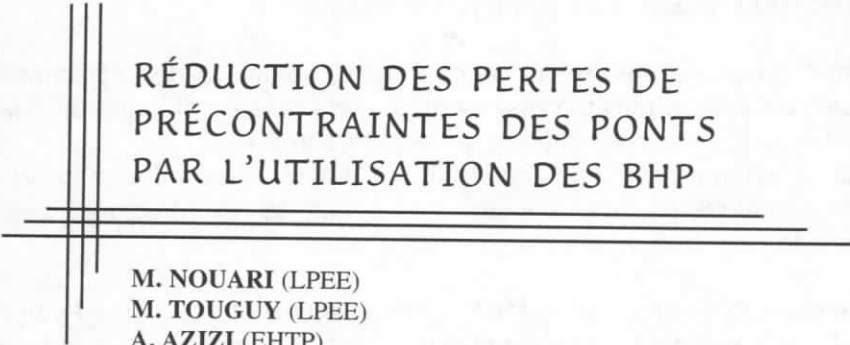




RÉDUCTION DES PERTES DE PRÉCONTRAINTES DES PONTS PAR L'UTILISATION DES BHP

M. NOUARI (LPEE)
M. TOUGUY (LPEE)
A. AZIZI (EHTP)

GÉNÉRALITÉS ET PERTES DE PRÉCONTRAINTES

L'amélioration des performances d'un béton, aussi bien mécaniques que de comportement vis-à-vis des atmosphères agressives et de durabilité, s'obtient par la réduction du rapport E/C, rendue possible grâce à la mise au point par la chimie organique de superplastifiants, l'extension du spectre granulaire du mélange par l'utilisation de filler et enfin la sélection des constituants dont les caractéristiques mécaniques intrinsèques sont plus élevées que celles des bétons traditionnels.

EFFETS DIFFÉRÉS ET PERTE DE PRÉCONTRAINTE

1 - GÉNÉRALITÉ SUR LES EFFETS DIFFÉRÉS

Un béton ou une armature de précontrainte, soumis à des sollicitations statiques de longue durée, présente des effets différés. Il s'agit du fluage pour le béton et de la relaxation pour l'armature active.

En plus, le béton présente des déformations rhéologiques indépendantes de l'état de contrainte ou de déplacement qui règne dans la structure : c'est le phénomène de retrait du béton.

Ces déformations qui se produisent dans le temps et ayant une tendance généralement asymptotique doivent être prises en compte afin que l'étude et le dimensionnement des éléments soient plus réalistes.

Il faut donc bien quantifier ces effets et estimer les pertes de précontrainte qu'ils occasionnent dans le cas des ouvrages réalisés en béton précontraint.

2 - MODÉLISATION DES EFFETS DIFFÉRÉS

Il est bien connu que la modélisation des effets différés des matériaux peut être réalisée selon deux groupes de méthodes :

- méthodes pas à pas qui obligent de calculer et de stocker en mémoire toutes les variations de contrainte qui s'effectuent sur de courts pas de temps pour chaque type de section et chaque point d'intégration afin de les utiliser au pas suivant [1]

- méthodes algébriques approchées qui consistent à substituer à la formulation intégrale une formule de quadrature avec différents niveaux de raffinement par l'utilisation d'un module de déformation longitudinal réduit [2], [3].

Ce dernier groupe de méthodes permet d'obtenir de bonnes approximations dans la plupart des cas usuels.

On rappelle que la déformation totale d'un prisme de béton se présente sous la forme :

$$(1) \quad \varepsilon = \varepsilon_i + \varepsilon_{cr} + \varepsilon_{sh}$$

ε_i = déformation instantanée produite par une contrainte $s(t_0)$ appliquée en t_0 .

ε_{cr} = déformation de fluage produite dans l'intervalle $[t_0, t]$

ε_{sh} = déformation de retrait enregistrée à l'instant actuel t .

La relation (1) peut être réécrite sous la forme :

$$\text{ou } (2) \quad \varepsilon(t, t_0) = \sigma(t_0) \cdot \Phi(t, t_0) + \varepsilon_{sh}(t)$$

$\varepsilon(t, t_0)$ = fonction de fluage

En admettant que le béton est un matériau viscoélastique et en supposant que le principe de superposition [4] est applicable, le problème structural se présente sous la forme générale ci-après :

$$\text{ou } (3) \quad \varepsilon(t, t_0) = \sigma(t_0) \Phi(t, t_0) + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau) d\sigma(\tau) + \varepsilon_{sh}(t)$$

et $j(t, t_0)$ = coefficient de fluage

$$\Phi(t, t_0) = \frac{1}{\varepsilon(t_0)} \cdot [1 + \varphi(t, t_0)]$$

La relation (3) devient alors :

$$(4) \quad \varepsilon(t, t_0) = \frac{\sigma(t_0)}{\varepsilon(t_0)} \cdot [1 + \varphi(t, t_0)] + \int_{t_0}^t \frac{\partial \sigma(\tau)}{\partial \tau} \cdot \frac{(1 + \varphi(t, \tau))}{\varepsilon(\tau)} d\tau + \varepsilon_{sh}(t)$$

Si l'on admet que $E(t)$ ne varie pas avec le temps, c'est-à-dire que :

$$E(t) = E(t_0) = E_0$$

(5)

$$E(t) = E(t_0) = E_0$$

La relation (4) devient :

$$(6) \quad \varepsilon(t, t_0) = \frac{\sigma(t_0)}{E_0} \left[1 + \varphi(t, t_0) \right] + \frac{\sigma(t) - \sigma(t_0)}{E_0} + \frac{1}{E_0} \int_{t_0}^t \frac{\partial \sigma(\tau)}{\partial \tau} \varphi(t, \tau) d\tau + \varepsilon_{sh}(t) \quad (6)$$

