

Béton à hautes performances

Autor(en): **Cadore, Gaël**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte**

Band (Jahr): **55 (1987)**

PDF erstellt am: **21.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-42755>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Béton à hautes performances

Hochfester Beton

High-Strength Concrete

Gaël CADORET

Dr. Ing.
Bouygues
Clamart, France



Gaël Cadoret, né en 1949, obtient son diplôme d'Ingénieur à l'INSA de Lyon en 1972. En 1976, il reçoit le titre de Docteur Ingénieur de l'Université Pierre et Marie Curie. Après avoir exercé une activité de laboratoire et de Contrôle sur chantier, il intègre Bouygues en 1983 où il est actuellement Chef de Service à la Direction Scientifique.

RÉSUMÉ

L'article rappelle les principes de production d'un béton de qualité et présente des résultats de recherches concernant les propriétés du béton à hautes performances. A l'occasion d'essais en production, l'entreprise a montré qu'elle savait produire industriellement des bétons à hautes performances et avec de faibles dosages en ciment. Sur trois chantiers actuels, la quantité totale produite à ce jour est de 20 000 m³.

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Bericht fasst kurz die Prinzipien der Herstellung von hochwertigem Beton zusammen und stellt die Forschungsergebnisse über die Charakteristiken des hochfesten Betons dar. Proben von Beton, der an Ort hergestellt wurde, haben gezeigt, dass die Firma fähig ist, hochfesten Beton mit schwachen Zementmengen in industriellem Mass zu produzieren. Bis heute beläuft sich die Gesamtproduktion in drei aktuellen Bauprojekten auf 20'000 m³.

SUMMARY

The article briefly summarizes the principles for manufacture of high quality concrete, and discusses research data relevant to the properties of high strength concrete. Test sampling of concrete manufactured on site has demonstrated the company's ability to produce high-strength concrete on an industrial scale. In three current building projects, output totals 20,000 cubic meters to date.



1. INTRODUCTION

L'amélioration des performances du matériau béton fait l'objet de travaux depuis de nombreuses années. En 1949, Eugène Freyssinet utilisait déjà une technique particulière d'essorage après coulage afin d'accroître la compacité de voussoirs préfabriqués en usine. Il obtenait ainsi des résistances de 100 MPa après quelques jours. 'Une heure après moulage, nos bétons, dont l'épaisseur totale pouvait dans certains cas descendre à 12 cm, résistaient à plus de 50 MPa ; leur charge de rupture atteignait après quelques jours 100 MPa'. Eugène Freyssinet, Conférence du 21 Mai 1954. Evocation de ses réalisations de 1933.

D'une manière générale, l'accroissement des performances et en particulier des résistances dans les bétons est obtenu, ainsi que l'avait parfaitement exprimé M. CAQUOT, en augmentant leur compacité.

Cette diminution des vides est acquise en diminuant l'eau servant au malaxage du béton, l'optimum étant atteint quand l'eau apportée est celle strictement nécessaire à l'hydratation des composés hydrauliques du ciment.

Une deuxième action visant à améliorer les caractéristiques des bétons consiste en l'incorporation de produits pouzzolaniques (Cendres Volantes, Fumées de Silice) dont l'action va se traduire, d'une part sur la rhéologie du béton frais (accroissement d'éléments fins voire très fins), et d'autre part sur la nature chimique des composés hydratés. Cette dernière action (pouzzolanique) consiste en la réaction des hydroxydes de calcium avec la silice amorphe pour former des silicates de calcium hydratés. Ces derniers composés, contrairement à l'hydroxyde de calcium, sont chimiquement résistants et géométriquement de petite taille.

2. LA CONCEPTION DU BETON A HAUTES PERFORMANCES

La définition d'un béton à hautes performances ne nécessite que l'application rigoureuse des principes et règles qui régissent la conception de tout béton de qualité.

