

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 640 962

(21) N° d'enregistrement national :

88 17381

(51) Int Cl<sup>5</sup> : C 04 B 28/02, 14/48 (C 04 B 28/02, 14:04,  
14:32).

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 26 décembre 1988.

(71) Demandeur(s) : Société dite : SOGEA. — FR.

(30) Priorité :

(72) Inventeur(s) : Jean-Claude Faure ; François Hanus ; Jacques Thiery.

(43) Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 26 du 29 juin 1990.

(73) Titulaire(s) :

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

(74) Mandataire(s) : Thierry Puit, Centre de Recherches de  
Pont-à-Mousson.

(54) Béton composite à très hautes performances et procédé pour sa mise en œuvre.

(57) Béton composite, du type comprenant un liant hydraulique, des agrégats, de l'eau, des adjuvants et des fibres métalliques, caractérisé en ce qu'il comprend, en parties en poids pour 100 parties de liant hydraulique :

— un liant hydraulique constitué par du ciment (100 parties);

— des agrégats de dureté élevée et de géométrie particu-  
laire, soit ronde, soit angulaire (120 à 200 parties);

— des agrégats de grande finesse (40 à 65 parties);

— de la microsilice (3 à 15 parties);

— de l'eau (25 à 35 parties);

— des adjuvants constitués par des fluidifiants (1,5 à 5  
parties) et un anti-mousse (0 à 0,5 partie);

— des fibres métalliques, à raison de 6 à 15 % en poids

par rapport à la matrice.

Ce béton est apte à limiter la pénétration de projectiles.

FR 2 640 962 - A1

La présente invention est relative à une composition de béton à très hautes performances et à son procédé de mise en oeuvre. Plus particulièrement, elle concerne un béton composite apte à limiter la 5 pénétration de projectiles.

Lorsqu'un projectile de type militaire pénètre dans un matériau à matrice cimentaire, tel que du béton, celui-ci est essentiellement sollicité en traction, en compression et en cisaillement. Lorsque le 10 projectile militaire est une bombe ou un obus perforant, celui-ci peut pénétrer jusqu'à environ 2 m dans du béton ordinaire (type B35), comme celui utilisé traditionnellement en génie civil. Le béton montre alors des décohésions provoquées par le choc, qui 15 génère des propagations d'ondes tant en traction qu'en compression, conduisant ainsi à une explosion de la face arrière du béton (face opposée à celle de l'impact). Ce phénomène est connu sous le nom d'effet de scabbing. Pour y remédier, il faudrait avoir un 20 béton :

- qui présente des propriétés mécaniques aussi élevées que possible avec une excellente résistance à la traction et à la compression ;
- qui peut freiner et limiter le plus possible la 25 propagation des fissures de Hertz (effet de scabbing) ;
- qui absorbe le plus possible l'énergie propre du projectile, en limitant la pénétration ;
- qui doit présenter un comportement pseudo ductile, 30 même après avoir été endommagé par le projectile.

Les matériaux à matrice cimentaire ou bétons de type connu ne satisfont pas à ces conditions, car ils sont à rupture fragile. Une solution consisterait à protéger le béton par un blindage métallique, mais 35 celui-ci serait difficile à mettre en place, à cause de son poids et de l'éventuelle complexité de la forme du

béton à protéger. Il serait également possible d'augmenter l'épaisseur du béton, mais celle-ci deviendrait telle que sa mise en oeuvre se heurterait à de grandes difficultés.

- 5 La présente invention a pour objet une composition de béton qui remédie à ces inconvénients. Ce béton composite à très hautes performances, du type comprenant un liant hydraulique, des agrégats, de l'eau, des adjuvants et des fibres métalliques, est 10 caractérisé en ce qu'il comprend, en parties en poids pour 100 parties de liant hydraulique :
- un liant hydraulique constitué par du ciment (100 parties) ;
  - des agrégats de dureté élevée et de géométrie 15 particulaire, soit ronde, soit angulaire (120 à 200 parties) ;
  - des agrégats de grande finesse (40 à 65 parties) ;
  - de la microsilice (3 à 15 parties) ;
  - de l'eau (25 à 35 parties) ;
- 20 - des adjuvants constitués par des fluidifiants (1,5 à 5 parties) et un anti-mousse (0 à 0,5 parties) ;
- des fibres métalliques, à raison de 6 à 15 % en poids par rapport à la matrice.

L'invention a également pour objet un procédé 25 pour la mise en oeuvre de ce béton, du type suivant lequel les matières sèches sont mélangées dans un malaxeur, puis on ajoute l'eau et les adjuvants, on coule la pâte obtenue pour en faire une pièce qui est démoulée après environ 24 heures de mûrissement et on 30 la soumet à un traitement thermique entre 50 et 60°C à 100 % d'humidité relative, suivi d'un mûrissement à température ambiante puis d'un étuvage sec à une température comprise entre 200 et 250°C.

On obtient ainsi un béton extrêmement résistant 35 à la pénétration de projectiles tout en étant facile à mettre en oeuvre.

