

Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 55 (1987)

Artikel: Bétons à hautes performances par l'emploi de fluidifiants et de fibres d'acier
Autor: Paillere, Anne-Marie / Buil, Michel / Serrano, Jean-Joseph
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-42752>

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: 10.01.2026

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

Bétons à hautes performances par l'emploi de fluidifiants et de fibres d'acier

Hochleistungsbeton durch Verwendung von Verflüssigern und Stahlfasern

High Performance Concretes by the Use of Superplasticizers and Steel Fibres

Anne-Marie PAILLÈRE

Docteur Es Sciences
L.C.P.C.
Paris, France

A.M. Paillère est spécialisée dans les recherches sur les adjuvants, la durabilité des ciments, les polymères (réparation) et les bétons spéciaux (fibres et hautes performances)

Michel BUIL

Ing. Civil des Ponts et Chaussées
L.C.P.C.
Paris, France

M. Buil conduit des recherches dans le domaine de la physicochimie des matériaux à base de ciment.

Jean-Joseph SERRANO

Technicien supérieur
L.C.P.C.
Paris, France

J.J. Serrano étudie les matériaux à base de polymère, les bétons de fibres et les bétons à hautes performances

François de LARRARD

Ingénieur
L.C.P.C.
Paris, France

François de Larrard prépare actuellement une thèse sur la formulation et les applications des bétons à très hautes performances.

RÉSUMÉ

Cette communication présente les méthodes mises au point pour obtenir des bétons à très hautes résistances aisés à mettre en œuvre. Ces méthodes font appel à une introduction fractionnée d'un adjuvant fluidifiant ainsi qu'à l'emploi éventuel d'une microsilice. Les bétons à très faibles teneurs en eau que l'on prépare ainsi présentent un retrait de durcissement très élevé par rapport aux bétons ordinaires. L'emploi de fibres permet de réduire les phénomènes de fissuration pouvant résulter de ce retrait.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag stellt die Methoden vor, die zur Aufbereitung von leicht einbaubaren Hochfestigkeitsbetonen entwickelt werden. Diese Methoden stützen sich auf eine fraktionierte Zugabe eines Betonverflüssigers sowie den eventuellen Einsatz Mikro-Siliziumoxid. Die auf diese Weise aufbereiteten Betone mit sehr schwachem Wassergehalt weisen gegenüber den herkömmlichen Betone ein sehr hohes Erstarrungsschwinden auf. Die Verwendung von Stahlfasern ermöglicht eine Senkung der Rissbildungserscheinungen, die aus diesem Schwinden resultieren können.

SUMMARY

This paper presents current methods developed to obtain very high strength concretes that are easy to place. These methods are based on the fractioned addition of a superplasticizer and occasionally, the use of a microsilica. The very-low-water content concretes so prepared exhibit much more hardening shrinkage than ordinary concretes. Fibres may be used to reduce the cracking this shrinkage may cause.



1. INTRODUCTION

Pour obtenir un béton à hautes performances avec des matériaux, ciment et granulats, bien définis, il est indispensable qu'il possède une teneur en eau minimale et un maximum de compacité. Ceci peut être réalisé à l'aide d'adjuvants à pouvoir réducteur d'eau très élevé et d'addition d'éléments ultrafins qui remplissent les vides existant entre les grains de ciment. C'est ainsi que la conjugaison de l'emploi de fumées de silice et de fluidifiant conduit à des bétons dont la résistance à la compression à 28 jours peut être supérieure à 100 MPa.

Toutefois, ces formulations doivent pouvoir être exécutées sur chantier sans faire appel, de préférence, à des moyens exceptionnels. Ceci impose à ces bétons la nécessité de présenter des maniabilités satisfaisantes, à leur sortie de la bétonnière et lors de leur mise en œuvre, c'est-à-dire 20 à 60 minutes après leur confection. Or, il est bien connu qu'un raidissement du béton intervient très rapidement après l'introduction du fluidifiant non retardé.

