

ESTIMATION DE LA COMPATIBILITE DES RESULTATS REGLEMENTAIRES ET EXPERIMENTAUX

Retrait et Fluage du Béton de Sable

Par

A. BENAÏSSA

Docteur de l'Université de Bordeaux I

C. VIGUIER

Professeur, Université de Bordeaux I

Résumé

Les résultats qu'englobe cette note technique constituent un guide provisoire pour les calculs de structure en béton de sable, en raison de l'absence de toute norme relative à ce matériau vu sa jeunesse.

Les résultats ainsi obtenus permettent de situer les déformations différées du béton de sable calculées par les règlements en vigueur (CEB-FIP et BPEL), pour les bétons classiques par rapport aux valeurs expérimentales. Les travaux que nous menons actuellement dans le cadre du projet national Sablocrete(*) tendent, en addition avec d'autres recherches menées dans d'autres laboratoires en France, d'élaborer un guide d'utilisation de ce matériau dans un premier temps et d'établir éventuellement des normes spécifiques, si cela est jugé nécessaire.

Mots clés : béton de sable - formulation - retrait - fluage - normes - règlement CEB-FIP - règlement BPEL.

1 BETONS D'ETUDE

Eléments	Sable de Garonne Roulé-Siliceux [kg]	Ciment CPJ 45 R PM Usine de Couronne [kg]	Filler MEAC Usine Tour Blanche [kg]	Superplastifiant I/R401-SIKA [l]	Eau [l]	GRANULATS	E/C
						3/8 [kg] 8/15 [kg]	
BS	1550	350	200	7	190	-	0,54

Tableau 1 : Formulation du béton d'essai.

2 RETRAIT

Le règlement que nous utilisons ici est le code CEB-FIP.

Présentation de la méthode

En utilisant les notations du règlement, la déformation de retrait s'exprime par :

$$\varepsilon_s(t_1, t_0) = \varepsilon_{so} [\beta_s(t) - \beta_s(t_0)]$$

avec :

$\varepsilon_{so} = \varepsilon_{s1} \cdot \varepsilon_{s2}$, coefficient de base du retrait.

ε_{s1} dépend du milieu ambiant, sa valeur est donnée par le tableau e.1 du code CEB-FIP ;

ε_{s2} dépend de l'épaisseur fictive h_o compte tenu du milieu ambiant :

$$h_o = \lambda^2 A_c / U$$

où :

A_c : aire de la section de la pièce.

U : périmètre de la pièce en contact avec l'atmosphère.

ε_{s2} se lit sur le graphique de la figure e.5 du code CEB-FIP. t et t_0 représentent les instants entre lesquels on calcule le retrait. La fonction $\beta_s(t)$ est représentée sur l'abaque de la figure e.6 du code CEB-FIP sur laquelle on choisit la courbe correspondant à l'épaisseur fictive h_o de la pièce.

(*) SABLOCRETE : Association pour la promotion et le développement du béton de sable.

Les calculs concernent une éprouvette de même type que celles sur lesquelles les essais ont été effectués, c'est-à-dire un cylindre de 16 cm de diamètre et de 100 cm de hauteur ; conservée sous une humidité de 50%.

L'ensemble des valeurs réglementaires et expérimentales sont illustrées par les courbes de la figure 1.

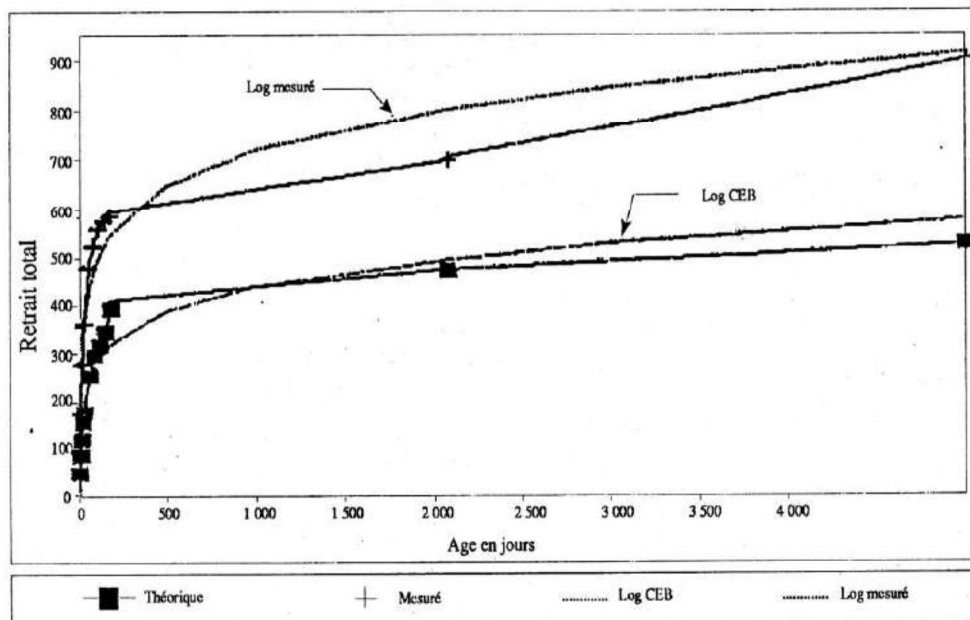


Figure 1 : Estimation de la compatibilité retrait CEB-FIP - retrait expérimental

Le règlement CEB-FIP sous-estime les valeurs pendant toute la durée de l'essai, cette sous-estimation passe de 50% au jeune âge (3 jours) à 33% en fin d'essai (186 jours) (Tableau 1) et se maintient pendant plusieurs années avant de subir de nouveau un accroissement.

