

**Zeitschrift:** Bulletin du ciment  
**Band:** 58-59 (1990-1991)  
**Heft:** 21

**Artikel:** De la classification des bétons à haute résistance  
**Autor:** Meyer, Bruno  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-146250>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.11.2024

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

# BULLETIN DU CIMENT

SEPTEMBRE 1991

59e ANNEE

NUMERO 21

## De la classification des bétons à haute résistance

La résistance en tant que grandeur de référence. Une proposition de classification. Méthodes d'essai et exemple de conversion. Construire sur des bases connues.

Les résistances du béton de construction sont généralement de 30 à 50 N/mm<sup>2</sup>. Les mélanges avec des valeurs supérieures se situent au-delà de ce que l'on conçoit ordinairement, car, dans la pratique, ils ne sont utilisés que dans des cas spéciaux. L'exposé qui suit doit fournir des repères permettant de classer les données concernant des ouvrages réalisés ou des essais de laboratoire, et également démontrer que le domaine des bétons à haute résistance est aussi structuré.

### La résistance en tant que grandeur de référence

Pour qu'un ouvrage puisse répondre aux exigences posées, il doit toujours – soumis aux sollicitations prévues – témoigner des propriétés stipulées. Et la caractéristique la plus importante de ses éléments porteurs est bien leur résistance. Le béton a pour particularité qu'une résistance accrue améliore également d'autres de ses propriétés (pas toutes cependant!). Résultat de ce parallélisme, la résistance a souvent servi par le passé d'unique grandeur caractéristique. Bien qu'elle ne représente qu'une partie de la qualité du matériau, on pensait qu'elle suffisait pour satisfaire à l'ensemble des exigences (résistance érigée en principe). Mais un principe aussi exclusif peut être lourd de conséquences, et c'est pourquoi les propriétés d'un matériau de construction doivent toujours satisfaire aux exigences, aussi bien prises séparément que dans leur ensemble.

Dans les normes, les bétons sont classifiés par le biais d'indications combinant masse volumique apparente et résistance à la compression. La masse volumique apparente permet de distinguer entre

2 béton léger, béton normal et béton lourd. Le béton léger et le béton lourd étant moins fréquemment utilisés, la classification selon la masse volumique apparente est d'importance secondaire. Le béton normal est en outre simplement désigné par béton. Les classes de béton sont ainsi le plus souvent des classes de résistance, et elles ne désignent pas avec suffisamment de précision la qualité du béton. En présence de problèmes complexes, il ne suffit pas par exemple de mettre en soumission ou d'offrir une classe de béton supérieure (voir BC 19/1989). Pour accroître la qualité d'un béton, c'est de ses *performances* qu'il faut s'occuper. Cette question sera traitée dans un prochain Bulletin du ciment.

Par béton à haute résistance, on entend un béton d'une résistance à la compression sur cube moyenne supérieure à  $60 \text{ N/mm}^2$  à 28 jours [1]. Ce béton n'est pas mentionné spécialement dans les normes. Les normes se limitent au béton ordinaire et fixent les classes de résistance comme suit:

- Norme SIA 162: B 25/15 à B 45/35 et suivants, gradués de 5 en 5  $\text{N/mm}^2$ , sans limite supérieure,
- DIN 1045: B 5 à B 55, gradués de 5 en 5 ou 10 en 10  $\text{N/mm}^2$ ,
- ENV 206: C 12/15 à C 50/60, avec diverses graduations,

les influences de conditions d'essai différentes étant en outre à prendre en considération. S'il n'y avait plus de classes de béton au-delà de  $60 \text{ N/mm}^2$ , on pourrait s'imaginer qu'une graduation est dans ce domaine arbitraire ou superflue, ou même inconnue. Mais la technologie du béton démontre que pour les bétons à haute résistance également, des domaines partiels sont encore à différencier. Alors qu'il est possible, dans les rudes conditions des chantiers, d'obtenir sans matériaux ou appareils vraiment spéciaux des résistances allant jusqu'à  $90 \text{ N/mm}^2$ , il semble que les résistances dépassant  $150 \text{ N/mm}^2$  ne soient pas encore accessibles pour le béton de construction. C'est pourquoi il est judicieux de graduer ce domaine à l'aide d'une classification, et de tester ensuite chacun des domaines partiels quant à ses performances.

