

Évaluation du potentiel d'atténuation de la réaction alcalis-silice qu'offrent les liants prémélangés commerciaux

Au Québec, plusieurs types de granulats sont susceptibles d'engendrer une détérioration prématurée des ouvrages en béton par l'expansion nuisible de certaines phases minérales instables

dans des milieux alcalins (**figures 1a et 1b**). Ce phénomène est communément appelé la réaction alcalis-silice (RAS). Le déclenchement de cette réaction implique trois conditions essentielles,

soit la présence de granulats réactifs, la présence d'une quantité suffisante d'alcalis dans le béton et l'exposition du béton à l'humidité.

Figure 1a – Exemple de détérioration du béton causée par la réaction alcalis-silice.

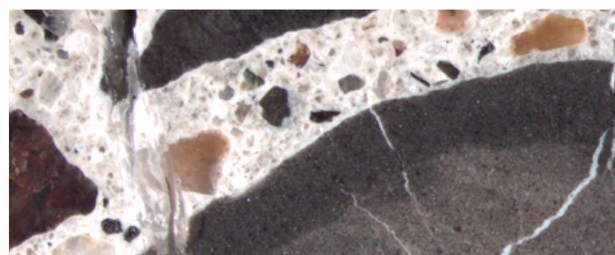
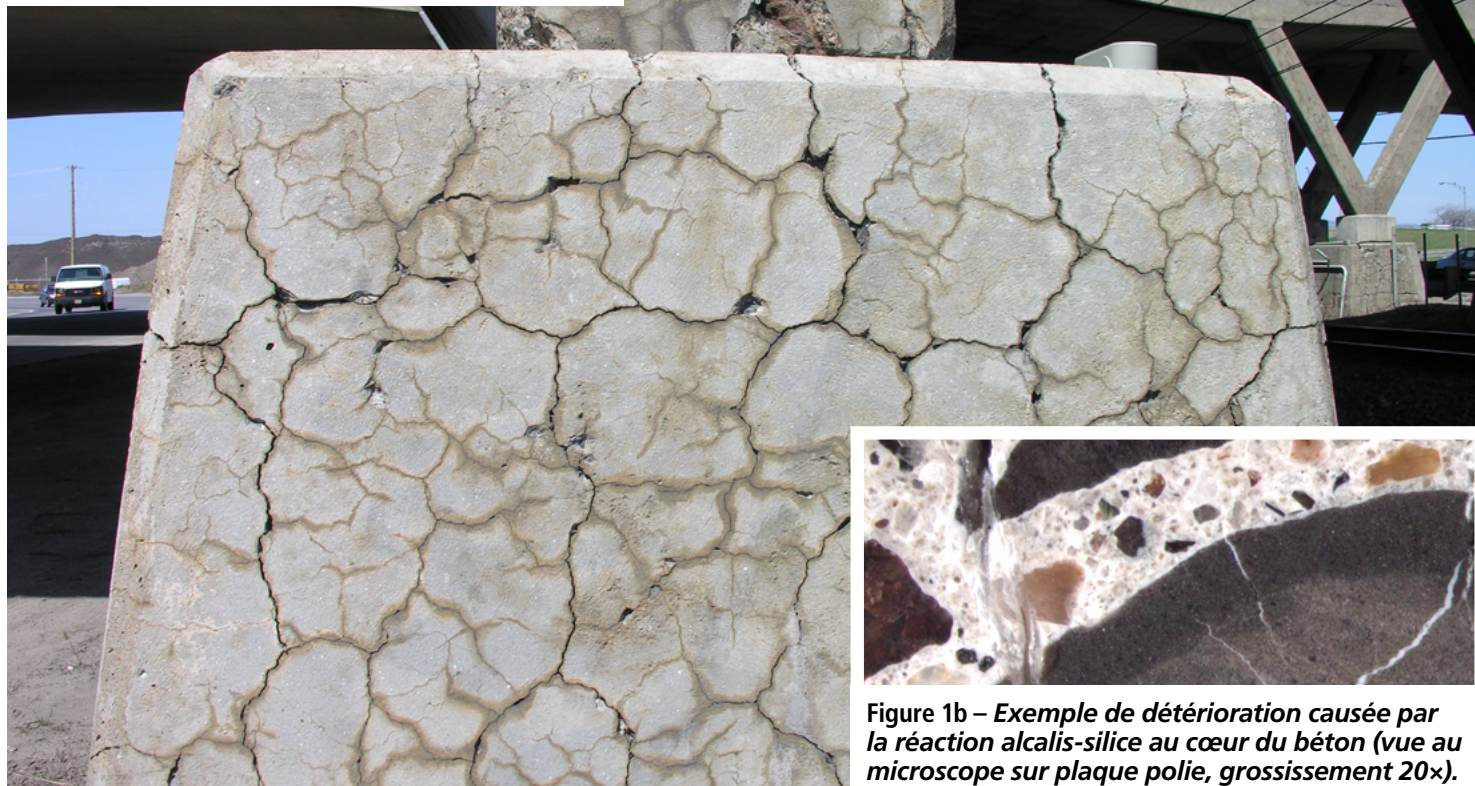