Le béton à très hautes performances selon l'invention est constitué de la manière suivante (les quantités étant exprimées en parties pour 100 parties en poids de ciment) :

- 5    a) un liant hydraulique qui est de préférence un ciment de type CPA 55 ou HPR ;
- 10   b) des agrégats de dureté élevée, présentant une géométrie particulière, soit ronde, soit angulaire, à raison de 120 à 200 parties. Ces agrégats peuvent être des alliages métalliques, de dureté au moins égale à  $50 R_C$ , comme l'acier ou la fonte, des oxydes métalliques, ou du carbure de silicium, ces deux catégories ayant une dureté Knoop au moins égale à  $2000 \text{ kg/mm}^2$ . De préférence, parmi les oxydes métalliques, on choisit le corindon. Il est préférable de réunir deux granulométries, même si une seule peut convenir : la première granulométrie est comprise entre 600 et 2 000 microns, la seconde couvrant l'intervalle 70 à 350 microns. Les proportions respectives en poids de ces deux granulométries sont de 60 à 70 % pour la première et de 40 à 30 % pour la seconde. Si une seule granulométrie doit être utilisée, il est préférable qu'elle soit comprise entre 300 et 1 000 microns ;
- 15   c) des agrégats de grande finesse, tels que du corindon, du quartz cristallin broyé, ou du carbure de silicium, à raison de 40 à 65 parties, dont la granulométrie est inférieure à 15 microns ;
- 20   d) de la microsilice, telle que de la silice thermique, de granulométrie inférieure à 5 microns, à raison de 3 à 15 parties ;
- 25   e) de l'eau, entre 25 et 35 parties ;
- 30   f) des adjuvants classiques, tels que fluidifiants ou superfluidifiants, à raison de 1,5 à 5 parties et un anti-mousse, à raison de 0 à 0,5 partie.

Tous ces composants constituent la matrice, à laquelle sont ajoutées des fibres métalliques, à raison de 6 à 15 % en poids par rapport à la matrice. Ces fibres métalliques sont de préférence en acier, et 5 elles présentent un diamètre de 100 à 500 microns et une longueur de 1 à 5 mm. Eventuellement, on peut remplacer 15 à 50 % en poids des fibres d'acier par des fibres de fonte amorphe, telles que celles obtenues suivant le procédé décrit dans le brevet FR 2 500 851.

10 Ces fibres se présentent sous forme de rubans de longueur inférieure à 15 mm. En variante, il est possible d'ajouter des fibres de polypropylène dans des proportions comprises entre 0,1 et 0,5 % en volume de la matrice.

15 Le béton suivant l'invention est obtenu par mélange de toutes les matières sèches dans un malaxeur à haut cisaillement, puis on ajoute l'eau et les adjuvants. On poursuit le malaxage jusqu'à obtenir une parfaite homogénéité de la pâte, qui conduit à la pièce 20 finale par la technique du coulé-vibré en moule. Après le coulage, la pièce est démoulée après environ 24 heures de mûrissement, puis subit un traitement thermique de soit 1 jour à 60°C à 100 % d'humidité relative, soit 2 jours à 50°C, également à 100 % 25 d'humidité relative. La suite du traitement consiste en un mûrissement d'au plus 5 jours à température ambiante sans précaution particulière d'humidité, suivi d'un étuvage sec de 36 heures à au moins 200°C, et de préférence de l'ordre de 205 à 210°C. Il est 30 souhaitable de ne pas dépasser 250°C.

On constate que les propriétés mécaniques, telles que la résistance à la compression et à la flexion, restent inaltérées jusqu'à une température voisine de 300 à 400°C. Le tableau de la page suivante 35 rassemble les résultats avantageux des essais comparatifs subis par trois compositions différentes,

numérotées 1 à 3, du béton suivant l'invention et un béton correspondant au béton classique haut de gamme fabriqué actuellement, dit "béton HP". A titre d'exemple, la résistance à la compression des bétons utilisés couramment dans les grands ouvrages de génie civil varie entre 40 et 60 MPa, et atteint très exceptionnellement 70 MPa.

Dans ce tableau, les proportions des différents constituants sont exprimées en parties en poids pour 100 parties de ciment, à l'exception des fibres métalliques qui sont indiquées en pourcentage en poids par rapport à la matrice.