Age (jours)	3	7	21	28	60	90	120	150	186	2083
Retrait expérimental ($\epsilon_{r(t)}$) [µm/m]	100	184	289	371	492	534	570	584	594	697
Retrait C.E.B. - F.I.P. ($\epsilon_{r(t)}$) [µm/m]	50,40	90,72	161	181,44	262	307,44	327	353	403	468
$\frac{\epsilon_r(t) - \epsilon_{r(t)}^{CEB-FIP}}{\epsilon_{r(t)}} [\%]$	49,6	50	44	50	47	43	42	40	32	33

Tableau 2 : Retraits expérimental et réglementaire du B.S.

Les résultats CEB-FIP sont calibrés sur des bétons à grosses inclusions de diamètre atteignant généralement 25 mm, soit dix fois le diamètre maximal des granulats de notre béton de sable. Au jeune âge, le béton de sable subit un retrait non gêné en raison de l'absence de gros granulats. De ce fait, les déformations enregistrées expérimentalement sont beaucoup plus importantes que les valeurs que donne le règlement. Au fur et à mesure que les réactions d'hydratation avancent, le volume

d'hydrates formés devient de plus en plus important. Ces hydrates jouent alors le rôle d'inclusions rigides conférant au squelette de la matrice la faculté de mieux s'opposer au retrait, ce qui se traduit par un affaissement des écarts entre les valeurs réglementaires et expérimentales. Notons que nous avons pu réduire le retrait du B.S. de 30% en ajoutant 50% de la masse du sable en

gravillons (3/8 et 8/15). Quant à l'accroissement enregistré au bout de dix ans environ, il est à mettre sur le compte des lissages qui affectent différemment les valeurs extrapolées à très long terme, à cause des cinétiques de séchage différentes.

3 FLUAGE

Le fluage sera calculé suivant deux règlements : CEB-FIP et BPEL.

Présentation de la méthode CEB-FIP

La déformation de fluage s'exprime par :

$$\epsilon_c(t, t_0) = \sigma_0 / E_{c28} \varphi(t, t_0)$$

avec :

σ_0 contrainte constante appliquée au jour t_0

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_d \beta_d (t - t_0) + \varphi_f [\beta_f (t - t_0)]$$

φ_d = coefficient d'élasticité forfaitaire pris en général égal à 0,4.

$\beta_d (t - t_0)$ coefficient d'élasticité tracé sur le graphique du code CEB-FIP, il correspond au développement, dans le temps de chargement, de cette déformation élastique différée réversible (Annexe a).

$\varphi_f = \varphi_{f1} \times \varphi_{f2}$: coefficient correspondant à la plasticité différée.

φ_{f1} dépend du milieu ambiant et se détermine sur la

courbe du code (Annexe b).

ϕf_2 : dépend de l'épaisseur fictive et se détermine sur la courbe e.2 du règlement CEB, (Annexe c).

$\beta f(t - t_0)$ est la fonction "développement dans le temps de chargement" de la déformation plastique différée (fluage), elle est représentée pour différentes épaisseurs fictives (Annexe d).

Présentation de la méthode BPEL

Le fluage du béton selon le règlement BPEL est donné en fonction du temps par la formule :

$$\epsilon f(t) = \sigma_0 / E_{28} [K_e + K_c \cdot K(t_1)] f(t - t_1).$$

avec :

E_{28} : module d'élasticité à vingt jours

σ_0 : contrainte constante appliquée

K_e : coefficient d'élasticité : 0,4

$K_c = 120 - \rho_h / 30 + 2/3 \cdot 100 - \rho_h / 20 + r_m$

ρ_h : hygrométrie

r_m : rayon moyen de la pièce [cm]

t_1 : [jours] âge du chargement

$$f(t-t_1) = \frac{(t-t_1)^{1/2}}{(t-t_1)^{1/2} + 5 \sqrt{r_m}} : \text{loi d'évolution dans le temps}$$

L'ensemble des résultats réglementaires (CEB et BPEL) et expérimentaux sont illustrés par les courbes de la figure 2.

Les règlements CEB-FIP et BPEL fournissent des résultats très voisins. Ces règlements sous-estiment les valeurs de fluage du BS d'un taux allant de 35% (à 3 jours) à 40% en fin d'essai (6 mois). La faible variation de la sous-estimation entre le début et la fin de l'essai

qui est de 5% seulement montre que l'incidence de l'hydratation sur le fluage, contrairement au retrait, est inexistante. Les causes de cette sous-estimation sont à chercher au niveau de la structure porométrique du béton de sable, plus affectée par la contrainte que la porométrie du béton ordinaire sur lequel sont calibrés les résultats des règlements.

