraint.

VI.2. DETERMINATION DE L'AMPLITUDE DE CONTRAINTE :

Suivant la théorie du fluage dynamique [L.A], on commence par un calcul élastique des amplitudes des contraintes. L'amplitude du moment de flexion ΔM composée de l'amplitude reprise par le béton ΔM_b et celle reprise par l'acier ΔM_a

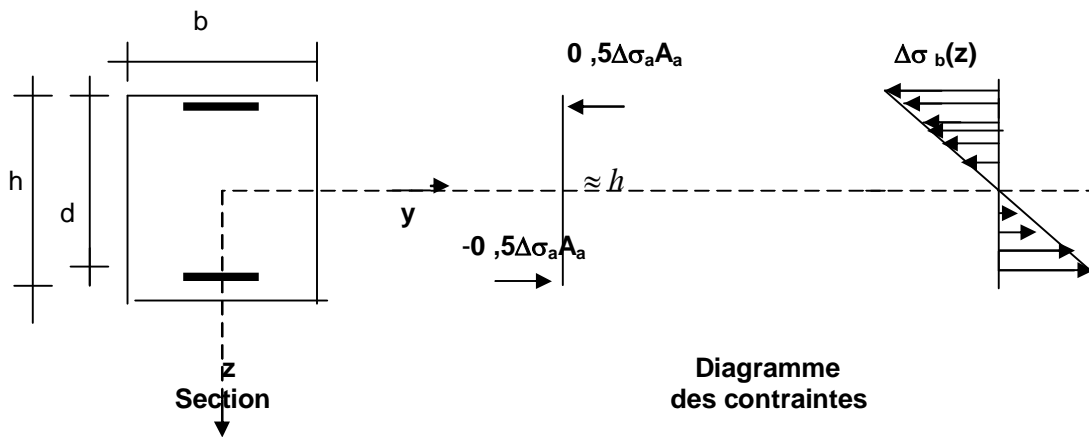


Figure VI .1. Diagramme des contraintes

D'où $\Delta M = \Delta M_b + \Delta M_a$ (VI.1)

$$\Delta M_a = \Delta \sigma_a \cdot \frac{A_a}{2} \cdot h = E_a \cdot \Delta \varepsilon_a \cdot \frac{A_a}{2} \cdot h$$

$$\Delta M_a = E_a \cdot \Delta \xi \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{A_a}{2} \cdot h$$

$$\Delta M_a = \frac{h^2}{4} \cdot E_a \cdot A_a \cdot \Delta \xi$$
 (VI.2)

Avec : A_a : la section totale des armatures

E_a : Module d'élasticité d'acier

$\Delta \xi$: Amplitude de la courbure de l'axe de l'élément

Pour des raisons simplificatrices on prend la distance entre les centres de gravité des armatures supérieures et inférieures ou égaux à les hauteurs h

L'amplitude $\Delta\xi$ peut être exprimée par ΔM_b

$$\Delta\xi = \frac{\Delta M_b}{E_b \cdot I_b} = \frac{\Delta M - \Delta M_a}{E_b \cdot I_b} \dots\dots\dots (VI.3)$$

Avec : E_b : Module d'élasticité du béton

$$I_b = \frac{b \cdot h^3}{12} : \text{moment d'inertie de la section du béton}$$

Des équations (VI.2) et (VI.3) on obtient.

$$\Delta\xi = \frac{\Delta M}{E_b \cdot I_b \left(1 + 3 \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b}\right)} \dots\dots\dots (VI.4)$$

$$\Delta M_b = E_b \cdot I_b \Delta\xi = \frac{\Delta M}{1 + 3 \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b}} \dots\dots\dots (VI.5)$$

En connaissant ΔM_b , on peut trouver l'amplitude des contraintes dans le béton

$$\Delta\sigma_b(Z) = \frac{\Delta M_b \cdot Z}{I_b} = \frac{\Delta M}{I_b \left(1 + 3 \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b}\right)} \cdot Z \dots\dots\dots (VI.6)$$

Maintenant on peut accomplir le calcul quasi-statique de l'élément au fluage dynamique. La théorie du fluage dynamique [L.A] étant linéaire relativement à la contrainte cyclique moyenne ; on peut étudier séparément la déformation flexionnelle et la déformation axiale.

