



QUELQUES CONSEILS PRATIQUES POUR PRODUIRE DU BETON À HAUTE RESISTANCE

A. BENMARCE, M. GUENFOUD

Département de Génie Civil, Faculté des Sciences et de l'Engineering,
Université du 8 Mai 1945 Guelma, Algérie

F. A. Ali, A. NADJAI

University of Ulster, Jordanstown, Newtownabbey, BT37 0QB, Belfast, Ireland du
Nord

Résumé

Le béton à haute résistance (angl. High Strength Concrete) se distingue au moins par quelques propriétés remarquables par rapport au béton standard, que ce soit en matière de résistance à la compression, d'étanchéité, d'ouvrabilité etc. Produire du béton à haute résistance demande beaucoup d'attention et de soins aux proportions des constituants mises en oeuvre. Des mesures importantes pouvant faciliter la production du béton à haute résistance, ont été identifiées. Les effets de la fumée de silice et de l'âge sur les propriétés du béton à haute résistance ont été étudiés. Les proportions du gâchis résultent de plus de 15 mélanges différents de béton à haute résistance. La courbe contrainte-déformation, obtenu à partir de la détermination du module de Young est présentée. Cette étude réalisée sur plus d'une centaine d'éprouvettes, a montré que le béton à haute résistance entre le 7^{ème} jour et le 28^{ème} jour de sa production a développé une augmentation de résistance entre 9% et 36%, dépendant du type de mélange. Elle a montré aussi l'ajout de fumée de silice a augmenté sa résistance et que le rapport E/C entre 0.2 et 0.35 peut conduire à la production du béton à haute résistance sous certaines conditions.

Mots-clés: Béton à haute résistance, résistance à la compression, fumée de silice, super fluidifiant, proportions du mélange.

Abstract :

High Strength Concrete offers significant advantages over normal strength concrete in terms of compressive strength, watertightness, workability etc... Producing high strength concrete requires more care in preparing, mixing, compacting and placing than normal concrete. Important measures in producing HSC were identified. The effect of silica fume and the age on the HSC properties were studied. The paper reports on the proportions of 15 mixes used in the trials. The stress-strain curve obtained from Young modulus is shown. Over a hundred specimens were used in this study, showed good strength development of 9%-36% between the 7th day to the 28th day depending on the mix proportions. The use of silica fume has improved the concrete strength and the water-cement ratio between (0.2-0.35) can lead to the production of HSC unless some conditions are satisfied.

1. Introduction

Durant les deux dernières décennies; l'utilisation du béton à haute résistance est en constante augmentation. L'avantage principal de son utilisation vient du fait de la réduction de la section des éléments structuraux, par conséquent son poids propre et particulièrement dans les structures élancées. Certains chercheurs [1,2] ont développés des bétons dont la résistance à la compression pouvant atteindre les 200 N/mm². Il faut dire que les bétons à 200 N/mm² sont fabriqués principalement dans des laboratoires sous certaines conditions, tandis que les béton

à 120 N/mm^2 sont largement produits en chantiers [3,4]. Quoique l'utilisation du béton à haute résistance reste limitée. Cette limitation est liée aux conditions particulières et d'adjonction de certains composants. Produire du béton à haute résistance demande plus d'attention dans la préparation, le malaxage et le compactage que le béton ordinaire [5,6,7,8,9]. Les auteurs de cet article ont commencé un projet sur le comportement des poteaux en béton à haute résistance soumis au feu, beaucoup de temps et d'efforts ont été consacrés à l'étude et à la production du béton à haute résistance [10].

L'objectif de ce travail est donc de donner quelques indications pour produire du béton à haute résistance ($60 \leq f_c \leq 110 \text{ N/mm}^2$), pouvant intéresser l'ingénieur ainsi que le chercheur travaillant dans ce domaine. Les essais ont été réalisés sur 15 mélanges différents.

2. Le béton à haute résistance

Les exigences auxquelles doit satisfaire un béton à hautes performances par rapport à un béton ordinaire sont sensiblement plus élevées pour ce qui concerne la qualité des composants du béton et du coffrage, la nature et la fréquence de contrôle du béton frais ainsi que la formation du personnel. Dans le processus de fabrication du béton à haute résistance, il est indispensable de réduire le rapport Eau/Ciment. Ce rapport varie de 0.4 à 0.7 pour le béton ordinaire et 0.2 à 0.35 pour le béton à haute résistance. De tel rapport réduit fait que le mélange soit sec, dur et très difficile à malaxer. Pour augmenter son ouvrabilité, un super fluidifiant est à ajouter au gâchis. Ce super fluidifiant facilite le processus de malaxage, de compactage ainsi que sa mise en œuvre dans les moules.

