

### PROBLÉMATIQUE

Afin d'assurer la durabilité à long terme des ouvrages en béton, les granulats utilisés doivent posséder d'excellentes caractéristiques physiques, en plus d'être chimiquement stables. Dans certaines circonstances, une réaction chimique peut se produire entre des phases minérales siliceuses instables présentes dans certains granulats et les hydroxydes alcalins (NaOH et KOH) présents dans la solution interstitielle du béton. Cette réaction, appelée *réaction alcali granulat* (RAG), de type *alcali-silice*, engendre des produits de réaction expansifs qui entraînent la fissuration prématurée et la détérioration de l'élément de béton.

### RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) est lui aussi victime des dommages causés à ses ouvrages d'art par la réaction alcali-silice. Depuis la reconnaissance du phénomène, au début des années 1980, de nombreux efforts ont été déployés sur les points suivants :

- caractérisation en laboratoire du potentiel de réactivité des granulats québécois;
- évaluation des essais existants ASTM ou CSA afin de les adapter à la réalité québécoise;
- inspection des ouvrages sur le terrain afin de déceler les problèmes liés à la réaction et de valider les résultats obtenus en laboratoire.

Les résultats de ces travaux ont déjà fait l'objet de publications (voir références). La norme 3101 du tome VII des normes sur les ouvrages routiers (*Béton de ciment de masse volumique normale*) fixe les exigences du MTQ à cet égard.

Le potentiel de réactivité d'un granulat est principalement mesuré au moyen d'un essai d'expansion sur prisme de béton (CSA A23.2-14A) et d'un essai accéléré réalisé sur des barres de mortier (CSA A23.2-25A). Cependant, en raison de la diversité des granulats concernés, il arrive que des résultats d'essais indiquent de ne pas utiliser certains granulats alors que des ouvrages déjà réalisés avec de tels granulats ne donnent pas de signes de détérioration. Les responsables ont alors tendance à privilégier les résultats en laboratoire, ce qui conduit à rejeter un grand nombre de sources. Pour des raisons économiques ou géographiques, il a fallu étudier la possibilité d'utiliser tout de même ces granulats en prenant des mesures destinées à diminuer le risque de détériorations futures causées par la réaction alcali-silice. Un consor-

tium CANMET/industrie a été formé en 1991 afin d'étudier spécifiquement l'efficacité à long terme des ajouts cimentaires sur la réduction des expansions et des fissurations dues à la réaction. À partir de divers types de granulats provenant de diverses provinces canadiennes, dont le Québec, plusieurs combinaisons d'ajouts cimentaires, tels la fumée de silice, les cendres volantes ou le laitier de haut fourneau, ont été étudiées afin d'en évaluer l'efficacité au regard de la réaction alcali-silice.

### RÉSULTATS OBTENUS

Comme cette étude comportait un volet « chantier » en plus du volet « laboratoire », il a fallu attendre plusieurs années avant d'obtenir des résultats puisque les bétons ont été soumis à des conditions d'exposition naturelle. Les principales conclusions de cette étude (voir référence) sont les suivantes :

- les essais recommandés dans la norme CSA A23.2-27A sont adéquats pour évaluer la performance des ajouts cimentaires;
- les bétons fabriqués avec des granulats hautement réactifs et contenant de 30 % à 56 % de cendres volantes satisfont aux exigences concernant l'expansion. Dans le cas de granulats modérément réactifs, une quantité inférieure de cendre volante serait suffisante;
- l'ajout de 7 % à 10 % de fumée de silice semble un moyen efficace de prévenir les expansions dans le cas de granulats considérés comme moyennement réactifs;
- l'utilisation de 50 % à 65 % de laitier s'avère un bon moyen de prévention des expansions pour des granulats hautement réactifs.

De manière générale, l'étude révèle que, selon le degré de réactivité du granulat, l'utilisation d'ajouts cimentaires est un moyen efficace pour prévenir ou diminuer les expansions engendrées par la réaction alcali-silice.