VI.3. ETUDE DE LA FLEXION:

Suivant l'hypothèse des sections planes :

$$\varepsilon(Z, t) = \xi(t) \cdot Z \dots\dots\dots (VI.7)$$

Il est pris en compte la symétrie physico-géométrique par rapport à l'axe y, qui par conséquent sera l'axe neutre

Le comportement de l'armature est élastique. Les contraintes dans l'armature seront donc :

$$\sigma_a(t) = E_a \varepsilon_a(t) = \xi(t) \cdot \frac{h}{2} \cdot E_a \dots\dots\dots (VI.8)$$

Les contraintes et les déformations dans le béton sont liées entre eux par l'expression rhéologique suivant :

$$\left[\varepsilon_b(Z, t) - \frac{\dot{\sigma}_b(Z, t)}{E_b} \right] + \gamma \left[\varepsilon_b(Z, t) - \frac{\sigma_b(Z, t)}{E_b} \right] = \frac{\gamma}{\mu^d(Z)} \sigma_b(Z, t) \dots\dots\dots (VI.9)$$

$$\text{Avec } \mu^d(Z) = \mu \cdot e^{-K \Delta\sigma_b(Z)/R} ; \gamma = \frac{\mu^d(Z)}{\lambda^d(Z)} = \frac{\mu}{\lambda} \dots\dots\dots (VI.10)$$

En tenant compte de l'équation (VI.6)

$$\mu^d(Z) = \mu \cdot e^{-\alpha|Z|} \dots\dots\dots (VI.11)$$

Où
$$\alpha = K \frac{\Delta M}{R \cdot I_b \cdot (1 + 3 \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b})} \dots\dots\dots (VI.12)$$

Où R : la résistance du béton à la compression d'où K=10 [L.A]

Les forces dans l'élément doivent vérifier les conditions d'équilibre :

$$M_b(t) + M_a(t) = M(t) \dots\dots\dots (VI.13)$$

c-à-d.

$$\int_0^{\frac{h}{2}} Z \cdot \sigma_b(Z, t) dZ + 2 \cdot \sigma_a(t) \cdot \frac{A_a}{2} \cdot \frac{h}{2} = M(t) \dots\dots\dots (VI.14)$$

Où M(t) : le moment de flexion quasi-statique du moment dynamique M^d(t)

Dans l'équation (VI.14) est pris en compte la symétrie de la section et de l'état de contrainte relativement à l'axe y. La 2^{ème} équation d'équilibre –la somme des projections des forces sur l'axe de l'élément est vérifiée suite à la symétrie de la section.

Au temps initial t=0 au lieu de l'équation (VI.9) exprimant la loi de comportement viscoélastique, on a loi de HOOK.

$$\sigma_b(Z, 0) = E_b \cdot \varepsilon(Z, 0) \dots\dots\dots (VI.15)$$

De cette équation (VI.15) et des équations (VI.14) ;(VI.7) et (VI.8) on obtient la solution connue correspondant à la solution élastique instantanée.

$$\xi(0) = \frac{M(0)}{E_b \cdot I_{equi}} \dots\dots\dots (VI.16)$$

$$\sigma_b(Z, 0) = \frac{M(0) \cdot Z}{I_{equi}} \dots\dots\dots (VI.17)$$

$$\sigma_a(0) = \pm \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{M(0)}{I_{equi}} \cdot \frac{h}{2} \dots\dots\dots (VI.18)$$

Utilisons le fait que la théorie du fluage dynamique [L.A] donne une solution asymptotique simple (t→∞) représentant un grand intérêt pratique.

$$E_b \cdot \varepsilon_b(Z, \infty) = [1 + E_b \cdot C_\infty e^{\alpha|Z|}] \sigma_b(Z, \infty) \dots\dots\dots (VI.19)$$

Où C_∞ = μ⁻¹ : déformation limite spécifique du fluage statique en remplaçant σ_b de l'élément des équations (VI. 7) et (VI.8) on obtient la résolution du problème du fluage dynamique sous forme de formules simples.

$$\xi^{f.d}(\infty) = \frac{M(\infty)}{E_b \cdot I_{equi}^{f.d}(\infty)} \dots\dots\dots (VI.20)$$

$$\sigma_b(Z, \infty) = \frac{M(\infty)}{I_{equi}^{f.d}(\infty)} \cdot \frac{Z}{1 + E_b \cdot C_\infty e^{\alpha|Z|}} \dots\dots\dots (VI.21)$$

$$\sigma_a^{f.d} = \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{M(\infty)}{I_{equi}^{f.d}(\infty)} \cdot \frac{h}{2} \dots\dots\dots (VI.22)$$

