

Décarboner la filière béton

Le recours à des bétons hautes et ultrahautes performances (BHP/BUHP) permet d'affiner la section des éléments d'ouvrage et donc le volume de matériaux nécessaires à leur construction. Ces bétons présentent par ailleurs une durabilité accrue et des caractéristiques fonctionnelles améliorées, permettant par exemple de se passer de revêtements d'étanchéité. Ils concourent à l'optimisation des structures et permettent ainsi de réduire la consommation de ressources et les émissions de CO2 qui y sont liées. 4^e épisode de l'article « Décarboner la filière béton : un coup dans l'aile du colibri ».

FLOWSTONE et NANODUR COMPOUND sont des liants hydrauliques prémélangés pour la confection de bétons BHP/BUHP autocompactants. Ils sont composés de fractions de ciment normal et de ciment ultrafin ainsi que d'additions de fines issues de sable de quartz. NANODUR COMPOUND bénéficie par ailleurs d'une activation par addition de silices synthétiques. Il ne contient que 59% de fractions cimentaires dont une partie seulement est constituée de clinker. Le tableau 2 reprend des exemples de composition et des valeurs mécaniques caractéristiques.

FLOWSTONE s'est imposé depuis 15 ans e.a. pour la réalisation de mobilier en béton et d'éléments architecturaux de décoration.

Étant donné qu'il s'agit pour ces deux liants de mélanges principalement composés de constituants cimentaires et de granulats secs et non de ciments normalisés, leur utilisation à des fins constructives implique des procédures d'évaluation technique spécifiques. La situation est différente lorsqu'il s'agit de BHP/BUHP fabriqués à base de ciments

normalisés. La technologie MIKRODUR® de DYCKERHOFF permet ainsi d'obtenir la compacité matricielle recherchée grâce au recours à des composants cimentaires ultrafins à granulométries optimisées sans addition de fumées de silice.

Les ciments VARIODUR de type CEM III/A (ciments de haut-fourneau normalisés) ont déjà fait leurs preuves dans diverses formulations satisfaisant à de hautes exigences en termes

de durabilité. Ceci a par exemple été le cas pour la fabrication des tuyaux en béton du projet d'assainissement du parc naturel de l'Emscher dans la Ruhr, ou pour la réalisation de quais préfabriqués destinés à la British Rail. Ils sont à la base des premiers essais de formulation de bétons de classes de résistance égales ou supérieures à C130/145.

Ceux-ci ont abouti à la mise au point de formulations simples,

COMPOSITIONS		E80	E45	PARTICULES FINES
Nanodur Compound 5941 gris	[kg/m ³]	1.050	1.050	1.050
Sable 0/2 mm (séché à l'air)	[kg/m ³]	-	430	1.150
Gravillons 2/5 mm (séchés à l'air)	[kg/m ³]	-	880	-
Durigid 1/3 mm	[kg/m ³]	1.193	-	-
Durigid 3/6 mm	[kg/m ³]	430	-	-
Microfibres d'acier 020/10	[kg/m ³]	-	60	-
Fluidifiant à base de PCE	[kg/m ³]	17	15	18
Eau	[kg/m ³]	149	158	168
CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES APRÈS STOCKAGE DES ÉPROUVETTES DANS L'EAU PENDANT 28 JOURS				
Résistance en flexion 3 points*	[MPa]	23	20	18
Résistance en compression des prismes*	[MPa]	180	150	130
Résistance en compression des cylindres**	[MPa]	150	130	120
Module d'élasticité statique**	[MPa]	80.000	50.000	45.000

Tableau 2: NANODUR – formulations standardisées et valeurs caractéristiques
* Prismes 4 cm x 4 cm x 16 cm | ** Cylindres ø= 15 cm, h = 30 cm

sans exigences particulières relatives à un quelconque empilement granulaire et sans recours à des additions réactives telles que la fumée de silice. Le dosage optimal pour obtenir une bonne ouvrabilité et une résistance à la compression > 150 MPa est d'environ 700 kg/m³ de CEM III / A 52,5 R VARIODUR. En dépit d'un très faible rapport e/c (0,20), une bonne ouvrabilité (valeur d'étalement : 430 mm) est obtenue grâce à un fluidifiant spécifique.