Nous avons donc étudié le mode d'introduction optimal du fluidifiant permettant d'obtenir, d'une part, un béton ayant un affaissement au cône à la fin de la fabrication d'au moins 4 cm et, d'autre part, un béton fluide (affaissement > 20 cm) jusqu'à 60 ou 90 minutes après fabrication.

Par ailleurs, le critère de haute résistance ne suffit pas à conditionner la qualité du béton, il faut aussi que les autres caractéristiques soient très performantes. De nombreux travaux (1) ont montré que l'aptitude à la fissuration du béton à hautes résistances est élevée. Nous avons donc analysé ce phénomène et cherché à réduire cette fissuration en introduisant dans la composition des fibres métalliques.

2. FORMULATION DE BETON A HAUTES PERFORMANCES ET A MANIABILITE MAXIMALE

2.1. Béton traditionnel

Les fluidifiants présentent une efficacité optimale (2) lorsqu'ils sont introduits entre 20 et 30 minutes après le mélange, que nous appellerons primaire, des granulats, du ciment et de l'eau. Cette propriété permet d'obtenir avec un béton à rapport eau/ciment faible (entre 0,26 et 0,35) des affaissements de 22 cm. Toutefois ces mélanges primaires présentent lors de leur fabrication des affaissements nuls et sont irréalisables en centrale. Une étude approfondie du mode d'introduction optimal des fluidifiants nous a permis de préconiser l'introduction du fluidifiant en deux temps, c'est-à-dire : une fraction dans l'eau de gâchage ou juste à la fin du malaxage du mélange primaire et la fraction restante environ 30 minutes après. La figure 1 résume les résultats obtenus avec cinq modes différents d'introduction et trois dosages différents d'extrait sec d'un fluidifiant à base de résine mélamine formaldéhyde. On constate ainsi que le dosage de 0,7 %, introduit à raison de 0,48 % dans l'eau de gâchage et 0,22 % 30 minutes après la fin du mélange primaire, conduit, pour un rapport eau/ciment de 0,33, à un affaissement de 22 cm qui se maintient pendant 90 minutes.

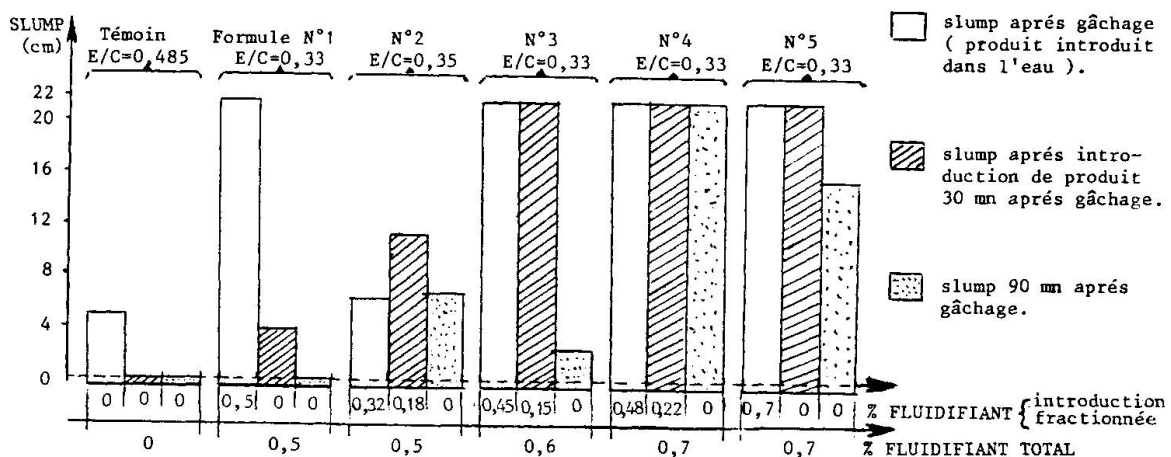
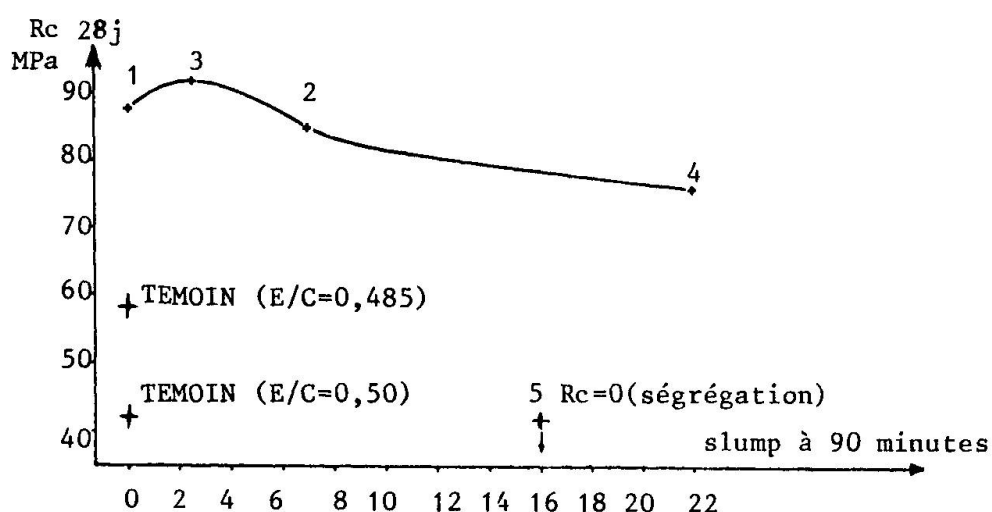