Où $I_{equi}^{f.d}(\infty) = I_b^{f.d}(\infty) + I_{ab}$

$$I_b^{f.d}(\infty) = 2b \int_0^{\frac{h}{2}} \frac{Z^2}{1 + E_b C_\infty e^{\alpha|Z|}} dZ, \quad I_{ab} = \frac{E_a}{E_b} A_a \frac{h^2}{4} \dots\dots\dots (VI.23)$$

$I_b^{f.d}(\infty)$: Moment d'inertie différé de la section du béton dans le cas du fluage dynamique à l'instant ($t \rightarrow \infty$)

L'intégral de l'équation (VI.23) doit être pris numériquement.

Dans les équations (VI.20) et (VI.23) $\alpha=0$, on obtient la solution du fluage statique ($\Delta M=0$)

$$\xi^{stat}(\infty) = \frac{M(\infty)}{E_b \cdot I_{equi}^{stat}(\infty)} \dots\dots\dots (VI.24)$$

$$\sigma_b^{stat}(Z, \infty) = \frac{M(\infty)}{I_{equi}^{stat}(\infty)} \cdot \frac{Z}{1 + E_b \cdot C_\infty} \dots\dots\dots (VI.25)$$

$$\sigma_a^{stat}(\infty) = \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{M(\infty)}{I_{equi}^{stat}(\infty)} \cdot \frac{h}{2} \dots\dots\dots (VI.26)$$

$$I_{equi}^{stat}(\infty) = \frac{I_b}{1 + E_b C_\infty} + \frac{E_a}{E_b} A_a \frac{h^2}{4} \dots\dots\dots (VI.27)$$

La différence entre la solution du fluage dynamique et celle du fluage statique se révèle non seulement quantitative, mais aussi qualitative : dans le premier cas l'épure des contraintes $\sigma_b(Z, \infty)$ se révèle non linéaire.

VI.3.1 APPLICATION NUMERIQUE:**Soit les données suivantes :**

$$b=0,1 \text{ m} ; h=0,2 \text{ m} ; A_b=b.h=0,02 \text{ m}^2 ; A_a=2.10^{-2} A_b ; E_a/E_b=10 ; E_b.C_\infty=2 ; K=10$$

$$M= \text{Const}= (6,4/3).10^{-4} \text{ m}^3 \text{ R} ; \Delta M= \text{Const}= 0,5 \text{ M}$$

Dans ce cas :

$$I_b = \frac{2}{3}.10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{equi} = \frac{2,4}{3}.10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{equi}^{stat}(\infty) = \left(\frac{5,6}{9}\right).10^{-4} \text{ m}^4$$

$$1 + 3 \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b} = 1,6 ; \alpha = 10 \text{ m}^{-1}$$

$$I_b^{f.d}(\infty) = 1,286.10^{-6} \text{ m}^4 ; I_{equi}^{f.d}(\infty) = 0,5286.10^{-5} \text{ m}^4$$

$$\frac{\xi^{f.d}(\infty)}{\xi(0)} = \frac{I_{equi}}{I_{equi}^{f.d}} = 1,51 ; \frac{\xi^{stat}(\infty)}{\xi(0)} = \frac{I_{equi}}{I_{equi}^{stat}} = 1,28$$

$$\frac{\xi^{f.d}(\infty)}{\xi^{stat}(\infty)} = \frac{I_{equi}^{stat}}{I_{equi}^{f.d}} = 1,17$$

$$\Delta \sigma_b(Z) = Z.R \qquad \Delta \sigma_a\left(\frac{h}{2}\right) = 0,1.R$$

$$\sigma_b(Z,0) = 2,67.Z.R \qquad \sigma_a(0) = 2,67.R$$

$$\sigma_b^{stat}(Z,\infty) = 1,14.Z.R \qquad \sigma_a^{stat}(\infty) = 3,428.R$$

$$\sigma_b^{f.d}(Z,\infty) = 4,036.R \cdot \frac{Z}{1+2e^{10|Z|}} \qquad \sigma_a^{f.d}(\infty) = 4,036.R$$

On remarque qu'en passant de l'instant $t=0$ (correspondant au comportement élastique du béton) à l'instant ($t \rightarrow \infty$), les contraintes dues au fluage statique dans le béton diminuent et celles de l'acier augmentent, on dit qu'il y a une redistribution des contraintes entre le béton et l'acier,