La qualité du matériau béton est acquise si les trois paramètres essentiels que sont la DURABILITE, la RHEOLOGIE, et les CARACTERISTIQUES MECANQUES sont maîtrisées

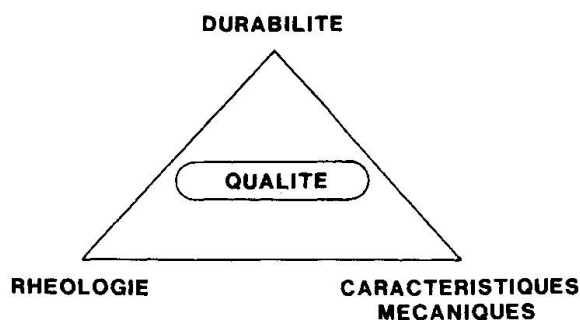


FIGURE 1 - LA QUALITE DU MATERIAU

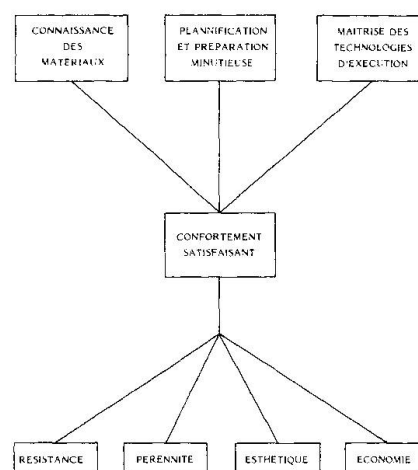


Fig. 2 - La qualité de la réalisation

Par ailleurs, la qualité de réalisation ne peut être obtenue que si la définition du béton est conçue en fonction des technologies de fabrication, transport et mise en oeuvre.

En particulier, la production de béton à hautes performances requiert généralement l'usage de fluidifiants afin de permettre une réduction d'eau importante tout en conservant une maniabilité convenable. Un défaut de maîtrise dans la chaîne maté-

riaux de base, fabrication, transport se traduit par des variations importantes et inacceptables de consistance du béton à l'arrivée sur chantier.

Dans ce contexte, parmi les paramètres que nous considérons comme essentiels, nous pouvons citer :

Pour le ciment : sa composition chimique, début et fin de prise avec effet du E/C et de la température

Pour les adjuvants : effet de défloculation, incidence sur le temps de prise, optimisation du dosage.

Pour la fumée de silice : composition chimique, spectre granulométrique.

3. LES PROPRIETES GENERALES DU BETON A HAUTES PERFORMANCES

3.1 Rhéologie

Par la mise en oeuvre de dispositions appropriées, il est possible de produire des bétons dont la maniabilité est assurée pendant des temps de 1 h à 2 h après fabrication. Ainsi à l'occasion du coulage d'une dalle de couverture de culée (PLM A86) le slump après pompage a varié de 7 cm à 5 cm en deux heures, le béton ayant une résistance moyenne de 77 MPa à 28 jours et 86 MPa à 90 jours.