Figure 1 : Affaissement au cône d'Abrams (slump) d'un béton fluidifié en fonction du dosage en fluidifiant, de son mode d'introduction et du temps.



Du point de vue des résistances, la figure 2 montre que, par la seule réduction d'eau, obtenue avec l'introduction fractionnée du fluidifiant, on obtient des résistances à la compression à 28 j comprises entre 76 et 92 MPa. Les résistances les plus élevées se placent dans le cas où l'affaissement de 22 cm n'est maintenu que pendant 60 minutes (formule 1 et 3).

Figure 2 : Résistances à la compression à 28 jours en fonction de la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams 90 mm après fabrication du béton

2.2. Double malaxage

Le tableau n° 1 montre que la formule 4, à affaissement maximum, peut être améliorée en préparant séparément un coulis avec l'eau, le ciment et la première fraction du fluidifiant, puis en mélangeant ce coulis avec les granulats du béton.

TABLEAU 1

Caractéristiques du béton à hautes performances confectionné avec la méthode de double malaxage

	% total de fluidifiant (extrait sec)	Introduction fractionnée % de fluidifiant dans chaque phase		E/C	Slump à 90 min. en cm	R. compres. à 28 j. en MPa
Témoin formule 4 de la fig. 1 Malaxage traditionnel	0.7	0.48 à la fin du malaxage	0.22 30 min. après fabrication	0.33	22	76.0
Double malaxage à haute turbulence : Coulis (eau + ciment + adjuvant) mélangé après fabrication aux granulats du béton	0.7	0.48 dans le coulis	0.22 dans le béton 30 min. après confection	0.33	22	85.0
Coulis (70 % de l'eau totale + 66 % du ciment + adjuvant) mélangé après confection aux granulats + 30 % de l'eau + 34 % du ciment	0.7	0.48 dans le coulis	0.22 dans le béton 30 min après confection	0.35	22	88.5

2.3. Application au béton à très hautes performances avec fumées de silice

Compte tenu des résultats des travaux précédents nous avons adapté la méthode d'introduction fractionnée du fluidifiant au béton avec fumée de silice. Ainsi, un tiers du dosage total a été incorporé 30 s après le mélange granulats-ciment-fumées de silice, ce qui a conduit à un affaissement de 20 cm, puis les deux tiers restant ont été mélangés au béton après 4 min. d'attente. L'affaissement au cône obtenu était de 22 cm environ pour atteindre entre 30 et 40 min. après, 18 à 20 cm.