Dans le cas du fluage dynamique ce phénomène s'accroît encore,

$$\frac{\sigma_b^{f.d}(Z,\infty)}{\sigma_b(Z,0)} = \frac{I_{equi}(Z,\infty)}{I_{equi}^{stat}(\infty)(1+E.C_\infty)} = 0,428$$

$$\frac{\sigma_a^{stat}(\infty)}{\sigma_a(0)} = \frac{I_{equi}}{I_{equi}^{stat}} = 1,286$$

$$\frac{\sigma_a^{f.d}(\infty)}{\sigma_a(0)} = \frac{I_{equi}}{I_{equi}^{f.d}(\infty)} = 15,134$$

$$\frac{\sigma_a^{f.d}(\infty)}{\sigma_a^{stat}(\infty)} = \frac{I_{equi}^{stat}(\infty)}{I_{equi}^{f.d}(\infty)} = 11,771$$

Afin que la répartition des contraintes sur le long de la section soit claire pour les différents cas de comportement (élastique, fluage statique et fluage dynamique) on calcul les valeurs des contraintes $\sigma_b(Z,0)/R$ et $\sigma_b^{stat}(Z,\infty)/R$ et $\sigma_b^{f.d}(Z,\infty)/R$.

$Z(m)$	$\sigma_b(Z,0)/R$	$\sigma_b^{stat}(Z,\infty)/R$	$\sigma_b^{f.d}(Z,\infty)/R$
0,01	0,027	0,011	0,013
0,02	0,053	0,023	0,023
0,03	0,080	0,034	0,033
0,04	0,107	0,046	0,041
0,05	0,134	0,057	0,047
0,06	0,160	0,068	0,052
0,07	0,187	0,080	0,056
0,08	0,214	0,091	0,059
0,09	0,240	0,103	0,061
0,10	0,267	0,114	0,063

Tableau VI .1. les valeurs des contraintes relatives

Pour plus de clarté et dans le but de pouvoir faire une analyse de ces résultats, représentons ces valeurs, sous forme des graphes :