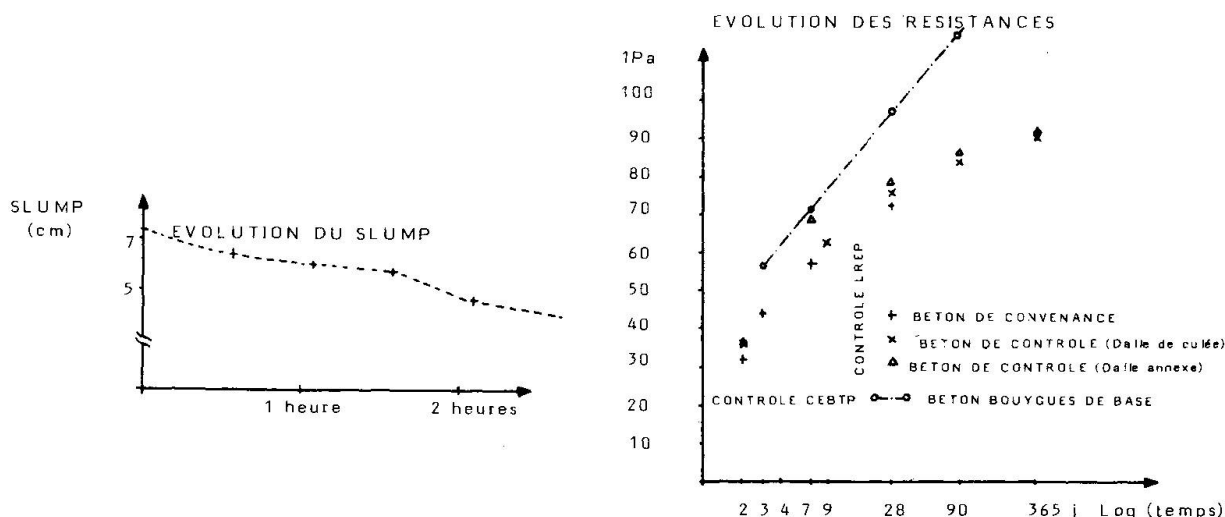


Fig. 3 : CHANTIER PLM A86 - Suivi du béton

Sur notre chantier de Tête de Défense, le bétonnage des Mégapoutres est assuré avec un béton qui après pompage a un slump restant compris entre 20 et 25 cm pendant plus d'une heure.

En fait, l'incidence de la rhéologie (béton fluide ou plastique) sur les résistances mécaniques est faible. Pour le béton étudié dans le cadre de la liaison Ré-Continent, la variation à 28 jours est de 2 MPa pour un slump passant de 7 à 22 cm, la résistance moyenne à 28 jours étant respectivement de 93,1 et 91,3 MPa.

3.2 Résistances mécaniques

Ce paramètre 'résistance mécanique en compression' doit s'apprécier en fonction des trois critères suivants :

Résistance au jeune âge (12-18 h) nécessaire pour la tenue des cycles de production (décoffrage - manutention - précontrainte)



- Résistance contractuelle généralement mesurée à 28 jours
- Résistance au cours du temps.

Dans ces domaines, les bétons à hautes performances ont un comportement semblable aux bétons ordinaires, à ceci près qu'il convient de tenir compte, le cas échéant, de l'incorporation d'agents pouzzolaniques très efficaces tels que les fumées de silice, et de la modification des vitesses d'hydratation du ciment ainsi que de leur composition chimique.

Ainsi, nous pouvons, soit valoriser les résistances à court terme, soit au contraire favoriser les gains à moyenne échéance.

A titre d'illustration, l'incorporation de 7% de fumée de silice dans les bétons de l'Ile de Ré nous a permis un gain de 7 MPa à 15 heures pour un béton non étuvé, fabriqué à 20°C et contenant 400 kg de CPA 55.

3.3 Durabilité

La résistance aux agents chimiques des bétons à hautes performances est améliorée pour les deux raisons suivantes :

- Une compacité plus grande se traduisant par une diminution de la porosité et de la perméabilité.
- Une structure chimiquement plus résistante dans la mesure où des produits à activité pouzzolanique élevée ont été incorporés au béton. Toutefois la fixation des hydroxydes de calcium devra être limitée afin de laisser au béton son caractère basique qui contribue à la protection des armatures.

3.4 Fragilité - Ductilité

Afin de vérifier et de mieux connaître le comportement à la rupture des bétons, dont la résistance moyenne en compression s'étend de 70 à 100 MPa, nous avons fait essayer en laboratoire (CEBTP) des éléments de structure. Ces mesures qui ont été faites à ces occasions sont en accord avec les conclusions de recherches semblables dont nous avons eu connaissance (Contrat SETRA-UTI n° 8440020 et ACI), et dont nous rappelons ci-après les principaux enseignements :

- En compression faiblement excentrée le béton à haute résistance apporte, à section égale, un gain important de capacité portante par rapport au béton normal.
- En flexion pure, la ductilité à la rupture du béton HR est légèrement meilleure que celle du béton normal.