TABLEAU 2
Composition du béton avec fumées de silice

Gravillon	Sable	Ciment CPA 55	Fumée de silice (% ciment)	Fluidifiant (% ciment)	Eau totale (% ciment)	Slump fin de malaxage	Slump après 40 mm d'attente
1 265 kg/m ³	652 kg/m ³	421 kg/m ³	10 %	1,8 %	26,7	20 cm	20 cm

TABLEAU 3
Caractéristiques physiques et mécaniques du béton avec fumées de silice

	1 j	3 j	7 j	14 j	28 j	90 j
Résistance en compression (MPa)	27	72	86	93	101	110
Résistance au fendage (MPa)	2,2	5,4	6,4	6,1	6,5	-
Module d'Young (GPa)	35	49	51	52	53	54

Les tableaux n° 2 et 3 donnent la composition et les résistances de ce béton. On obtient ainsi un béton à très hautes performances (100 MPa) qui présente entre 3 et 14 jours une montée en résistance très rapide.

3. CONTRIBUTION DES FIBRES METALLIQUES A LA DIMINUTION DE L'APTITUDE A LA FISSURATION DU BETON A TRES HAUTES RESISTANCES

Les réductions exceptionnelles de porosité et de perméabilité que l'on atteint dans les bétons à hautes performances conduisent à une amélioration remarquable du comportement de ces bétons, par rapport aux bétons ordinaires, face aux mécanismes traditionnels de dégradation par migration d'éléments nocifs dans le réseau poreux du matériau.

Par contre, on constate que dans le cas où ces bétons sont soumis à des conditions de déformation empêchée dès le coulage, il convient de prendre garde à leur retrait d'hydratation. Ce retrait est principalement engendré par l'« auto-dessiccation » du béton au cours de son durcissement (3), c'est-à-dire par la diminution spontanée progressive de l'humidité relative en équilibre avec l'eau interne du béton, protégé de toute évaporation, sous l'effet de l'hydratation du ciment.

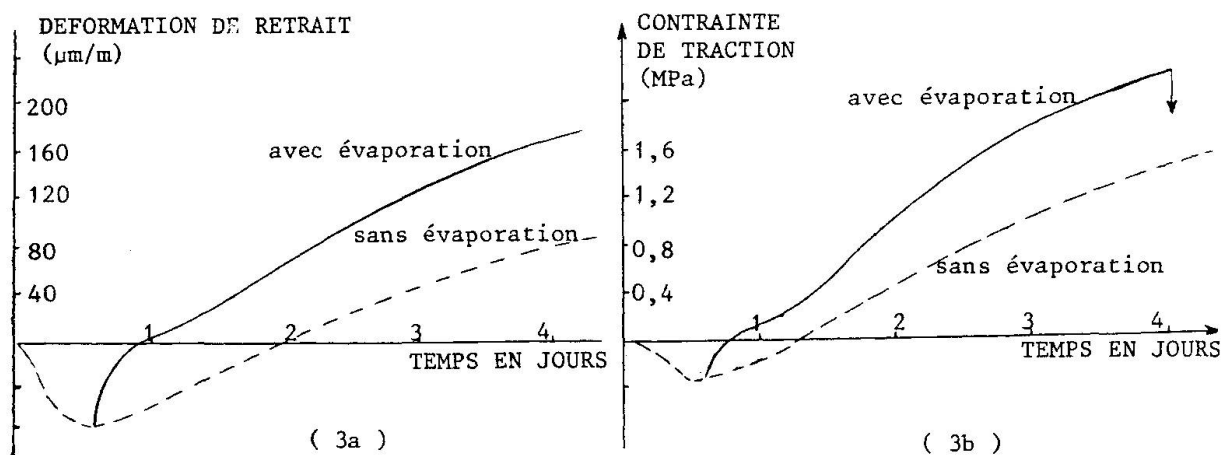


Figure 3 : Evolution des déformations libres et des contraintes dans l'essai au banc de fissuration pour un béton traditionnel avec évaporation et sans évaporation.