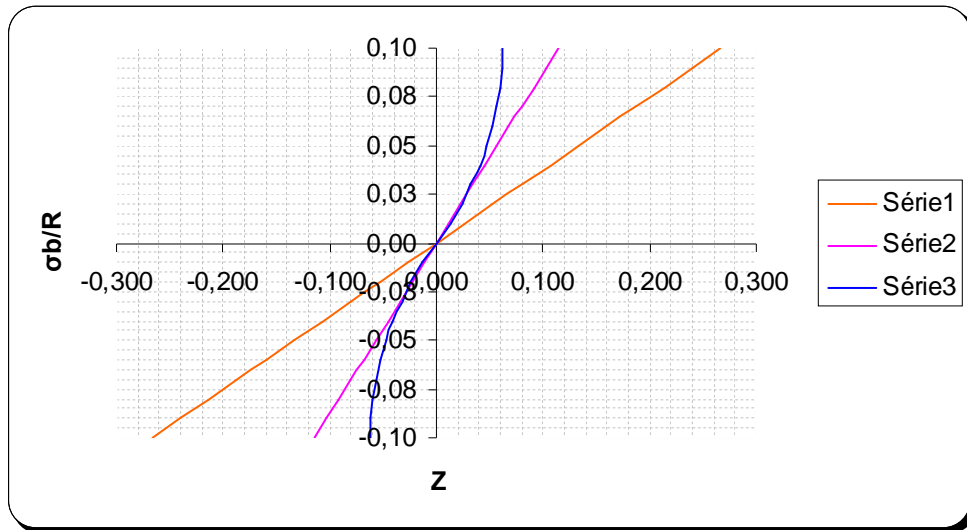


Figure VI .1. Courbes des contraintes relatives

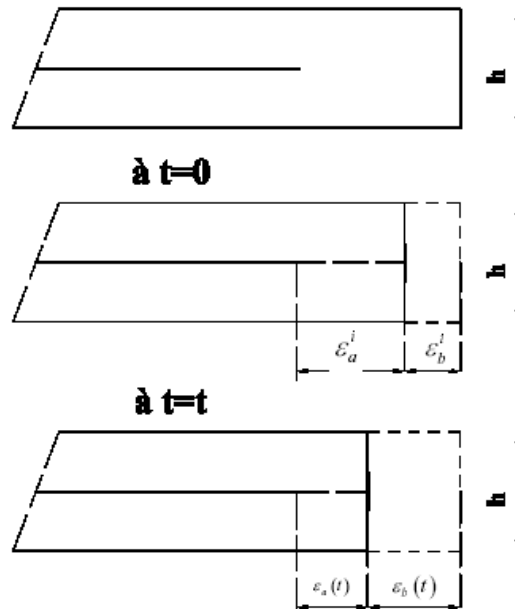
- 1-épure des contraintes élastiques relatives dans le béton a l'instant $t=0$,
- 2-épure des contraintes relatives dans le béton dues au fluage statique au temps ($t \rightarrow \infty$),
- 3-épure des contraintes relatives dans le béton dues au fluage dynamique au temps ($t \rightarrow \infty$),

On constate que :

- le fluage statique provoque une redistribution des contraintes seulement entre le béton et l'armature (le béton se décharge), la forme linéaire des épures des contraintes se conserve.
- le fluage dynamique en plus du phénomène cité dans le point précédent, il provoque une redistribution des contraintes entre les différentes fibres de la section du béton, par conséquent la forme de l'épure des contraintes s'incurve.
- le fluage dynamique se révèle un facteur (un phénomène) plus accentué que le fluage statique.

VI.4. ETUDE DE LA PRECONTRAINTÉ :

La précontrainte est réalisée par une extension de l'acier qui , en tendant de récupérer sa forme initiale, il crée un effort de compression pur de béton. Pour des raisons de simplification, l'acier est appliqué au niveau de l'axe de l'élément.



La figure montre que :

$$\epsilon_a^i + \epsilon_b^i = \epsilon_a(t) + \epsilon_b(t) \dots\dots\dots(VI.28)$$

D'où ϵ_a^i : La déformation initiale d'acier

ϵ_b^i : La déformation initiale de béton

$\epsilon_a(t)$: La déformation de l'acier au temps t

$\epsilon_b(t)$: La déformation de béton au temps t

Les équations donnant les relations existantes entre les contraintes initiales et les

déformations initiales sont: $\epsilon_a^i = \frac{\sigma_a^i}{E_a}$; $\epsilon_b^i = \frac{\sigma_b^i}{E_b}$ (VI.29)

$$\sigma_b^i \cdot A_b = \sigma_a^i \cdot A_a \text{ donc } \sigma_b^i = \frac{\sigma_a^i \cdot A_a}{A_b}$$

D'où σ_a^i : La contrainte initiale d'acier

σ_b^i : La contrainte initiale de béton

Les forces dans un élément doivent vérifier les conditions d'équilibre :

$$2b \int_0^{\frac{h}{2}} \sigma_b(Z,t) dZ = \sigma_a(t) A_a \dots\dots\dots(VI.30)$$

Utilisons le fait que la théorie du fluage dynamique [L.A] donne une solution asymptotique simple ($t \rightarrow \infty$) représentant un grand intérêt pratique.

$$\sigma_b(Z, t) = \varepsilon_b(t) \frac{E_b}{1 + E_b C_\infty e^{\alpha|Z|}} \quad \text{ou } \alpha = K \frac{\Delta M}{R.I_b \cdot (1 + 3 \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b})} \dots\dots\dots (VI.31)$$

à $t \rightarrow \infty$

De cette équation (VI.31) et d'équation (VI.30) on obtient :

$$2b \int_0^{\frac{h}{2}} \varepsilon_b^{f.d}(\infty) \frac{E_b}{1 + E_b C_\infty e^{\alpha|Z|}} dZ = \sigma_a^{f.d}(\infty) A_a$$

De l'équation (VI.28) on a :

$$\varepsilon_b(\infty) = \frac{\sigma_a^i}{E_a} + \frac{\sigma_b^i}{E_b} - \frac{\sigma_a^{f.d}(\infty)}{E_a} = \frac{\sigma_a^i}{E_a} + \frac{\sigma_a^i}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b} - \frac{\sigma_a^{f.d}(\infty)}{E_a}$$

$$\varepsilon_b(\infty) = \frac{\sigma_a^i}{E_a} \left(1 + \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b} \right) - \frac{\sigma_a^{f.d}(\infty)}{E_a} \dots\dots\dots (VI.32)$$