2.1 Le super fluidifiant

Dans les mélanges de béton à haute résistance, il est préférable d'utiliser un super fluidifiant. Cet adjuvant, a un très

fort pouvoir défloculation des grains de ciment et des ultrafines. Il limite le bullage et améliore le parement des bétons. Ce plastifiant réducteur d'eau est un polymère de synthèse qui se présente sous la forme d'un liquide est ajouté en même temps que l'eau de gâchage. Il existe trois types de liquide super fluidifiant: à base de Lignosulfonate, Melaine sulfonate et Naphtalène formaldéhyde. Ce dernier peut être à base de sel soit de calcium ou bien de sodium. Il a été montré que celui basé sur du sodium donnait une bonne ouvrabilité, sans effets secondaires, qui s'accompagne avec le fluidifiant à base de calcium. Ce dernier est souvent utilisé dans les cas des agrégats à réaction alcaline [1]. La dose du super fluidifiant utilisée dans le mélange est limitée à 2.5% pour optimiser l'augmentation de l'ouvrabilité tout en maintenant la résistance du béton.

2.2 Les granulats fins, les gros granulats et leurs dosage

L'autre paramètre crucial dans le mélange de béton à haute résistance est le rapport des gros granulats sur les granulats fins. Pour produire le béton à haute résistance il est conseillé d'utiliser un rapport de gros granulats sur granulats fins dans la région 2/1. La grosseur des granulats dans le béton influe d'une manière significative sur la résistance en compression [2]. Autres facteurs tels que la forme et la taille des agrégats peuvent effectivement affecter la résistance du béton [1]. Dans ce travail de recherche le sable de rivière et du basalte écrasé gros granulats (taille maximale 10mm) ont été utilisés. D'autres types de granulats tel que le granite, peut être utilisé. Il est recommandé d'utiliser dans le mélange, les granulats ayant une surface sèche; ce qui va garantir un meilleur contrôle de l'eau du gâchage.

2.3 Fumée de Silice

Ce produit est d'habitude utilisé dans le béton pour augmenter la résistance à la compression du béton. [9,1]. La fumée de Silice est un sous-produit de la production

du silice ou d'alliages de silice, peut être sous forme de poudre ou bien de pâte. La poudre de couleur grise, est facile à manipuler et malaxer. La fumée de silice peut remplacer le ciment, il suffit d'une part de fumée de Silice pour remplacer 4 parts de ciment tout en maintenant la quantité d'eau constante [9]. La fumée de silice peut être utilisée dans différents dosages entre 1 et 20% du poids du ciment. Dans cette étude, le dosage utilisé dans le mélange était de 10%.

3. Le malaxage du béton à haute résistance

L'utilisation du malaxeur est impérative dans sa production du béton à haute résistance. Un malaxeur de 120 litres a été utilisé pour mélanger le béton. Un mélange à sec de ciment, granulats, fumée de silice pendant 2.5 minutes, ensuite la solution de super fluidifiant a été ajoutée, le tout, malaxé encore pendant 2.5 minutes.

Dans le cas de malaxeur peu puissant ou d'une capacité réduite, un autre moyen peut être utilisé en ajoutant en premier lieu la solution de super fluidifiant dans le ciment ensuite on ajoute les granulats au mélange [2,6].

4. Compaction

Les auteurs ont trouvé que le compactage peut être le problème clef dans la production du béton à haute résistance. Avec une telle ouvrabilité, le compactage demande beaucoup d'attention. Un vibreur à aiguille a été utilisé pour compacter les 28 litres de béton à haute résistance placé dans un moule en acier.