Enfin, dans tous les rapports d'essais, il est noté des déformations ultimes plus grandes et importantes pour le béton à hautes résistances (cf figure 4) :

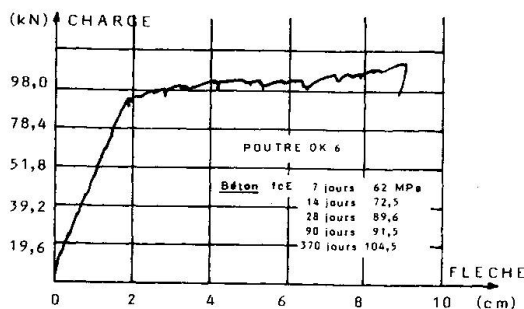
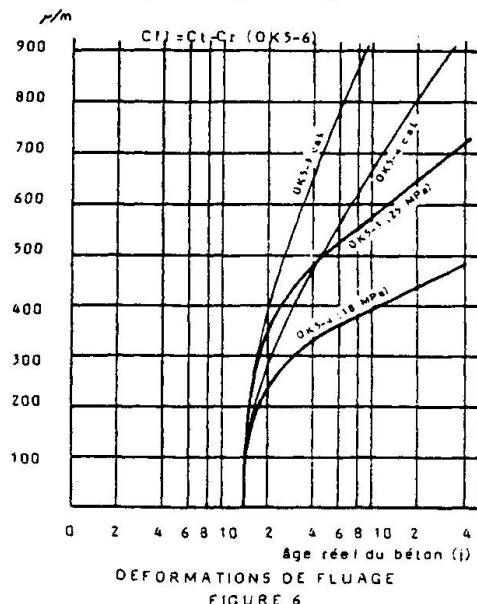


FIGURE 4 - DIAGRAMME CHARGE FLECHE AU CENTRE POUR OK 6



DEFORMATIONS DE FLUAGE
FIGURE 6

4. DEFORMATIONS DIFFERENTES

4.2 Retrait et fluage

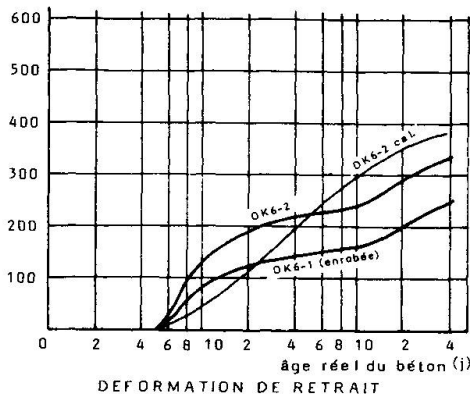


FIGURE 5

D'une manière générale le retrait n'est que légèrement réduit par rapport à sa valeur estimée à partir des règles FIP-CEB. Par contre, l'évolution de ce retrait est sensiblement différente comme illustré par la figure 5.

Les déformations de fluage sont considérablement réduites (facteur de l'ordre de 2) et ceci est d'autant plus marqué que la maturité du béton est avancée au jour de la mise en charge (7 et 14 jours). Cf fig. 6.

5. LE BETON A HAUTES PERFORMANCES SUR NOS CHANTIERS

A ce jour, sur trois de nos chantiers, l'Entreprise met quotidiennement en oeuvre du béton dont les résistances caractéristiques sortent du cadre réglementaire (limité à 40 MPa).

5.1 Grande Arche de la Défense

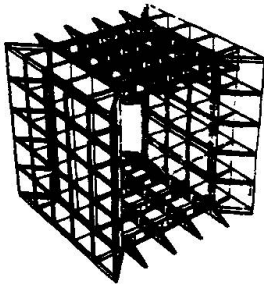


FIGURE 7

Il s'agit d'un bâtiment exceptionnel (fig. 7) constitué de blocs de 7 niveaux en béton armé se logeant à l'intérieur d'une méga-structure d'éléments de grandes dimensions et constituant l'ossature principale du bâtiment.

Pour les poutres principales et leurs noeuds ainsi que pour les chapiteaux des 12 appuis, il était nécessaire d'obtenir un béton de résistance caractéristique de 50 MPa.

Par ailleurs, pour des questions de mise en oeuvre et compte-tenu de la densité du ferrailage (300 kg d'acier/m³), il était nécessaire d'avoir un béton fluide pendant une durée au moins égale à 60 mn (en fait 90 mn).

Depuis Octobre 1985 jusqu'à ce jour, plus de 20 000 m³ de béton ont été coulés.