4 CONCLUSION

- L'évolution de la sous-estimation du retrait montre l'importance de la poursuite des essais jusqu'à stabilisation des déformations.
- Le règlement CEB sous-estime le retrait final de 30% environ et le fluage de 40%, il en est de même du BPEL vis-à-vis de la déformation sous charge.
- La diminution de 30% du retrait du BS par adjonction de gravillons permet de conserver les règlements classiques pour prédire la déformation libre.
- La prédiction des déformations de retrait et fluage finaux est tout à fait possible en introduisant des coefficients de majoration dans les règlements en vigueur.

Ces coefficients, fonction des caractéristiques mécaniques du béton de sable (porosité, compacité, résistance, etc.) doivent faire l'objet d'une étude afin d'établir les lois d'évolution qui les régissent. Par contre la prédiction du retrait et fluage avant stabilisation nécessite la recherche de nouvelles lois ou l'amélioration de celles qui existent par introduction de nouveaux paramètres notamment la distribution de la porosité et un coefficient de diffusion de la vapeur d'eau ⑥

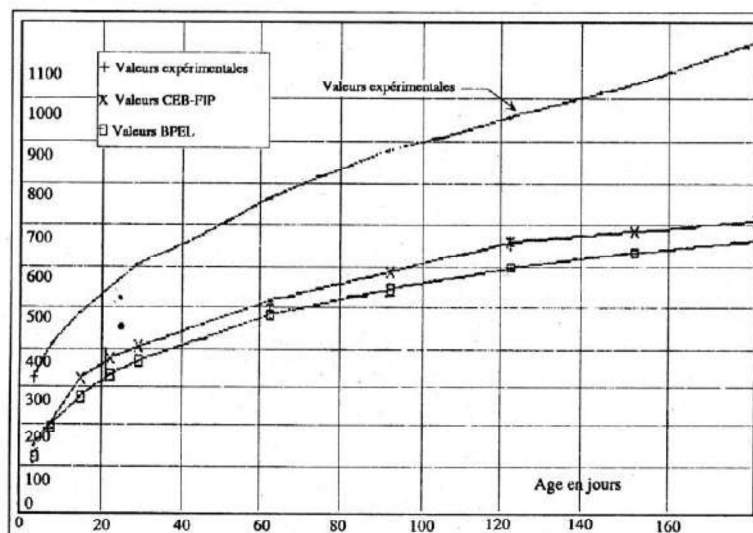
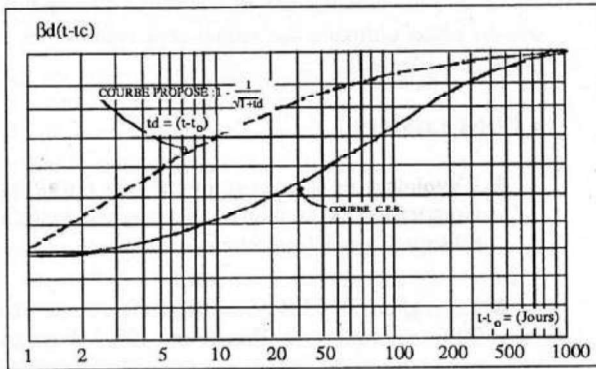
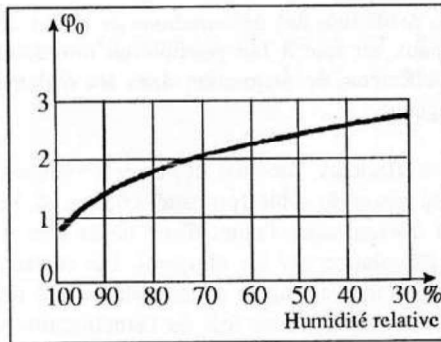


Figure 2 : Estimation de la compatibilité fluage CEB-FIP- BPEL. Fluage expérimental.

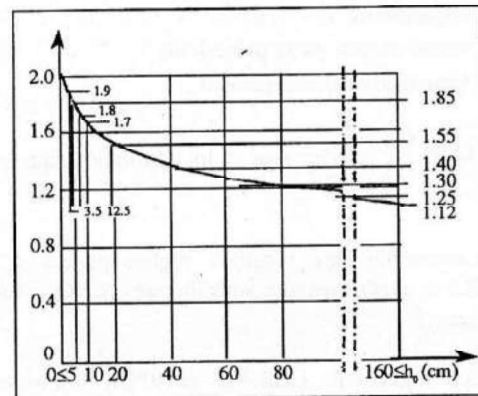
A N N E X E S



a) Développement dans le temps du retour de fluage. La formule proposée conduit à un retour de fluage plus rapide au début que celui calculé avec la formule CEB-FIP.



b)



c) Influence de l'épaisseur fictive sur le fluage (courbe tirée de la figure e₁ du Code-Modèle CEB-FIP).

d) Développement dans le temps de la déformation plastique différée ou fluage (courbes tirées de la figure e₄ du Code Modèle CEB-FIP).