	Composition 1 : Ciment CPA 55	Composition 2 : Grenaille 300-1 000 $\mu\text{m}$	Composition 3 : Quartz C 600	Béton HP
Ciment CPA 55	100	158	47	100
Grenaille 300-1 000 $\mu\text{m}$			-	158
Quartz C 600			60	*
Quartz C 400		-	-	20,2
Gravier 4/8		-	-	26,6
Sable 0/2		-	-	-
Microsilice	11	14	-	250
Eau	31,6	26,7	-	132,5
Fluidifiants	4,5	3,5	-	5
Antimousse	0,1	0,2	0,1	37,5
Fibres métalliques	11	11	11	-
Cure	1 jour 20°C, 100 % HR + 2 jours 50°C sous eau + 1 jour 200°C sec			28 jours 20°C, 100 % HR
$\sigma_c$ compression ( $\sigma_c$ )	215 MPa	215 MPa	205 MPa	70 MPa
$\sigma_f$ flexion ( $\sigma_f$ )	23,5 MPa	25 MPa	30,8 MPa	5 MPa
$\sigma_f/\sigma_c$	0,109	0,116	0,150	0,071
E/C	0,34	0,34	0,32	0,38

On constate que la composition 3, dont le rapport E/C est très faible, présente une résistance à la compression très améliorée, d'environ 200 MPa, par rapport à 70 MPa pour les meilleurs bétons type HP  
5 utilisés en génie civil. Sa résistance à la flexion est de 30 MPa contre 5 MPa pour les meilleurs bétons HP. De même, l'apport de fibres donne de la ductilité au matériau,  $\epsilon_f$  étant compris entre 1 et 3 pour 1 000 alors que pour un béton sans fibres,  $\epsilon_f$  est  
10 généralement voisin de 0,1 à 0,5 pour 1 000, où  $\epsilon_f$  représente l'allongement à la rupture en flexion.

De plus, le rapport de la résistance à la flexion  $\sigma_f$  à la résistance à la compression  $\sigma_c$  doit être le plus élevé possible : l'amélioration obtenue  
15 grâce à l'invention est d'au moins 50 % et même de l'ordre de 100 % pour la composition 3.

## REVENDICATIONS

- 1.- Béton composite à très hautes performances, du type comprenant un liant hydraulique, des agrégats, de l'eau, des adjuvants et des fibres métalliques, 5 caractérisé en ce qu'il comprend, en parties en poids pour 100 parties de liant hydraulique :
- un liant hydraulique constitué par du ciment (100 parties) ;
  - des agrégats de dureté élevée et de géométrie 10 particulaire, soit ronde, soit angulaire (120 à 200 parties) ;
  - des agrégats de grande finesse (40 à 65 parties) ;
  - de la microsilice (3 à 15 parties) ;
  - de l'eau (25 à 35 parties) ;
- 15 - des adjuvants constitués par des fluidifiants (1,5 à 5 parties) et un anti-mousse (0 à 0,5 parties) ;
- des fibres métalliques, à raison de 6 à 15 % en poids par rapport à la matrice.
- 2.- Béton composite suivant la revendication 1, 20 caractérisé en ce que les agrégats de dureté élevée sont choisis parmi des alliages métalliques de dureté au moins égale à  $50 R_C$ , des oxydes métalliques ou du carbure de silicium, ces deux catégories ayant une dureté Knoop au moins égale à  $2000 \text{ kg/mm}^2$ .
- 25 3.- Béton composite suivant la revendication 2, caractérisé en ce que les agrégats de dureté élevée présentent deux granulométries, la première étant comprise entre 600 et 2 000 microns, la seconde couvrant l'intervalle 70 à 350 microns.
- 30 4.- Béton composite suivant la revendication 3, caractérisé en ce que les proportions respectives en poids des deux granulométries d'agrégats sont de 60 à 70 % pour la première et de 40 à 30 % pour la seconde.
- 35 5.- Béton composite suivant la revendication 2, caractérisé en ce que les agrégats de dureté élevée ont une granulométrie comprise entre 300 et 1 000 microns.

6.- Béton composite suivant la revendication 1, caractérisé en ce que les agrégats de grande finesse sont choisis parmi le corindon, le quartz cristallin broyé ou le carbure de silicium, leur granulométrie 5 étant inférieure à 15 microns.

7.- Béton composite suivant la revendication 1, caractérisé en ce que les fibres métalliques sont en acier, de diamètre compris entre 100 et 500 microns et de longueur comprise entre 1 et 5 mm.

10 8.- Béton composite suivant la revendication 7, caractérisé en ce que 15 à 50 % en poids des fibres d'acier sont remplacées par des fibres de fonte amorphe.

9.- Procédé pour la mise en oeuvre du béton 15 suivant l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les matières sèches sont mélangées dans un malaxeur, puis on ajoute l'eau et les adjuvants, on coule la pâte obtenue pour en faire une pièce qui est démoulée après environ 24 heures de 20 mûrissement et on la soumet à un traitement thermique entre 50 et 60°C à 100 % d'humidité relative, suivi d'un mûrissement à température ambiante puis d'un étuvage sec à une température comprise entre 200 et 250°C.

25 10.- Procédé suivant la revendication 9, caractérisé en ce que le traitement thermique est effectué pendant 1 jour à 60°C;

11.- Procédé suivant la revendication 9, caractérisé en ce que le traitement thermique est 30 effectué pendant 2 jours à 50°C.

12.- Procédé suivant la revendication 9, caractérisé en ce que le mûrissement à température ambiante dure au plus 5 jours.

13. Procédé suivant la revendication 9, 35 caractérisé en ce que l'étuvage sec s'effectue à une température comprise entre 205 et 210°C.