Les essais effectués avec le banc linéaire LCPC de fissuration du béton (4) ont mis en évidence l'influence de ces phénomènes sur l'aptitude à la fissuration du béton avec fumées de silice. Le principe du banc de fissuration est le suivant : il enregistre, dès la mise en place du béton frais dans le moule, les différentes déformations (expansion et retrait) engendrées dans le béton au cours de son durcissement. D'autre part, il permet de mesurer les contraintes engendrées dans l'éprouvette lorsque celle-ci est maintenue à une longueur constante (déformations empêchées) à l'aide d'un système d'asservissement. Ces contraintes conduisent à la rupture du béton par traction, après un certain temps qui caractérise l'aptitude à la fissuration de celui-ci.

La figure 3 présente l'influence du retrait d'hydratation et d'évaporation sur la fissuration d'un béton traditionnel (rapport eau/ciment = 0,44, 425 kg de ciment par m³). L'évolution des contraintes et des déformations obtenues avec un béton à très hautes performances avec fumées de silice (E/C = 0,26, 425 kg de ciment par m³ et 64 kg de fumées de silice par m³) est représentée dans la figure 4. On constate que l'éprouvette soumise à l'évaporation fissure immédiatement après démoulage à 14 h et que l'éprouvette protégée de toute évaporation est rompue au bout de 4 jours sous une contrainte de traction supérieure à 3,5 MPa (fig. 4b). Dans les mêmes conditions expérimentales, le béton traditionnel engendre des contraintes beaucoup plus faibles et l'éprouvette protégée ne fissure pas jusqu'à 28 jours, échéance à laquelle les essais ont été arrêtés (fig. 3b).

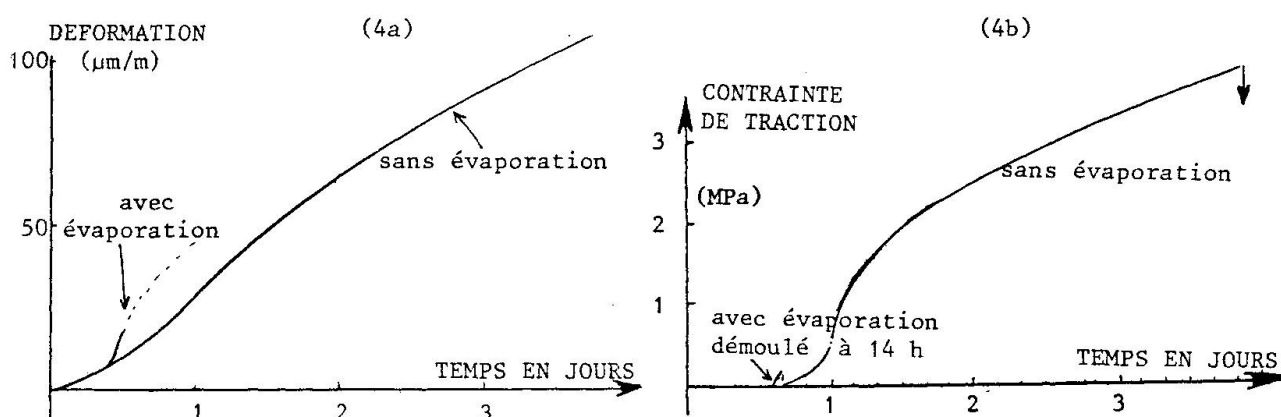


Figure 4 : Evolution des déformations libres et des contraintes dans l'essai au banc de fissuration pour un béton à très hautes performances avec fumées de silice, avec évaporation et sans évaporation.

Ces résultats sont en accord avec la très forte autodesiccation qui a pu être mesurée sur le béton de fumées de silice de cette étude. La figure 5 montre que l'humidité interne d'un tel béton est abaissée à 75 % au bout d'un mois, alors qu'un béton traditionnel à E/C = 0,44 reste pratiquement sous humidité saturante pendant ce même temps (5). Ainsi donc, pour les très faibles rapports eau/ciment (par ex. 0.25) atteints dans les bétons à très hautes performances, l'autodesiccation n'est plus un phénomène négligeable. Il en résulte un retrait d'hydratation élevé qui peut engendrer une fissuration précoce dans le cas d'une déformation empêchée.