Figure 1b – Exemple de détérioration causée par la réaction alcalis-silice au cœur du béton (vue au microscope sur plaque polie, grossissement 20×).

Certaines mesures préventives peuvent être prises lors de la formulation du béton afin d’éviter la survenue de la RAS à moyen ou long terme. Ces mesures, encadrées par la norme CSA A23.1:F19/ CSA A23.2:F19, consistent à limiter la teneur en alcalis du béton provenant du ciment, à remplacer une portion du ciment Portland par des ajouts cimentaires, ou à combiner ces deux mesures. La limitation de la teneur en alcalis du ciment et/ou le pourcentage de remplacement du ciment par des ajouts cimentaires sont modulés en fonction du degré de réactivité de la pierre utilisée.

Au ministère des Transports et de la Mobilité durable, il a été déterminé d’interdire les ajouts cimentaires à la centrale de dosage du béton pour utiliser seulement des liants prémélangés proposés par l’industrie du ciment, limitant ces ajouts à des teneurs fixes. Il n’est pas possible de faire varier les teneurs en ajouts cimentaires lors de l’utilisation de granulats sensibles à la RAS. La Direction des matériaux d’infra-

Tableau 1 Différents liants utilisés dans le cadre de l’étude

Liant	Proportion d’ajouts cimentaire	Teneur en alcalis du ciment (% $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$)
Ciment d’usage général GU	—	1,2 %
Liant binaire GUb-SF (1)	Fumée de silice 8 %	0,59 %
Liant binaire GUb-SF (2)	Fumée de silice 8 %	0,59 %
Liant binaire GUb-SF (3)	Fumée de silice 8 %	0,72 %
Liant binaire GUb-SF (4)	Fumée de silice 8 %	0,82 %
Liant ternaire GUb-F/SF (1)	Fumée de silice 5 %, cendre volante 17 %	0,59 %
Liant ternaire GUb-F/SF (2)	Fumée de silice 5 %, cendre volante 20 %	0,72 %
Liant ternaire GUb-S/SF	Fumée de silice 5 %, laitier de haut fourneau 22 %	0,82 %



Figure 2a – Essais CSA A23.2-28A : conditionnement des échantillons.



Figure 2b – Essais CSA A23.2-28A : mesure de déformation des échantillons.

structures a donc entrepris une étude en laboratoire afin de vérifier que les liants prémélangés offerts sur le marché québécois permettent d'atténuer convenablement la RAS lors de l'utilisation de granulats réactifs.

MÉTHODOLOGIE ET MATÉRIAUX UTILISÉS

Deux granulats de différents degrés de réactivité à la RAS ont été utilisés, l'un modérément réactif (GMR) et l'autre très réactif (GTR). Ceux-ci ont été utilisés en combinaison avec huit liants différents, soit un ciment d'usage général (GU) et sept liants prémélangés, tous présentés au **tableau 1**.