5. Le gâchis

Quoique le béton à haute résistance, défini comme un béton ayant une résistance supérieure à 60 N/mm^2 , il était prévisible de produire dans cette étude un béton de $90\text{-}110 \text{ N/mm}^2$ à 28 jours. Le super fluidifiant utilisé dans le mélange était du Naphtalène Formaldéhyde (à base de sodium). La fumée de Silice a été ajoutée au mélange. Le mélange de béton était produit en deux groupes :

a) **Le premier groupe** contient 185 litres d'eau dans un mètre cube de béton. Ce groupe a été divisé en deux sous groupes. Le premier sous groupe 1-A contenait de la fumée de silice avec un dosage égal à 10% du poids du ciment. Le second groupe sous 1-B était sans fumée de silice. Les résultats de la résistance à la compression du premier sous groupe à 7 jours et à 28 jours sont montrés sur le Tableau 1. Les résultats du second sous groupe 1-B qui était sans fumée de silice sont montrés sur le Tableau 2. Les tableaux montrent aussi les valeurs du facteur de compactage comme mesure d'ouvrabilité. En examinant ces résultats, l'ajout de la fumée de silice dans le mélange a augmenté la résistance du béton avec les différentes valeurs du rapport Eau/Ciment (voir Fig. 1).

b) **Le second groupe** contenait un maximum de 145 litres/ m^3 d'eau. Ces mélanges ont été réalisés afin d'avoir un rapport Eau/Ciment variant de 0.2 à 0.3. Trois cubes ont été testés à l'âge de 7 jours et trois autres testés à l'âge de 28 jours. Le sommaire des éprouvettes et leurs résultats est montré sur le Tableau 3. La résistance du béton entre le 7^{ème} jour et le 28^{ème} jour a augmenté de 9% à 36% (voir Fig. 2).

6. Le module deYoung du béton à haute résistance

L'éprouvette numéro 15 a été testée pour déterminer le module deYoung en accord avec le BS 1881: Part 12 : 1983. Trois cylindres de dimensions 150x300 mm ont été testés à 28 jours. La Figure 3 montre la courbe contrainte déformation des trois cylindres testés à 25% de leurs résistance à la compression. La valeur moyenne du module d'Young à l'âge de 28 jours était égale à 41.6 N/mm^2 .

7. Résultats et conclusions

1. Le facteur clef dans la production du béton à haute résistance est l'utilisation d'un rapport Eau/Ciment réduit (0.2-0.35). Les bétons à très haute résistance peuvent être obtenus avec moins d'eau ($\leq 140 \text{ l/m}^3$).
2. Pour augmenter l'ouvrabilité du mélange il est recommandé d'ajouter un super fluidifiant.
3. Le rapport gros granulats sur fins granulats doit être autour de 2.
4. Le compactage externe est le moyen le plus efficace. Le facteur de compactage est moins efficace pour déterminer l'ouvrabilité du béton, il est donc préférable de développer des méthodes appropriées.
5. En fonction des proportions dans les m à langes, les bétons à très haute résistance ont montrés une augmentation de 9% à 36% entre le 7^{ème} jour et le 28^{ème} jour.
6. L'ajout de la fumée de silice a augmenté la résistance à la compression du béton.

6. Références

1. Shah S.P, et Ahmed S.H. "*High Performance concrete and applications*". Edward Arnold publishing, 1996
2. Mak S.L et Sanjayan G. "*Mix proportions of very high strength concretes*". National Conference publication-Institution of Engineers, Australia, 1990, No.90, pt10, pp 127-130
3. Talor M.R., Lydon F. D., et Barr. B.I.G. "*Mix proportions for high strength concrete*". Construction and building materials. **Vol.10**, No.6, pp.445-450, 1996.
4. Larrad F. "*A method for proportioning high strength concrete Mixtures*". Cement, Concrete and aggregates, 1990, **Vol. 12**, No.1, pp47-52
5. Kwan A., Cai Y. et Chan H.C. "*Development of very high strength for Hong Kong. Transactions*" Hong Kong Institution of Engineers, Sep.1995 **Vol.2**, No.2, pp9-16.
6. Domone P.L, et Soutos M. N. "*Properties of high strength concrete mixes containing PFA and ggbs*". Magazine of concrete research, 1995, 47, No.173., 355-367
7. Chan S., Feng N., et Tsang M. "*Workability retention of high strength/superplasticized concrete*". Magazine of concrete research, 1996, 48, No.177., 301-309.
8. Berntsson. L., Chandra S. et Kutti T. "*Principles and factors influencing High strength concrete production*". Concrete International: Design and construction, Dec 1990, **Vol. 12**. No. 12, pp12.59-62
9. "*Guide for the use of silica fume in concrete*". ACI234R-96. Rapport du ACI, committé 234.
10. F. A. Ali, A.Abu-Tair, D.O'Connor, A.Benmarce et A.Nadjai. "*Useful and Practical Hints on the Process of Producing High-Strength Concrete*". ASCE Publication, Practice Periodical on Structural Design and Construction, **Vol. 6**, No. 4, November 2001, pp. 150-153