3 - MÉTHODE DU COEFFICIENT DE VIEILLISSEMENT

Cette méthode est élaborée initialement par TROST [5] et perfectionnée ensuite par BAZANT [3] permet d'exprimer l'intégrale de la relation (6) sous la forme :

$$(7) \quad \int_{t_0}^t \frac{\partial \sigma(\tau)}{\partial \tau} \varphi(t, \tau) d\tau = [\sigma(t) - \sigma(t_0)] \cdot \chi(t, t_0) \cdot \varphi(t, t_0)$$

$\chi(t, t_0)$ = coefficient de vieillissement du béton

La relation (7) met en évidence les avantages de cette méthode dont l'exactitude dépend de la valeur adoptée pour le coefficient du vieillissement du béton.

4 - RELAXATION DE L'ARMATURE ACTIVE

La relaxation de l'armature de précontrainte peut être mise sous la forme préconisée par l'EUROCODE 2 [6] :

$$(8) \quad \sigma_{p_i}(t, t_0) = \sigma_p(t_0) - 0,3 \Delta \sigma_p(t, t_0)$$

$\Delta \sigma_p(t, t_0)$ perte par relaxation (inconnue) .

En ce qui concerne $\Delta \sigma_p(t, t_0)$, elle dépend de la perte à terme $\Delta \sigma_p^*$ et la cinétique de son évolution $f(t, t_0)$:

$\Delta \sigma_p^*$ = perte à terme [7]

$f(t, t_0)$ = cinétique de relaxation de FAVRE [8]

5 - INCORPORATION DES PHÉNOMÈNES PRÉCÉDENTS DANS UN LOGICIEL DE CALCUL

Tous les phénomènes évoqués ultérieurement peuvent être incorporés dans un logiciel de calcul par éléments finis de type déplacement [9], ce qui permettra de calculer, en particulier, la précontrainte résiduelle dans un ouvrage à une époque donnée.

Les derniers développements réalisés par son élève BLESSENOHL [10] montrent qu'on peut toujours prendre $c(t, t_0)$ égal à 0.8 (cf figures (1) et (2)).


$$(10) \quad \varphi(t, t_0) = f_1(RH, h_0) \cdot f_2(f_{C28}) \cdot f_3(t, t_0)$$

$$f_2(f_{28}) = \frac{16,8}{f_{28}}$$

De même pour la déformation de retrait, elle peut être présentée sous la forme [11]

$$(12) \quad E_{sh}(t) = g_1(\frac{1}{f_{cm}}) \cdot g_2(RH) \cdot g_3(t)$$

$$g_1 \text{ (fcm)} = -2\text{fcm} + 400$$

$$g1(f_{cm}) = -2f_{cm} + 400$$

CONCLUSION

La relation (13) montre qu'en passant d'un béton B80 à un béton B140 la déformation de retrait est pratiquement divisée par deux.

- L'utilisation des BHP dans la réalisation des ouvrages d'art précontraints permet de réduire de manière appréciable les pertes différées de précontrainte qui sont à l'origine des désordres importants qui affectent ce type d'ouvrage.

- Les BHP permettent également de concevoir des structures plus élancées, cependant les phénomènes d'instabilité qui affectent les ouvrages métalliques se retrouvent aussi dans les ouvrages en BHP très élancés.

- La cinétique de fluage et du retrait des BHP étant généralement rapide, il en résulte une diminution des pertes de précontrainte non négligeable puisque la mise en service se fait à un âge relativement important.

- Les déformations instantanées sont également diminuées puisque le module de déformation longitudinal est lié à la résistance à la compression f_{c28} du béton.

- La durabilité des ouvrages en BHP ne peut être que meilleure comparée à ceux en béton traditionnel.

BIBLIOGRAPHIE

[1] BLESSENOHL, B

Creep effects on structural concrete
IABSE Colloquium, 1991, pp.77-82

[2] TROST, H

Auswirkungen des superpositionsprinzips auf Kriech und relaxations
probleme bei beton und spannbeton
60 (10) ; 1967, pp 230-238, 62 (11) ; pp 212-217

[3] BAZANT, Z-P

Prediction of concrete creep effects using age adjusted effective
modulus method
Proc. ACI ; 69, 1972, pp 212-217

- [4] Mc HENRY,D
A new aspect of creep in concrete and its application to design
Proc. ASTM, 43 ; 1943
- [5] TROST, H
Creep, relaxation and shrinkage of structural concrete IABSE
colloquium, 1991, pp. 77-82
- [6] EUROCODE2
Design of concrete structures
Part 1 : General rules and rules for buildings, 1989.
- [7] CEB - FIP
Model code 1990, Final Draft
Bulletin d'information, n° 203, Lausanne 1991
- [8] GHALI, A., FAVRE,R
Concrete structures : stresses and deformations Chapman and hall,
London and New York, 1986.
- [9] AZIZI, A
Etude des éléments précontraints par une analyse statique non
linéaire.
Revue Marocaine du GC, N° 72, Décembre 1997 pp. 12-17
- [10] BLESSENOHL, B
Zur numerischen Berechnung der Auswirkungen des Kriechens and
Schwindens auf betonverbundtragwerke-grundlagen und algorithmen
fur Die EDV.
Thèse de doctorat, T.U. Aachen, 1990
- [11] CEB - FIP
Bulletin d'information n° 195, first draft, Mars 1990
- [12] AZIZI, A
Analyse statique non linéaire des structures en béton précontraint
réalisée à partir de béton à très hautes performances.