### NOUVELLE APPROCHE

À partir des données obtenues par l'étude CANMET, une nouvelle approche au regard du potentiel de réactivité d'un granulat sera incluse dans la future norme CSA A23.1, qui sera publiée à l'automne 2000. Les granulats seront classifiés par degré de réactivité, selon les résultats des essais en laboratoire (tableau 1). Un niveau de risque sera alors associé en fonction du type d'ouvrage à construire (tableau 2). Des mesures préventives pourront être mises en œuvre selon le niveau de risque et ladurée de vie escomptée de l'ouvrage (tableaux 3 et 4). Cette approche

est plus réaliste et adaptée aux différences entre les divers types de roche. Elle permet l'utilisation de granulats modérément réactifs grâce à des mesures préventives efficaces. Quand la norme CSA sera publiée, le MTQ adoptera une position à cet égard.

#### RÉFÉRENCES


Fournier, B., Bérubé, M.-A., Vézina, D., *Condition Survey of Concrete Structures Built with Potentially Alkali-reactive Limestone from the Québec City area*, Concrete Durability Conference, Atlanta, 1987.

Bérubé, M.-A., Fournier, B., Vézina, D., *Les réactions alcalis-granulats au Québec : où en sommes-nous?*, 13<sup>e</sup> Conférence canadienne de géotechnique, août 1990.

Fournier, B., Bérubé, M.-A., *Évaluation du potentiel de réactivité alcaline de granulats à béton produits dans les Basses-Terres du Saint-Laurent du Québec*, Revue canadienne de génie civil, volume 18, 1991.

Fournier, B., *Joint Research Program on Alkali-aggregate Reaction*, 5<sup>e</sup> rapport, CANMET, avril 1998.

**RESPONSABLE :** Daniel Vézina, ing.  
Service des matériaux d'infrastructures

**DIRECTEUR :**   
Michel Labrie, ing.

Degré de réactivité du granulat	Essai du prisme de béton % d'expansion à 1 an	Essai accéléré de la barre de mortier % d'expansion à 14 jours
Non réactif	< 0,04 %	< 0,15 %
Modérément réactif	0,04 - 0,12 %	
Hautement réactif	> 0,12 %	> 0,15 %

**Tableau 1 : Réactivité des granulats**

Taille et exposition	Degré de réactivité du granulat		
	Non réactif	Modérément réactif	Hautement réactif
Non massif et sec	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 2
Massif (plus de 1 m) et sec	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Tout béton exposé à l'air humide ou immergé	Niveau 1	Niveau 3	Niveau 4

**Tableau 2 : Niveaux de risque**

Niveau de risque	Éléments temporaires - de 5 ans	Durée de vie : de 5 à 50 ans	Durée de vie + de 50 ans
1	V	V	V
2	V	W	X
3	V	X	Y
4	W	Y	Z

**Tableau 3 : Niveaux de prévention**

Niveau de prévention	Mesures à prendre pour prévenir les expansions néfastes dues à la RAG
V	Utiliser le granulat sans mesure préventive
W	<b>Mesures préventives légères :</b> W1 : Rejeter le granulat ou utiliser les options W2, W3 W2 : Limiter le contenu en alcali à 3,0 kg/m <sup>3</sup> W3 : Utiliser en quantité suffisante un ajout cimentaire efficace contre la RAG
X	<b>Mesures préventives modérées :</b> X1 : Rejeter le granulat ou utiliser les options X2, X3 X2 : Limiter le contenu en alcali à 2,4 kg/m <sup>3</sup> X3 : Utiliser en quantité suffisante un ajout cimentaire efficace contre la RAG
Y	<b>Mesures préventives sévères :</b> Y1 : Rejeter le granulat ou utiliser les options Y2, Y3 Y2 : Limiter le contenu en alcali à 1,8 kg/m <sup>3</sup> Y3 : Utiliser en quantité suffisante un ajout cimentaire efficace contre la RAG
Z	<b>Mesures exceptionnelles :</b> Z1 : Rejeter le granulat ou utiliser l'option Z2 Z2 : Utiliser simultanément les options Y2 et Y3

**Tableau 4 : Description des mesures préventives**