	Gâchis 1	Gâchis 2	Gâchis 3
Eau(L/m ³)	185	185	185
Ciment (kg/m ³)	832	667	555
Granulats Fins (kg/m ³)	412	472	480
Gros Granulats (kg/m ³)	877	1003	1118
Fumée Silice (kg/m ³)	92	74	61
Superfluidifiant (kg/m ³)	40	27	15.4
Eau/Ciment	0.22	0.27	0.33
Eau/(Ciment+Silice)	0.2	0.25	0.3
Résistance, 7 jours (N/mm ²)	61	59	57
Résistance, 28jours (N/mm ²)	69	68.5	75
Facteur de compactage	0.89	0.89	0.88

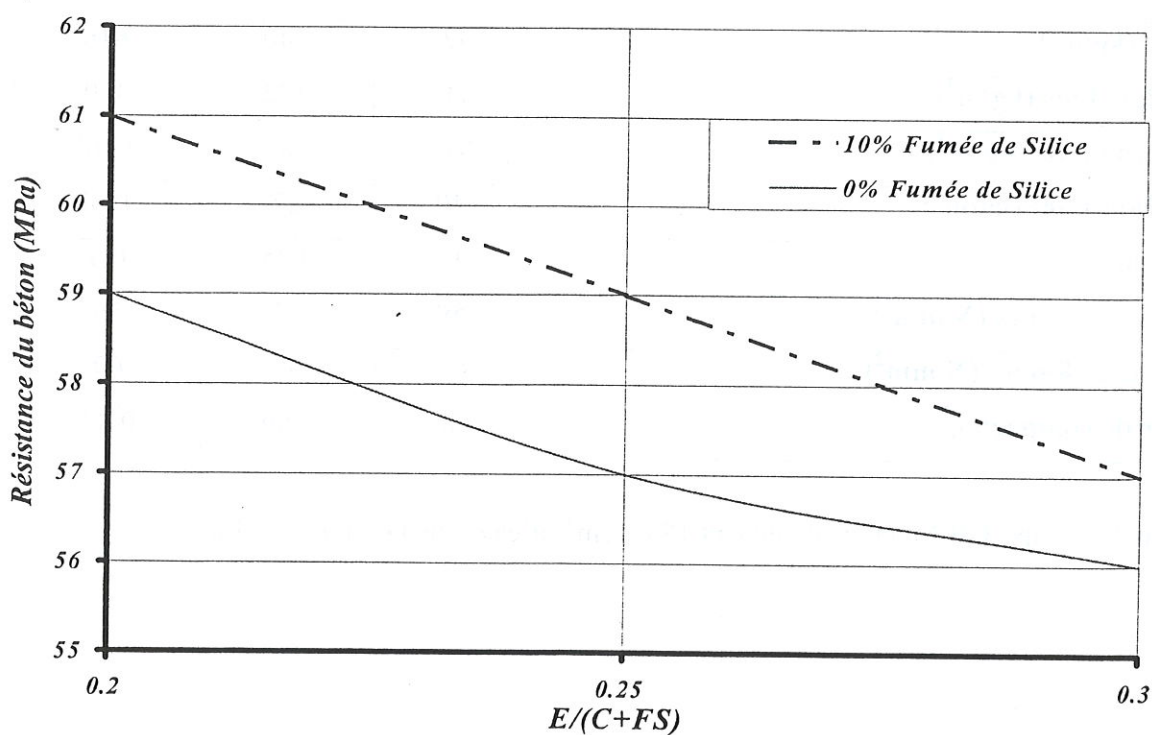
Tableau 1. Groupe 1-A Mélange contenant 185 (L/m³) d'eau avec de la fumée de silice

	Gâchis 4	Gâchis 5	Gâchis 6
Eau(L/m ³)	185	185	185
Ciment (kg/m ³)	924	740	616
Granulats Fins (kg/m ³)	412	472	480
Gros Granulats (kg/m ³)	877	1003	1118
Superfluidifiant (kg/m ³)	40	27	15.4
Eau/Ciment	0.2	0.25	0.3
Résistance, 7 jours (N/mm ²)	59	57	56
Résistance, 28jours (N/mm ²)	65	68	69
Facteur de compactage	0.87	0.89	0.89

