Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 13 (1988)

Artikel: Fluage des bétons à très hautes performances

Autor: Larrard, François de / Acker, Paul / Malier, Yves

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-12969

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Fluage des bétons à très hautes performances

Kriechen von hochfestem Beton

Creep in Very High Strength Concrete

François de LARRARD
Ing. de Recherche
LCPC
Paris, France

Paul ACKER
Chef, section BBAP
LCPC
Paris, France

Yves MALIER
Chef, Division MSOA
LCPC
Paris, France

Alex ATTOLOU
Technicien Supérieur
LCPC
Paris, France

RÉSUMÉ
Cet article relate des essais de fluage pratiqués pendant 18 mois sur un béton de 100 MPa de résistance à 28 jours. Analysant les origines physiques des faibles valeurs mesurées, on en déduit des règles simples de formulation pour obtenir des bétons à fluage très réduit. On montre enfin sur un exemple la réduction des pertes de précontrainte escomptable dans des structures utilisant ce nouveau matériau.

ZUSAMMENFASSUNG
Dieser Artikel beschreibt die Kriechversuche, welche über die Dauer von 18 Monaten an einem Beton mit einer 28-Tage-Festigkeit von 100 MPa durchgeführt wurden. Aus der Analyse der physikalischen Ursachen für die niedrigen Messwerte werden einfache Rezepte zur Aufbereitung von Betonen mit stark verringertem Kriechen abgeleitet. An einem Beispiel wird schliesslich die Verminderung der Vorpannungsverluste aufgezeigt, die in Strukturen aus diesem neuen Baustoff festzustellen ist.

ABSTRACT
This article recounts creep tests carried out over an 18-months period on a concrete having a 28-day strength of 100 MPa. Through analysis of the physical origins of the low values measured, simple mix-design rules for producing low-creep concrete are derived. Finally, an example is given to illustrate the reduction in losses of prestress that can be expected in structures in which this new material is used.

On s'intéresse dans cet article au fluage des bétons à très hautes performances (THP). Ces matériaux, de haute compacité, ont des compositions classiques, à quelques additifs près (adjuvants fluidifiants et ultrafines); ils présentent par conséquent un surcoût modéré par rapport aux bétons ordinaires. Leurs propriétés sont illustrées sur l'exemple du tableau 1.

	Granulats calcaires du Boulonnais 5/20	0/5	Sable de Seine	Ciment CPA55 HTS	Fumée de silice	Fluidi-fiant	Eau	Affaisse-ment au d'Abrams	Résistance en comp. à 28 j.
Béton TPH2	1265	326	326	421	42,1	7,59	112	> 20 cm	101 MPa
Béton témoin	1224	315	315	410	-	-	181	15 cm	55 MPa

Tableau 1: Composition et propriétés d'un béton à très hautes performances et d'un béton témoin [1].

Essais de fluage

Les éprouvettes cylindriques (longueur 1 m, diamètre 16 cm) sont conservées sous enveloppe étanche jusqu'à l'âge de 28 jours. Certaines sont alors revêtues de résine, alors que d'autres sèchent dans une ambiance constante (20°C, 50 %, H.R.). Les éprouvettes de fluage sont chargées à 30 % de leur charge de rupture instantanée, et l'on suit leur déformation, depuis l'âge de 28 jours jusqu'à la fin de l'essai. Les résultats apparaissent sur le tableau 2.

Par rapport à un béton témoin de mêmes composants mais sans additifs, on constate que **les retraits** (après 28 jours) **sont divisés par 2, ainsi que le fluage propre** (déformation par unité de contrainte, se produisant sans échange d'eau avec l'extérieur, déduction faite du retrait libre de l'éprouvette non chargée). Le retrait au jeune âge, en l'absence d'échanges d'eau, est par contre majoré [2]. **Le fluage de dessiccation**, c'est-à-dire ce qu'il faut ajouter au fluage propre et au retrait total pour retrouver la déformation de l'éprouvette séchante et chargée, **est quant à lui supprimé**.

En terme réglementaire, le "coefficient de fluage", c'est-à-dire le rapport de la déformation différée à la déformation instantanée, passe de 1,70 pour le béton ordinaire à 0,55 pour le béton THP (au bout de 18 mois d'essai).

Interprétation physique

WOLSIEFER [3] et SEKI et al. [4] ont aussi observé une réduction globale du fluage, quoique dans de moindres proportions. Ici nous proposons une explication physique de ce phénomène.