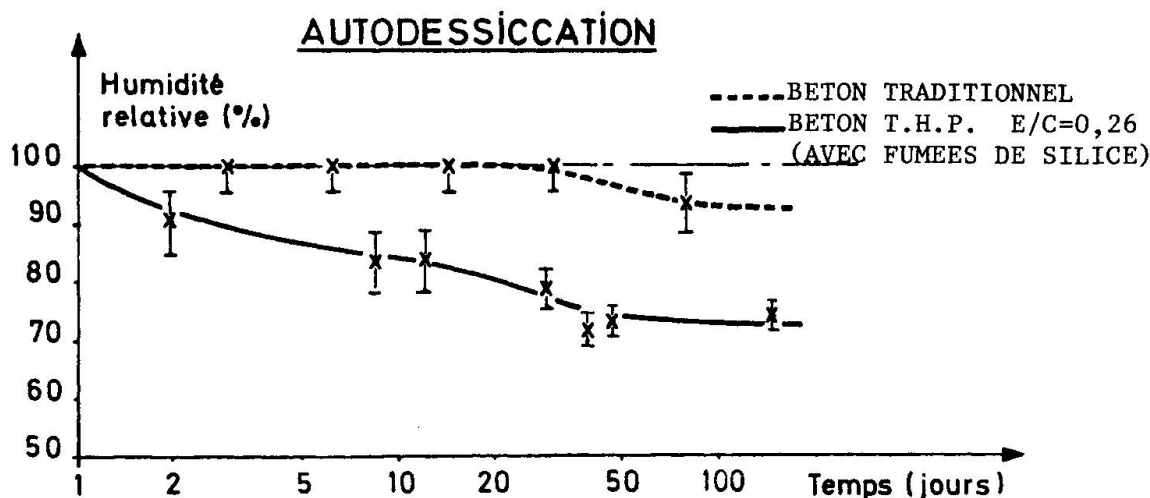
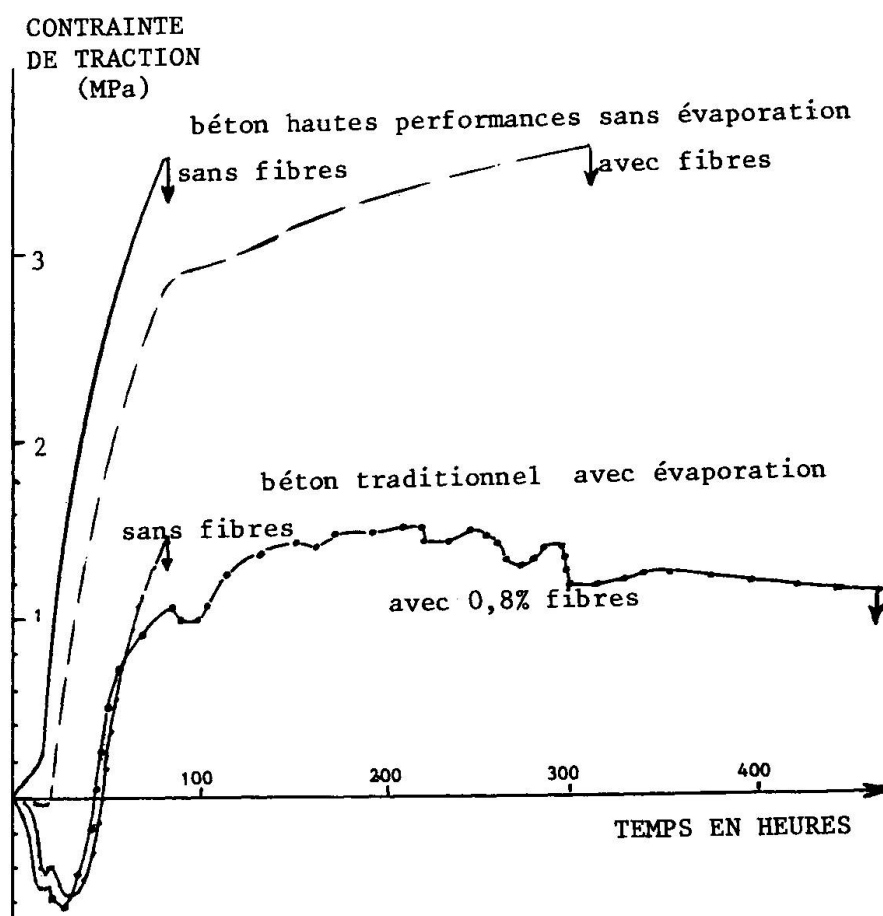