Tableau 2. Groupe 1-B Mélange contenant 185 (L/m³) d'eau sans la fumée de silice

	G. 7	G. 8	G. 9	G.10	G.11	G.12	G.13	G.14	G.15
Eau(L/m ³)	143	136	142	144	144	121	141	125	130
Ciment (kg/m ³)	565	487	449	469	468	508	402	545	447
Granulats Fins (kg/m ³)	589	640	599	621	778	649	710	589	672
Gros Granulats (kg/m ³)	1071	1169	1278	1198	1035	1088	1185	1103	1098
Fumée de Silice (kg/m ³)	87	-	40	62	92	54	44	52	44
Superfluidifiant (kg/m ³)	20	15	12.5	14	13	18	10	18	15
Eau/Ciment	0.25	0.28	0.316	0.30	0.3	0.24	0.35	0.23	0.29
Eau/(Ciment+Silice)	0.22	0.28	0.29	0.27	0.27	0.21	0.31	0.21	0.26
Résistance, 7 jours (N/mm ²)	86	80	66.3	64.4	66	88	77	88	86
Résistance, 28 jours (N/mm ²)	94	92.4	85.5	85	90.6	105	98	108	106
Facteur de compactage	0.88	0.89	0.90	0.88	0.89	0.88	0.90	0.88	0.90

Tableau 3. Groupe 2 Mélange contenant moins de 145 (L/m³) d'eau



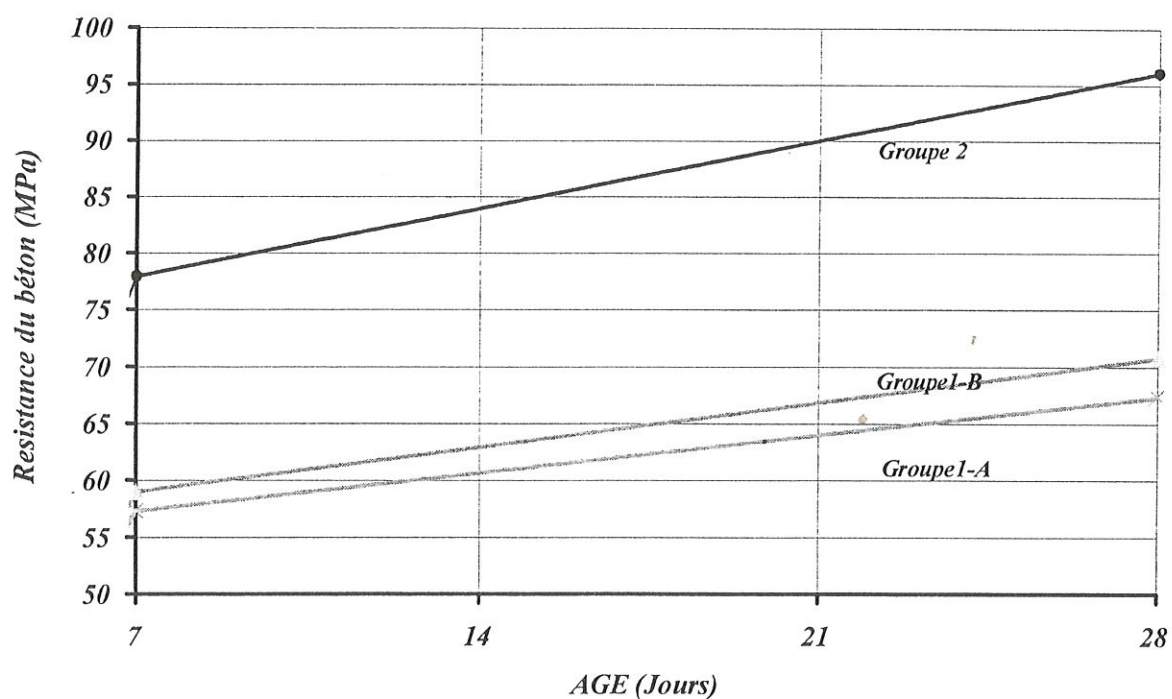


Figure 1. Effet de la Fumée de Silice sur la résistance du béton à haute résistance

Figure 2. Résistance de béton à haute performance en fonction de l'âge

Remarque: Les valeurs présentées ci-dessus sont des valeurs moyenne des tableaux 1,2 et 3

Figure 3. Courbe Contrainte-Déformation