En s'occupant des bétons à haute résistance, on accède en même temps au domaine des hautes performances. Si la classification se fait alors tout de même en fonction de la résistance uniquement, ce ne sera pas là un retour à la résistance érigée en principe, car cette façon de procéder implique que l'on ne considère pas la résistance comme caractéristique unique, mais comme grandeur de référence parmi toutes les autres propriétés du béton durci. Ce sera donc une graduation servant à délimiter un champ, avec laquelle les autres graduations (maniabilité, porosité, etc.) pourront être mises en rapport, et au besoin complétées.

### 3 Une proposition de classification

Toute fabrication de béton a pour base un projet de mélange devant permettre de définir une formule de béton utilisable. A cet effet, les grandeurs technologiques sont habituellement réduites en facteur  $e/c$  dans une première approximation. Il se révèle alors que la résistance augmente lorsque le facteur  $e/c$  diminue (loi d'*Abrams* [2]). Le facteur  $e/c$  ne peut être abaissé qu'en réduisant la teneur en eau ou en augmentant le dosage en ciment, voire les deux. On devra cependant rester dans les limites déterminées par l'hydratation et la maniabilité. Pour le béton ordinaire, elles se situent entre 0,40 et 0,50.

Pour fabriquer un béton à haute résistance, on cherchera à obtenir un facteur  $e/c$  se situant entre 0,40 et 0,20, ce qui n'est possible qu'avec des adjuvants. Ainsi que le démontre la technologie en cause, en dehors du facteur  $e/c$ , d'autres grandeurs exercent une influence: emploi de fumée de silice, propriétés des granulats, compatibilité des additifs et du ciment, technique de malaxage, etc. Il en résulte une graduation qualitative, qui peut être utilisée pour subdiviser le domaine de résistance supérieur. *P.-C. Aitcin* propose de l'employer pour la classification des bétons à haute résistance (voir tab. 1). Chacune des classes couvre un domaine de résistance de  $25 \text{ N/mm}^2$  et est en outre caractérisée par le facteur  $e/c$ , le dosage en ciment, les granulats (diamètre maximum du grain, résistance) et les additifs.

Selon l'article publié dans le BC no 5/84 [1] sur le «Chicago Mercantile Exchange Center», le béton des piliers intérieurs et des parois raidissantes de cet édifice est à ranger dans la classe I, et celui expérimenté pour les piliers principaux dans la classe II du tableau 1. Les valeurs techniques maximales utilisées jusqu'à présent en construction viennent de Seattle, USA ( $f_{cm} = 131 \text{ N/mm}^2$ ,  $e/c = 0,22$ , donc classe III). Les limites technologiques de l'augmentation de la résistance sont ainsi démontrées.

#### Méthodes d'essai et exemple de conversion

La proposition susmentionnée provenant d'Amérique du Nord, il est nécessaire de donner quelques indications sur les conditions d'essai. En Suisse, la résistance est déterminée sur cube de 200 mm d'arête à l'âge de 28 jours. La prénorme européenne pour le béton (ENV 206) prescrit des cylindres de 150 mm de diamètre et 300 mm de hauteur ou des cubes de 150 mm d'arête. Pour diverses raisons, ce procédé ne convient que sous réserve pour les bétons à haute résistance. Il faudra donc d'abord se mettre d'accord sur la méthode.