La résistance moyenne à 28 jours ressort à 60 MPa, ce qui procure une résistance caractéristique de 55 MPa.

Le tableau suivant illustre les résultats des contrôles de béton sur les Mégapoutres du plateau inférieur.

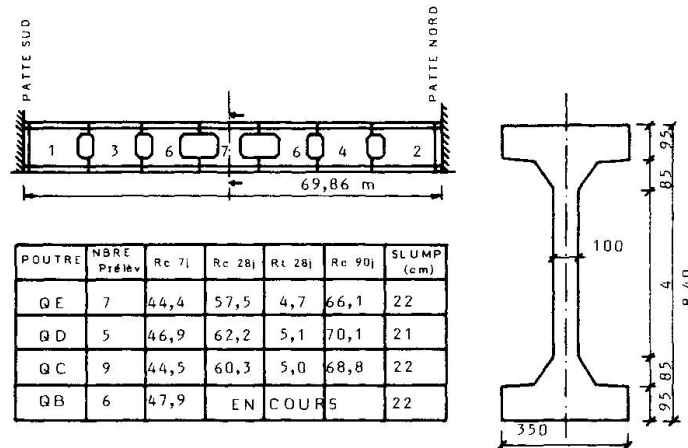
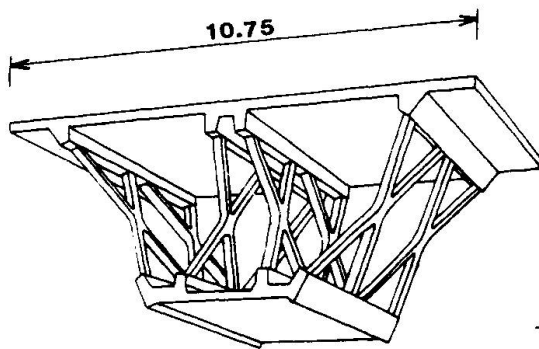


FIGURE 8

Pour le plateau supérieur, la formulation va évoluer et les résistances qui seront atteintes avoisineront les 80 MPa à 28 jours.

5.2 Viaduc de Sylans

Il s'agit d'une structure de pont triangulée dont les éléments constitutifs de chaque voussoir sont préfabriqués en cellule.



A ce jour, pour une exigence contractuelle de 40 MPa à 28 jours, nous constatons des valeurs moyennes de 30 à 40 MPa à 24 h, et à 28 j les résistances sont comprises entre 65 et 75 MPa

Le béton n'est pas étuvé, son dosage est de 400 kg de ciment par m³ de béton et il n'y a pas d'incorporation de fumée de silice. Le slump est compris entre 20 et 25 cm. L'obtention des résistances au jeune âge nécessaires pour le décoffrage et la manutention est ce qui a conduit le chantier vers cette formulation qui, au demeurant, permet de faire l'économie d'un poste d'étuvage.

FIGURE 9

5.3 Liaison Ré-Continent

Il s'agit d'une réalisation prestigieuse pour laquelle la préfabrication à terre des voussoirs se fait à la cadence exceptionnellement élevée de 7 à 8 unités par jour (1 unité = env. 40 m³).

Le béton avec 400 kg de CPA55 et 30 kg de fumée de silice permet d'obtenir pour un slump voisin de 16 cm et sans étuvage 22 MPa à 15 h, 50 MPa à 7 jours et plus de 65 MPa à 28 jours.

6. CONCLUSIONS

L'expérience et le vécu sur nos chantiers nous ont appris et confirmé qu'il est possible, de manière industrielle, de produire en quantité du béton à hautes performances. Ces valeurs acquises à ce jour en production (28 jours) sont encore modestes (65-80 MPa) mais ne figuraient pas dans nos objectifs sur ces chantiers où nous recherchions une performance à court terme.

Pour ce qui concerne le comportement tant mécanique que d'un point de vue de vieillissement de ces bétons et des structures dont ils sont partie intégrante, l'ensemble des essais nous ont montré un accroissement qualitatif du matériau et des réactions tout à fait prévisibles.