Les différents constituants ont été combinés dans 16 mélanges de béton différents, qui ont été soumis à des essais de RAS accélérés en laboratoire. Les mélanges ont été gâchés avec une teneur en liant de 420 kg/m³. Les essais ont été réalisés selon la pratique normalisée CSA A23.2-28A « Pratique normalisée d'essai en laboratoire pour démontrer l'efficacité des ajouts cimentaires et des adjuvants à base de lithium à empêcher une réaction alcalis-silice dans le béton ». Ils consistent à mesurer au fil de deux années la déformation de prismes de béton conservés dans des conditions favorables au développement de la RAS, c'est-à-dire une température de 38°C et 100 % d'humidité relative (**figures 2a et 2b**). Afin qu'un liant soit jugé efficace pour prévenir la réaction, l'expansion finale des échantillons doit être inférieure à 0,04 % après ces deux ans.

RÉSULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE

Les résultats des essais sur les mélanges comprenant le GMR sont présentés à la **figure 3**. À l'exception du mélange témoin comprenant le ciment GU, pour lequel l'expansion finale après deux ans est de 0,051 %, tous les mélanges réalisés à l'aide de liants prémélangés ont engendré une expansion inférieure à la valeur seuil de 0,04 % pour la même période. En moyenne, le pourcentage de réduction de l'expansion par rapport au mélange témoin (ne comprenant pas d'ajouts cimentaires) est de 84 % pour les liants binaires et de 88 % pour les liants ternaires.

