

PROBLÉMATIQUE

En 2000, le ministère des Transports du Québec (MTQ) a utilisé pour la première fois du ciment ternaire pour réaliser des travaux de réfection d'une structure faisant appel à la technique du béton projeté par voie humide. Ces travaux avaient pour objectifs d'évaluer la faisabilité et les avantages. Le retrait du béton a notamment été évalué pour voir dans quelle mesure le ciment ternaire peut limiter la fissuration. Le ciment ternaire, qui contient des résidus de procédés industriels, a été mis au point ces dernières années pour des raisons environnementales. Ces résidus permettent, après transformation, d'obtenir des propriétés bénéfiques pour le béton. Le ciment ternaire comprend du ciment Portland de type 10 ou 20, de la fumée de silice et un ajout cimentaire (laitier de haut fourneau ou cendre volante). Il a été utilisé au Québec à titre expérimental pour faire du béton de ciment usuel, du béton à hautes performances (BHP), du béton autoplaçant et, maintenant, du béton projeté.

TRAVAUX RÉALISÉS

Le projet comprenait des essais de formulation en laboratoire, des travaux de chantier et des essais de caractérisation, en laboratoire, du béton utilisé sur le chantier. Des essais en laboratoire ont été réalisés pour en connaître les propriétés au pompage et pour en simuler la mise en place (évaluation du rebond et de l'épaisseur de projection). Trois formules de mélange ont été étudiées en laboratoire, et la meilleure a été retenue pour le site expérimental. Les compositions de mélanges sont présentées au tableau 1. L'ajout cimentaire choisi était la cendre volante. D'autres formules de mélange faisant appel à un autre ajout cimentaire (laitier de haut fourneau) sont en cours d'étude.

Le site expérimental choisi est la structure située à l'angle de l'autoroute Duplessis et du chemin des Quatre-Bourgeois, à Sainte-Foy. La réfection des culées a été réalisée en août et septembre 2000. Le pompage et la projection du béton se sont bien déroulés, et les rebonds ont été acceptables. La teneur en air avant pompage était de 12 %, et l'affaissement de 110 mm. La finition a été plus facile à réaliser avec ce ciment ternaire qu'avec un ciment de type 10 avec fumée de silice (10 SF). Le temps de maniabilité sur le site a en effet été plus long.

RÉSULTATS OBTENUS

Les résultats obtenus sur le chantier et en laboratoire sont présentés au tableau 2. Ils sont adéquats dans l'ensemble et,

parfois, meilleurs que ceux obtenus avec une formule faisant appel au ciment de type 10 SF, comme l'indiquent les caractéristiques de perméabilité aux ions chlore. Le gain de résistance à la compression entre 28 et 150 jours est plus important pour un béton élaboré avec du ciment ternaire que pour un béton élaboré avec un ciment 10 SF (17 % et 7,5 % respectivement). La perméabilité aux ions chlore diminue beaucoup quand la période de mûrissement est prolongée de 28 à 91 jours (d'environ 350 coulombs). La distribution du réseau de bulles d'air est adéquate. L'introduction d'un volume d'air élevé avant pompage est une technique applicable aussi au béton projeté élaboré avec du ciment ternaire permettant d'assurer une bonne durabilité. L'absorption est excellente. Le retrait est semblable à celui d'un béton de ciment usuel. La durabilité aux cycles de gel et de dégel est excellente. La résistance à l'écaillage est relativement élevée, avec des résultats de 1 à 3 kg/m²; toutefois, la représentativité de cet essai sur du béton de ciment ternaire avec cendre volante est présentement étudiée par les spécialistes.

Le béton projeté par procédé humide élaboré avec du ciment ternaire subit des étapes critiques de mise en œuvre (pompage, projection, finition), qui peuvent nuire à la qualité du résultat recherché si elles sont mal réalisées. Toutefois, en adaptant la formule de mélange, le béton projeté se compare avantageusement à un béton conventionnel réalisé avec coffrage en ce qui a trait à l'aspect de la surface et à la qualité du béton.

CONCLUSION

L'utilisation d'un ciment ternaire dans le béton projeté par procédé humide est possible et bénéfique. Plusieurs caractéristiques du béton projeté sont améliorées, notamment le pompage du béton et la finition. Le retrait mesuré est semblable à celui d'un béton projeté élaboré avec du ciment de type 10 avec fumée de silice (10 SF).

RESPONSABLE : Alain Hovington, ing.
Service des matériaux d'infrastructures

DIRECTEUR : 
Michel Labrie, ing.

Constituants	N° 1 (Laboratoire)	N° 2 (Laboratoire)	N° 3 (Chantier)	Exigences
Pierre 2,5/10 (kg/m ³)	490	640	640	25 % min.
Sable 5/80 (kg/m ³)	1105	940	940	
Ciment ternaire Ter C ³ (kg/m ³)	405	405	410	410 kg/m ³ min.
Eau (kg/m ³)	156	157	165	165 kg/m ³ max.
Adjuvants				
Air entraîné : Micro air (!-)	1,1	1,1	1,2	10 à 15 % d'air
Réducteur d'eau : Eucon DX (!-)	1,0	1,1	0,94	
Superplastifiant : Eucon 37 (!-)	4,0	4,0	3,5	
Retardateur : Eucon 727 (!-)	s.o.	s.o.	0,14	
Fibres polypropylène (kg)	0,9	0,9	0,9	1 kg
Rapport eau/ciment	0,39	0,39	0,40	0,40 max.

Tableau 1 : Formules de mélange

Essais	N° 1 (Laboratoire)	N° 2 (Laboratoire)	N° 3 (Chantier)	Exigences
% air entraîné	14,0	15,0	12,0	10-15 % (camion)
Affaissement (mm)	140	190	110	100 ± 30 mm
Température (°C)	15,1	17,3		10 à 25 °C
Résistance en compression (MPa)	7 j : 42,8 28 j : 59,9 150 j : 69,2 1 an : 67,3	39,2 52,4 62,5 62,2	29,4 (9 j) 45,8 57,4	35 MPa min.
Perméabilité aux ions chlore (coulombs)	28 j : 660 91 j : 309	705 288	1285	1500 max.
Facteur d'espacement (µm)	167	208	106	230 max.
Surface spécifique (mm ⁻¹)	26,3	22,5	38,2	
% air (béton durci)	4,7	4,3	6,9	
Absorption (%)	3,3	3,4	5,4	6 max.
Abs. (eau bouillante) (%)	3,6	3,5	5,5	
Vides perméables (%)	8,2	7,9	12,0	17 max.
Retrait (µm/m)	26 semaines : -658	-556	-556	
Résistance à l'écaillage 50 cycles (kg/m ²)	28 j : 4,6 91 j : 2,5	3,9 3,3	1,4 2,8	0,8 max.
Durabilité au Gel/dégel	Nombre de cycles : 500 Module élastique dynamique relatif : 97 % élancement : 661	500 65 3220	500 96 99	300 cycles 80 %

Tableau 2 : Résultats de la saison 2000