Tableau 1 Classification des bétons à hautes résistances. Proposition de P.-C. Aïtcin (1989), [3]

Classe	Résistance en compression <sup>1)</sup> $f_{cm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Composition du mélange				Remarques
		Rapport e/c Liants (kg/m <sup>3</sup> )	Adjuvants	Ajouts		
I	75 (62–88)	0,30–0,40 400–580	Superfluidifiant	pas nécessaires, sauf pour réaliser des économies		Cette classe peut être obtenue n'importe où, si l'on est capable de diminuer le rapport e/c entre 0,3 et 0,4. Pas nécessaire d'utiliser un ciment spécial. Aggrégats courants. Béton à l'air occlu seulement dans des cas spéciaux.
II	100 (88–112)	0,25–0,30 450–580	Superfluidifiant avec ou sans retardeur afin de contrôler l'affaissement (total env. 6–16 l/m <sup>3</sup> ). Entraîneurs d'air actuels pas appropriés	Fumée de silice, laitiers		Contrôles des combinaisons liants/adjuvants/additifs. Granulats concassés les plus cubiques d'un diamètre maximal de 12 mm. Résistance au gel est possible sans entraîner de l'air. Faire attention au transport de l'usine au chantier.
III	125 (112–138)	0,20–0,25 > 500	Très hauts dosages en superfluidifiants et retardeurs	Fumée de silice (moins de 10%)		Tous les ingrédients doivent être d'une qualité exceptionnelle. Techniques de malaxage très efficaces et contrôle de qualité d'un très haut degré. Tenir compte de la résistance exigée visée à 1 ou 2 jours.
IV	> 150	< 0,20 > 500	25% env. d'additifs (par rapport à la masse de ciment utilisée)			Plutôt un mortier. A ce jour fabriqué seulement en laboratoire. (Danemark: Aalborg Ciment 1981: 280 N/mm <sup>2</sup> , e/c=0,16, aggrégats artificiels de 4 mm de diamètre maximal).

<sup>1)</sup> La résistance en compression est mesurée sur des cylindres ( $\varnothing=100$  mm, h=200 mm) à 91 jours. Est indiquée la portée des valeurs moyennes pour chaque classe. Exemple: Un béton à  $f_{cm}=105$  N/mm<sup>2</sup> appartient à la classe II.

Le rapport e/c est calculé comme liquidité (eau + eau des adjuvants) sur liants.

Additifs = adjuvants + ajouts

## 5 Exemple pour le calcul de la caractéristique $f_c$

*Donné:* béton à haute résistance. Résistance à la compression moyenne  $f_{cm} = 80$  MPa après 91 jours. Ecart-type  $S = 3,5$  MPa. Coefficient de variation: 4,4% (bon). Eprouvettes: cylindres  $\varnothing 100$  mm, hauteur 200 mm, confectionnés séparément.

*Cherché:* caractéristique  $f_c$  pour le calcul statique.

Selon la norme SIA 162, la caractéristique  $f_c$  est de  $= 0,65 \times f_{c, \min(\text{cube})}$ .  $f_{c, \min(\text{cube})}$  est la valeur minimale de la résistance sur cube ( $200 \times 200$  mm) et se calcule à partir de la valeur moyenne comme suit:

$$f_{c, \min} = f_c - 2S$$

Les bétons à haute résistance étant testés sur cylindre, ces valeurs sont

à convertir comme suit:

– influence du diamètre du cylindre:

$$f_{c(\text{cyl } 100)} = 1,06 f_{c(\text{cyl } 150)}$$

– influence de la forme (cylindre au lieu de cube):

$$f_{c(\text{cube } 200)} = 1,18 f_{c(\text{cyl } 150)}$$

Donc:

$$f_{c(\text{cube } 200)} = 1,18 : 1,06 f_{c(\text{cyl } 100)} = 1,11 f_{c(\text{cyl } 100)}$$

Exemple numérique:

$$f_{c, \min(\text{cyl } 100)} = 80 - 2 \times 3,5 = 73 \text{ MPa}$$

$$f_{c, \min(\text{cube } 200)} = 1,11 \times 73 = 81 \text{ MPa}$$

$$f_c = 0,65 \times 81 = 53 \text{ MPa (après 91 jours)}$$

(Unités de mesure: 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>; 1000 Psi = 6,9 N/mm<sup>2</sup>)

---

En Amérique du Nord, la tendance est de prendre comme valeur caractéristique *pour les bétons à haute résistance* la résistance à la compression déterminée sur des cylindres de 100 mm de diamètre et 200 mm de hauteur à l'âge de 91 jours. Les arguments avancés pour justifier l'âge plus élevé sont que les additifs contribuent à développer la résistance, mais réagissent plus lentement que le ciment, et que pour ce genre de constructions, la pleine charge ne se manifeste de toute façon pas avant 91 jours. En procédant aux essais plus tôt, on se priverait donc d'une part appréciable des valeurs pouvant être atteintes. Cela ne signifie toutefois pas que le développement initial de la résistance ne doit pas également être pris en considération (p. ex. pour le décoffrage, l'état de l'avancement des travaux, etc.).