Avec l'utilisation d'équation (VI.32) et d'équations (VI.31) on obtient

$$\left[\frac{\sigma_a^i}{E_a} \left(1 + \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b} \right) - \frac{\sigma_a^{f.d}(\infty)}{E_a} \right] \cdot 2b \int_0^{\frac{h}{2}} \frac{1}{1 + E_b C_\infty e^{\alpha|Z|}} dZ = \sigma_a^{f.d}(\infty) \frac{A_a}{E_b} \dots\dots (VI.33)$$

D'où A_b^{fd} est la fonction de section du béton en fluage dynamique.

$$A_b^{fd} = 2b \int_0^{\frac{h}{2}} \frac{1}{1 + E_b C_\infty e^{\alpha|Z|}} dZ \dots\dots\dots (VI.34)$$

On met dans l'équation (VI.33) $\alpha=0$, on obtient la section du béton en fluage statique :

$$A_b^{stat} = 2b \int_0^{\frac{h}{2}} \frac{1}{1 + E_b C_\infty} dZ \dots\dots\dots (VI.35)$$

L'équation (VI.33) deviens

$$\left[\frac{\sigma_a^i}{E_a} \left(1 + \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b} \right) - \frac{\sigma_a^{f.d}(\infty)}{E_a} \right] \cdot A_b^{fd} = \sigma_a^{f.d}(\infty) \frac{A_a}{E_b} \dots\dots\dots (VI.36)$$

Donc la contraint d'acier due au fluage dynamique est :

$$\sigma_a^{f.d}(\infty) = \sigma_a^i \frac{\left(1 + \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b} \right)}{\left(1 + \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b^{f.d}} \right)} \dots\dots\dots (VI.37)$$

On met dans l'équation (VI.37) $\alpha=0$, on obtient la contrainte d'acier due au fluage statique :

$$\sigma_a^{stat}(\infty) = \sigma_a^i \frac{\left(1 + \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b}\right)}{\left(1 + \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b^{stat}}\right)} \dots\dots\dots (VI.37)$$

Donc la contrainte relative élastique d'acier.

$$\sigma_a(\infty) = \sigma_a^i \dots\dots\dots (VI.38)$$

Avec l'utilisation de l'équation (VI.31) et (VI.32) on obtient :

$$\sigma_b^{fd}(Z, \infty) = \left[\frac{\sigma_a^i}{E_a} \left(1 + \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b}\right) - \frac{\sigma_a^{f.d}(\infty)}{E_a} \right] \left(\frac{E_b}{1 + E_b C_\infty e^{\alpha|Z|}} \right)$$

On remplaçant la contrainte d'acier due au fluage dynamique par sa valeur on obtient :

$$\sigma_b^{fd}(Z, \infty) = \left[\frac{\left(1 + \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b}\right) \cdot \left(\frac{A_b}{A_b^{f.d}}\right)}{\left(1 + \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b^{f.d}}\right)} \right] \left(\frac{\sigma_b^i}{1 + E_b C_\infty e^{\alpha|Z|}} \right) \dots\dots\dots (VI.39)$$

On met dans l'équation (VI.39) $\alpha=0$, on obtient l'expression de la contrainte relative dans le béton due au fluage statique au temps ($t \rightarrow \infty$), :

$$\sigma_b^{stat}(Z, \infty) = \left[\frac{\left(1 + \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b}\right) \cdot \left(\frac{A_b}{A_b^{stat}}\right)}{\left(1 + \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b^{stat}}\right)} \right] \left(\frac{\sigma_b^i}{1 + E_b C_\infty} \right) \dots\dots\dots (VI.40)$$

Donc la contrainte relative élastique dans le béton.

$$\sigma_b(Z, 0) = \sigma_b^i \dots\dots\dots (VI.41)$$

VI.4.1 APPLICATION NUMERIQUE:

Soit les données suivantes :

$$b=0,1 \text{ m} ; h=0,2 \text{ m} ; A_b=b.h=0,02 \text{ m}^2 ; A_a=2.10^{-2} .A_b=4. 10^{-4} ; E_a/E_b=10 ; E_a=2.10^6 ; E_b=2.10^5 ; E_b.C_\infty=2 ; K=10$$

$$\Delta M = \text{Const} = 2/3.1,6.10^{-2} \text{ kg.m}^3 R ; \sigma^i = 0,5R \quad K=10$$

$$\text{Dans ce cas : } 1 + 3 \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{A_a}{A_b} = 1,6 ; \alpha = 10 \text{ m}^{-1}$$