En fonction de l'application prévue, un béton ≥ C130/145 peut ainsi être confectionné avec des teneurs en fibres variant de 200-250 kg/m³, des rapports e/c de 0,20 à 0,24 et des dosages en ciment de 42 à 49 % rapportés au mélange granulaire sec. La substitution d'une partie du sable fin par un CEM III/C 52,5N renforce la compacité du béton et augmente la résistance à la traction simple en post-fissuration.

Le tableau 3 définit des formulations standardisées pour différents BUHP.

La compacité matricielle des bétons à hautes performances augmente considérablement les résistances en compression et en traction par flexion de même qu'elle accroît la résistance aux attaques chimiques et aux contraintes mécaniques. Ceci entraîne une amélioration des caractéristiques fonctionnelles et renforce la durabilité du matériau. Les solutions présentées dans cet article s'appuient sur les avancées technologiques du ciment. Elles ne nécessitent pas d'additions pouzzoloniques telles que la fumée de silice et peuvent être réalisées avec des granulats courants dans des installations de production de béton usuelles. Quelle que soit l'application, il est ainsi possible de proposer une solution adaptée au travers d'une formulation de béton simple et facile à mettre en œuvre.

Ceci contribue à la promotion des bétons à hautes performances.

De manière générale, l'avantage des BHP/BUHP en termes d'impacts environnementaux réside d'une part dans l'allongement de la durée de vie des ouvrages du fait d'une durabilité accrue, et d'autre part dans la réduction des émissions de CO₂ induite par la possibilité de réduire les sections et donc le volume de béton mis en œuvre. La possibilité de recourir à ciment normalisé de type CEM III comme seul liant hydraulique constitue une alternative intéressante sur le plan économique par rapport aux formulations habituelles de BUHP combinant fumée de silice et ciment Portland. En tant que ciment de haut-fourneau, sa production ne génère que 60 % du CO₂ émis par ces derniers et contribue ainsi significativement à l'amélioration des performances environnementales évoquées. ●

Christian Rech

COMPOSITIONS		GRANULOMÉTRIE GROSSIÈRE	GRANULOMÉTRIE FINE	
VARIODUR 40 CEM III/A 52,5 R	[kg/m ³]	700	900	900
UHPC Additive CEM III/C 52,5 N	[kg/m ³]	-	-	80
Sable de quartz fin 0,063/0,25 mm	[kg/m ³]	-	1.230	1.150
Sable du Rhin 0/2 mm	[kg/m ³]	480	-	-
Gravillons de basalte de qualité supérieure 2/5 mm	[kg/m ³]	1.300	-	-
Microfibres d'acier	[kg/m ³]	-	200	200
Fluidifiant PCE permettant des rapports e/c faibles	[kg/m ³]	17	25	22
Eau (incl. la teneur en eau du fluidifiant)	[kg/m ³]	136	196	196
Rapport e/c	-	0,20	0,22	0,20
Valeur d'étalement	mm	430	450	510
PROPRIÉTÉS DU BÉTON DURCI À 28 JOURS				
Résistance à la compression sur cube	MPa	162	157	173
Résistance à la compression sur cylindre	MPa	158	145	157
Module d'élasticité	MPa	55.600	43.900	46.800
Résistance à la traction par flexion	MPa	-	22,0	22,3

Tableau 3 : Formulation de BUHP à base de CEM III

Sources :

[1] C. Rech, Décarboner la filière béton : un coup dans l'aile du colibri - Article publié dans sa 1re version dans la revue Neomag 23, juin 2019

[2] C Rech, Décarboner la filière béton : intégrer ou dériver - Article publié dans sa 1re version dans la revue Neomag 28, janvier 2020

[3] T. Deuse, S. Hainer, F. Parker, T. Sievert - BFUP - Confusions linguistiques et solutions pratiques - PBI - Préfa Béton International #2, 2020 / www.cimalux.lu