	B.O.	B.T.H.P.
Module instantané (MPa)	36.800	53.400
Retrait endogène (micro-déformations)	**220**	**100**
Retrait de séchage (micro-déformations)	**150**	**80**
Fluage propre :		
. déformation totale (micro-déformations)	385	315
. déformation par unité de contrainte (10^{-6} MPa^{-1})	23,3	10,5
. rapport de la déformation différée à la déformation instantanée	0,86	0,55
Fluage de dessiccation :		
. déformation totale (micro-déformations)	375	35
. déformation par unité de contrainte (10^{-6} MPa^{-1})	22,7	1,2
. rapport de la déformation différée à la déformation instantanée	0,84	0,00
"Kfl":	**1,70**	**0,55**

Tableau 2: résultats à 18 mois

Quel qu'en soit le mécanisme élémentaire, il est admis que le **fluage propre** se produit dans la pâte de ciment durcie, plus précisément dans les hydrates de cette dernière (qui comprend également les "grains de HADLEY", c'est-à-dire le reste du clinker non hydraté). Du fait de la faible quantité d'eau de gâchage utilisée pour le béton THP, la quantité d'hydrates (en volume total) est plus faible que dans le béton ordinaire. La loi de Pickett [6] laisse prévoir alors une réduction du fluage propre en raison de la puissance 1,7 de celle de la proportion d'hydrates (cf. fig.1), prédiction confirmée par l'expérience. A contrario, BUIL et ACKER [7] ont trouvé un fluage propre inchangé sur un béton à hautes performances qui comportait le même volume d'hydrates que le témoin.

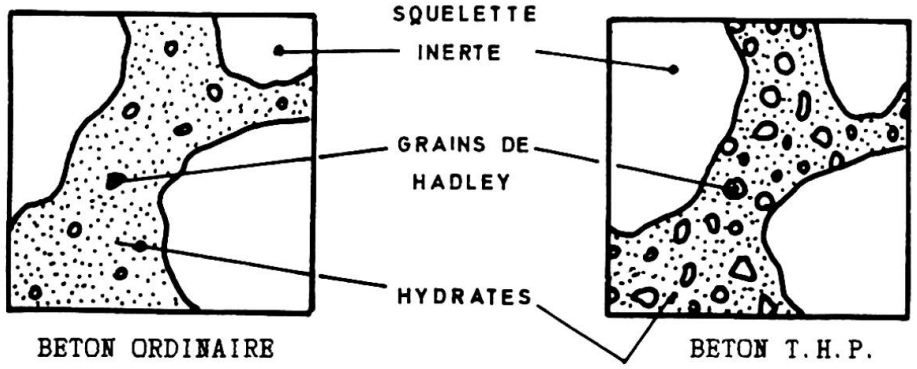


Figure 1: constitution des bétons à l'état durci.

Quant au **fluage de dessiccation**, il nous faut, pour expliquer sa quasi-disparition, avancer une hypothèse sur son origine. Selon ACKER [5], le séchage d'une éprouvette non chargée provoque un gradient de teneur en eau, lequel engendre un champ de contraintes suffisamment intense pour provoquer une fissuration de peau (cf. fig.2). La superposition d'une compression limite alors cette fissuration, qui ne relaxe plus les contraintes nées du séchage. La déformation globale est donc majorée, par rapport à la somme du fluage propre et du retrait macroscopique observée sur l'éprouvette fissurée.

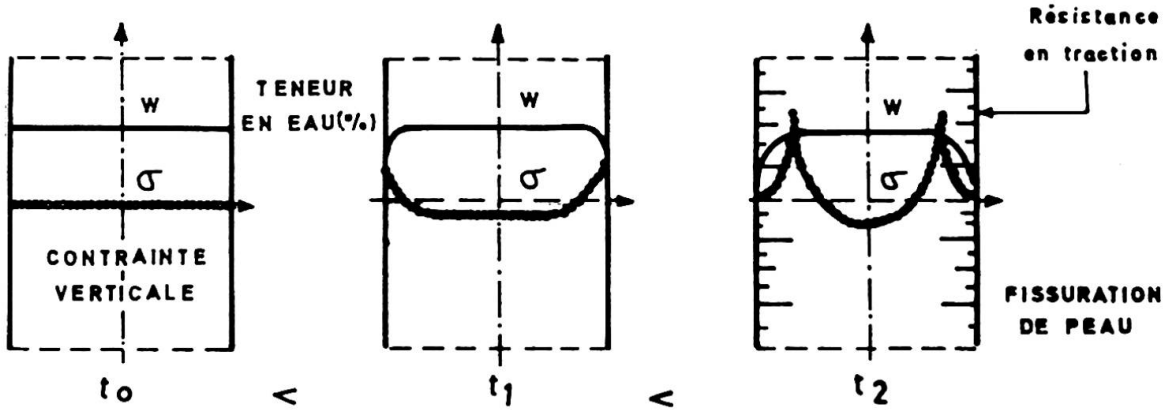


Figure 2: micro-fissuration de peau du béton ordinaire [5]

Si l'on admet que ce mécanisme explique la majeur partie du fluage de dessiccation, on comprend le comportement du béton THP: du fait de sa faible quantité d'eau évaporable (voir fig.3), et de sa meilleure résistance en traction, le séchage ne suffit pas à provoquer de fissuration de peau (comme on a pu s'en assurer par observation directe, avec un grandissement de 50).

Figure 3: évolution de la teneur en eau dans des éprouvettes soumises au séchage [8].