$$; A_b^{fd} = 4,73.10^{-3} ; A_b^{stat} = 6,67.10^{-3}$$

$$\sigma_b(0) = 0,5.R$$

$$\sigma_a(0) = 25.R$$

$$\sigma_b^{stat}(\infty) = 0,43.R$$

$$\sigma_a^{stat}(\infty) = 18,75.R$$

$$\sigma_b^{f.d}(Z, \infty) = 1,37.R \cdot \frac{1}{1 + 2e^{10|Z|}}$$

$$\sigma_a^{f.d}(\infty) = 16,30.R$$

On remarque qu'en passant de l'instant $t=0$ (correspondant au comportement élastique du béton) à l'instant ($t \rightarrow \infty$), les contraintes dues au fluage statique dans le béton diminuent, et par conséquent celle de l'acier aussi. Dans le cas du fluage dynamique ce phénomène s'accroît encore.

Afin que la répartition des contraintes sur le long de la section soit claire pour les différents cas de comportement (élastique, fluage statique et fluage dynamique) on calcule les valeurs des contraintes $\sigma_b(Z, 0)/R$ et $\sigma_b^{stat}(Z, \infty)/R$ et $\sigma_b^{f.d}(Z, \infty)/R$.

$Z(m)$	$\sigma_b(0)/R$	$\sigma_b^{stat}(\infty)/R$	$\sigma_b^{f.d}(Z, \infty)/R$
0,01	0,500	0,430	0,427
0,02	0,500	0,430	0,398
0,03	0,500	0,430	0,370
0,04	0,500	0,430	0,344
0,05	0,500	0,430	0,319
0,06	0,500	0,430	0,295
0,07	0,500	0,430	0,273
0,08	0,500	0,430	0,251
0,09	0,500	0,430	0,231
0,10	0,500	0,430	0,213

Tableau VI .2. Les valeurs des contraintes relatives

Pour plus de clarté et dans le but de pouvoir faire une analyse de ces résultats, représentons ces valeurs, sous forme de graphes :

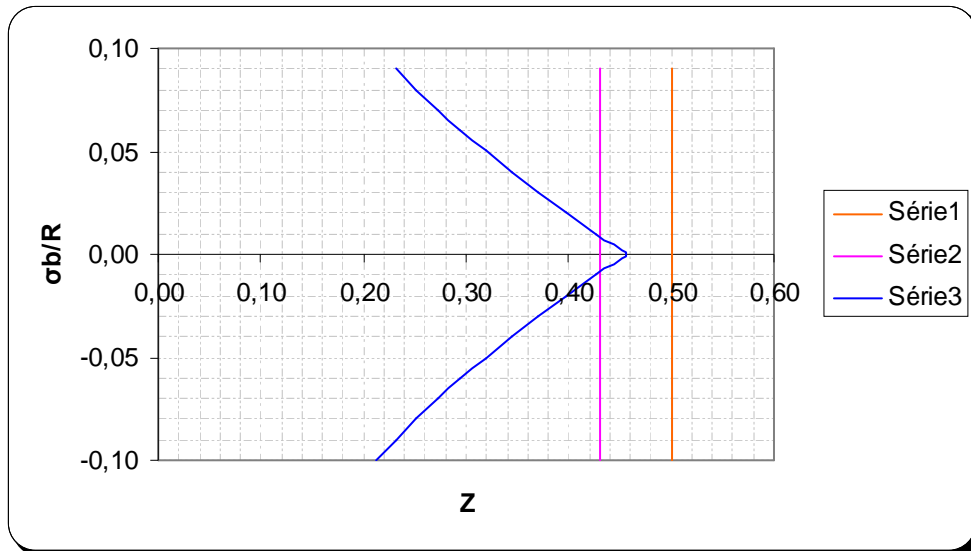


Figure VI .2. Courbes des contraintes relatives

- 1-épure des contraintes élastiques relatives dans le béton a l'instant $t=0$,
- 2-épure des contraintes relatives dans le béton dues au fluage statique au temps ($t \rightarrow \infty$),
- 3-épure des contraintes relatives dans le béton dues au fluage dynamique au temps ($t \rightarrow \infty$),

On constate que :

- Les vibrations provoquent un fluage dynamique axial du béton sous l'action de la précontrainte.
- L'amplitude de la contrainte (de la charge vibratoire) provoque sous l'action de la précontrainte une redistribution des contraintes entre les différentes fibres de la section du béton. Cette redistribution est plus importante aux extrémités de la section.