Figure 5 : Evolution de l'humidité interne avec le temps d'hydratation pour un béton traditionnel et pour un béton à très hautes performances avec fumées de silice (éprouvettes protégées de l'évaporation).



L'addition de fibres à la composition des bétons à très hautes performances permet de réduire ce phénomène de fissuration franche précoce, en favorisant la création d'une microfissuration répartie et en couturant les microfissures dès leurs apparitions.

La figure 6 montre le comportement du béton à très hautes résistances avec fumées de silice et une addition de 0,8 % de fibres d'acier 50/50 (rapport de la longueur en mm sur le diamètre en centièmes de mm). La fissuration, en absence de toute évaporation, est retardée de 7 jours. Ceci montre l'importance du phénomène d'autodessiccation, puisque l'amélioration apportée par les fibres introduites dans un béton traditionnel, soumis à l'évaporation, correspond à un retard à la fissuration de l'ordre de 10 à 15 jours.

Figure 6 : Evolution des contraintes dans l'essai au banc de fissuration pour un béton à très hautes performances avec fumées de silice, protégé de l'évaporation, sans fibres ou avec fibres et pour un béton traditionnel, soumis à l'évaporation, sans fibres ou avec fibres.

4. CONCLUSIONS

L'ensemble de ces résultats de recherche montre que l'introduction fractionnée d'un fluidifiant permet de confectionner et de mettre en œuvre, dans des conditions satisfaisantes, des bétons à teneurs en eau extrêmement basses. On peut obtenir par ce procédé des bétons à très hautes résistances (de l'ordre de 80 MPa). La combinaison de ce mode d'introduction avec l'addition de fumées de silice, permet d'atteindre des niveaux de résistance de 100 MPa. Par ailleurs, nous avons mis en évidence un éventuel aspect pathologique de ces bétons : leur fissuration précoce par retrait de durcissement exceptionnellement élevé, qui peut intervenir lorsque ce retrait est empêché dès le début de l'hydratation du ciment. L'emploi de fibres métalliques permet de limiter cette fissuration.

BIBLIOGRAPHIE

1. CANMET-ACI (1986) Proceedings Second International Conference en Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete - Madrid. 2 vol.
2. A.M. PAILLIERE, Ph. BRIQUET (1980) - « Influence des résines de synthèse fluidifiantes sur la rhéologie et la déformation des pâtes de ciment avant et en cours de prise » - 7^e Congrès International sur la Chimie des Ciments - Paris.
3. M. BUIL (1979) « Contribution à l'étude du retrait de la pâte de ciment durcissante ». Rapport de recherche LCPC n° 92, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris.
4. A.M. PAILLIERE et J.J. SERRANO (1976) « Appareil d'étude de la fissuration du béton ». Bull. Liaison Labo. P. et Ch. n° 83, pp. 29-38.
5. A.M. PAILLIERE, M. BUIL et J.J. SERRANO (1987) « Durabilité du béton à très hautes performances : incidence du retrait d'hydratation sur la fissuration au jeune âge », à paraître, Communication au 1^{er} Congrès International « de la Science des Matériaux au Génie des Matériaux de Construction ». Versailles, 7 - 11 sept. 1987.