Conséquences sur la formulation de bétons à faible fluage

On doit donc minimiser le volume d'hydrates contenu dans un béton, ainsi que sa teneur en eau évaporable, pour réduire le plus possible son fluage. **Une règle simple de formulation est donc de réduire le plus possible le dosage en eau** *: c'est en effet ce dernier qui contrôle la quantité d'hydrates formée, la réaction d'hydratation s'arrêtant par déficit d'eau. Une optimisation de la granularité du squelette, ainsi qu'un usage massif d'adjuvants [1,9] rend possible l'obtention de bétons maniables à 100-115 l d'eau par m3. Ces bétons restent modérément dosés en ciment (400 à 450 kg/m3) mais contiennent des particules ultra-fines en ajout, qui se substituent à une partie de l'eau présente entre les grains de ciment [9].

Conséquence dans les structures de génie civil

La réduction des sections, autorisée par des contraintes importantes en service, n'est possible qu'en l'absence de risque d'instabilité élasto-plastique. Pour des charges de faible durée d'application, on ne peut compter que sur une augmentation relative de module d'environ 50 %. Par contre, pour les charges permanentes telles que le poids propre, prédominantes pour les portées moyennes et grandes, **l'accroissement du module différé est de l'ordre de 150 % !**

Quant aux pertes de précontrainte, on peut voir sur le tableau 3 le résultat du dimensionnement en parallèle, avec deux matériaux (béton ordinaire et THP), d'une poutrelle précontrainte par fils adhérents: **les pertes de la poutre en THP sont légèrement plus faibles, malgré des pertes instantanés plus importantes**. Par ailleurs, le gain en poids est supérieur à 40%

Conclusion

En observant des règles simples de formulation, on peut aujourd'hui fabriquer, avec une faible proportion d'additifs "nobles" (fluidifiants, ultrafines telles que la fumée de silice), des bétons de "très hautes performances" à fluage réduit. C'est une condition souvent nécessaire pour que ces matériaux conduisent à des structures non seulement plus durables, mais aussi plus économiques, car plus légères et consommant moins de matières.

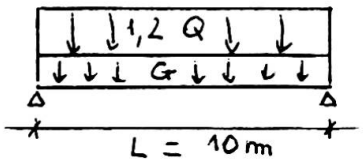
Bibliographie

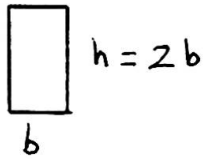
[1] **de LARRARD F.** : "Formulation et propriétés des bétons à très hautes performances". Rapport de recherche LPC n°149, Paris, 1987.

[2] **PAILLERE A.M., BUIL M., SERRANO J.J.**: "Durabilité du béton à très hautes pérformances: incidence du retrait d'hydratation sur la fissuration au jeune âge". De la science des matériaux au génie des matériaux, III, pp.990-997, Chapman et Hall Ed., 1987.

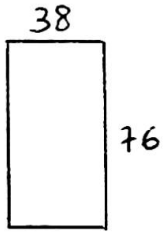
[3] **WOLSIEFER J.** : "Ultra high-strength Field placeable concrete in the range 10.000 to 18.000 psi (69 to 124 MPa)". ACI Annual Convention, Atlanta, pp 1-23, January 1982,

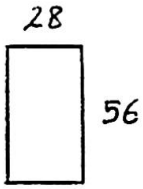
* Nota: cette règle n'est pas une "tautologie" dans la mesure où de fortes résistances peuvent aussi être obtenues avec un dosage en eau usuel, mais une très forte proportion de liants (voir par exemple [3]).





PROBLEME POSE:





	SOLUTION B.O.	SOLUTION B.T.H.P.
Béton:	f_{c28} = 45 MPa	f_{c28} = 90 MPa
Précontrainte:	21 T15	24 T15
Pertes instantanées:	≃ 8 %	≃ 12 %
Pertes différées:	≃ 19 %	≃ 11 %
Pertes totales:	≃ 27 %	≃ 23 %

Tableau 3: dimensionnements comparés d'une poutrelle en béton, précontrainte par fils adhérents [1]

[4] **SEKI S., MORIMOTO M., YAMANE N.** : "Recherche expérimentale sur l'amélioration du béton par l'incorporation de sous-produits industriels". Annales de l'ITBTP n°436, Juillet-Août 1985.

[5] **ACKER P.** : "Comportement mécanique des bétons : apports de l'approche physico-chimique". Thèse de Doctorat de l' ENPC, Paris, 1987.

[6] **PICKETT G.** : "Effect of Aggregates on shrinkage of concrete and a hypothesis concerning shrinkage". ACI Journal proc. 52, p. 581-590, 1956.

[7] **BUIL M., ACKER P.** : "Creep of a silica-fume concrete". Cement and Concrete Research, Vol.15, pp. 463-466, 1985.

[8] **BOUSSION R., GABILLY Y.**: "Contribution à l'étude des teneurs en eau et des migrations d'eau dans les bétons". Fiche 1.30.11, Rapports du LRPC d'Angers 10/85 & 24 /86,

[9] **de LARRARD F., MOREAU A., BUIL M., PAILLERE A.M.**: "Improvement of mortars and concrete really attributable to condensed silica-fume". Supplementary paper, 2nd international conference on fly ash, silica-fume, slag and other pozzolans in concrete, Madrid 1986.