On a choisi la forme cylindrique parce que les éprouvettes sont ainsi plus faciles à préparer. Le diamètre réduit (100 au lieu de 150 mm) a pour but de permettre des dispositifs d'essai plus petits. Pour les bétons à haute résistance également, les machines doivent témoigner d'une capacité de 1,5 fois la charge de rupture et d'une rigidité suffisante, de sorte que toute réduction des cylindres est souhaitable. Ainsi que l'ont démontré diverses mesures comparatives, on

6 obtient avec des cylindres plus petits des valeurs plus élevées. Le rapport a été prouvé avec  $f_{c, \text{cyl } \varnothing 100} = 1,06 \times f_{c, \text{cyl } \varnothing 150}$  [4]. Ce facteur varie entre 1,00 et 1,16, indépendamment du fait que l'on mesure dans le domaine de résistance supérieur ou inférieur. Pour les cas d'espèce, il doit être déterminé par des essais préalables (voir p. ex. dans 5).

A des fins de comparaison par le calcul, on peut dériver la résistance à la compression sur cube de la résistance à la compression sur cylindre comme suit:  $f_{c, \text{cube } 200} = 1,18 f_{c, \text{cyl } 150}$  (DIN 1045, 7.4.3). Un exemple de conversion figure en page 5.

## Progresser en construisant sur des bases connues

Les bétons à haute résistance sont demandés principalement pour les buildings, puis pour les tours et les ponts. Pour une plus large application, on manque de connaissances universellement valables concernant les grandeurs de statique du bâtiment telles que résistance à la traction, module d'élasticité, fluage, retrait et sécurité. On ne peut pas extrapoler sans réserve sur des domaines de résistance supérieurs les indications que donnent les normes à ce sujet. Pour ce qui est de la fabrication du béton, la tendance mentionnée dans le BC 15/79 [1] se confirme, ainsi que le montrent des exemples d'ouvrages exécutés. Mais ces réalisations exigent *plusieurs années de préparation*, avec essais en laboratoire et sur le terrain. Ces travaux préliminaires seront facilités si l'on améliore les connaissances des divers aspects du travail quotidien avec le béton, et si l'on peut ensuite construire sur ces bases.

Bruno Meyer  
ing. dipl. EPF

## Bibliographie

- [1] «Bulletins du ciment» parus jusqu'à présent avec pour sujet «Les bétons à haute résistance»: No 7/1970; No 15/1979; No 5/1984
- [2] Trüb, U. (1978): «Le facteur eau : ciment». «Bulletin du ciment» No 7
- [3] Aïtcin, P.-C. (1989): «Les bétons à très haute résistance». Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, No 162, juillet-août, p. 55–60
- [4] Lessard, M.; Aïtcin, P.-C. (1990): «Comment tester les B.H.P.». Dans: Malier, Y.: Les bétons à hautes performances. Paris: Presses ponts et chaussées
- [5] Howard, N.L.; Leatham, D.M. (1989): «The Production and Delivery of High-Strength Concrete». Concrete Journal, vol. 11, No 4, avril, p. 26–30

Traduction française: Liliane Béguin

**TFB**

Pour tous autres renseignements s'adresser au  
SERVICE DE RECHERCHES ET CONSEILS TECHNIQUES  
DE L'INDUSTRIE SUISSE DU CIMENT WILDEGG/SUISSE  
Case postale 5103 Wildegg Téléphone 064 57 72 72  
Lindenstrasse 10 5103 Wildegg Téléfax 064 53 16 27