Les résultats des essais sur les mélanges

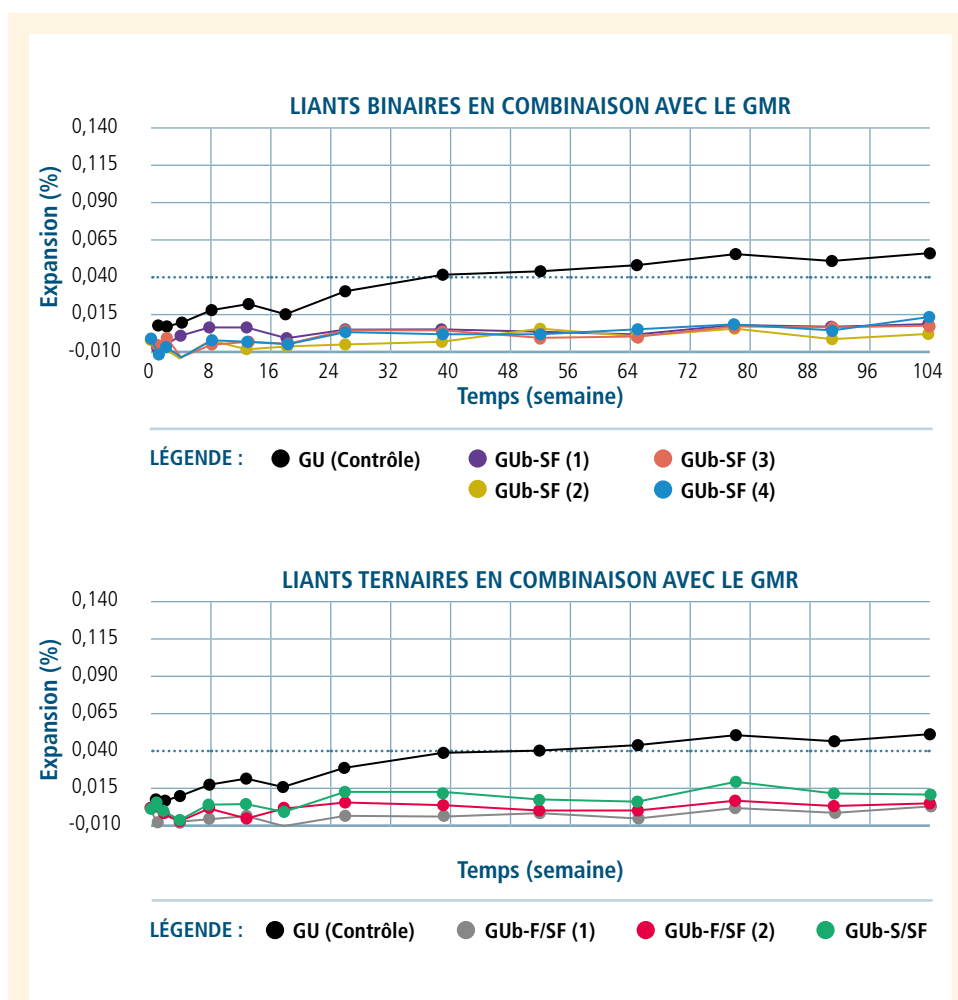


Figure 3 – Essais CSA A23.2-28A comprenant le GMR.

comprenant le GTR sont présentés à la **figure 4**. Lorsque le GTR est utilisé en combinaison avec le ciment GU, l'expansion atteinte par les prismes de béton après deux ans est de 0,229 %. Pour les mélanges réalisés avec les liants binaires et le GTR, le pourcentage de réduction de l'expansion par rapport au mélange témoin varient entre 72 % et 94 % après la même période. Un seul mélange dépasse la valeur seuil de 0,04 % en fin d'essai, soit le mélange comprenant le liant GUb SF (4), qui est le liant binaire ayant la plus haute teneur en alcalis. Pour les mélanges réalisés avec les liants ternaires et le GTR, le pourcentage de réduction de l'expansion par rapport au mélange témoin est de 94 % en moyenne.

ANALYSE

Pour les bétons des ouvrages routiers identifiés au tableau 3101-1 de la norme 3101, l'utilisation de granulats

dont le degré de réactivité peut aller jusqu'à très réactif est permise à deux conditions, soit d'utiliser un liant binaire tout en limitant la teneur en alcalis du mélange à 2,4 kg/m³ ou d'utiliser un liant ternaire. Selon les résultats obtenus, les liants ternaires permettent bien de réduire l'expansion à un niveau adéquat lors de l'utilisation d'un granulat classé comme très réactif. De plus, en considérant la limitation de la teneur en alcalis du mélange lors de l'utilisation d'un liant binaire, le seul liant (GUb-SF (4)) qui n'a pas permis d'obtenir une réduction adéquate de l'expansion en combinaison avec un granulat classé comme très réactif est interdit dans des mélanges à fort dosage en liant, comme les mélanges réalisés dans le cadre de la présente étude.

Pour les bétons des ouvrages d'art identifiés au tableau 3101-2 de la norme 3101, l'utilisation de granulats réactifs est limitée aux granulats ayant

un degré de réactivité modéré. De plus, comme la durée de vie escomptée des bétons des ouvrages d'art est supérieure à celle des bétons des ouvrages routiers, les conditions d'utilisation des granulats modérément réactifs dans les premiers sont les mêmes que celles s'appliquant à l'utilisation de granulats très réactifs dans les seconds. Ainsi, en prenant en compte la limitation de la teneur en alcalis lors de l'utilisation d'un liant binaire et les bonnes performances offertes par les liants ternaires relativement à la réduction de l'expansion de granulats considérés comme très réactifs ou en deçà, les recommandations de la norme 3101 peuvent être jugées comme adéquates pour éviter l'occurrence de la RAS dans les mélanges de béton utilisés sur les chantiers du Ministère.

CONCLUSION

La Direction des matériaux d'infrastructures a entrepris une étude en laboratoire afin de vérifier la performance de liants prémélangés offerts sur le marché québécois afin de contrôler l'expansion du béton occasionnée par des granulats susceptibles d'engendrer une réaction alcalis-silice. Les résultats obtenus montrent que la majorité des liants prémélangés permettent de contrôler l'expansion de granulats classés comme modérément réactifs et très réactifs. Cependant, le liant binaire dont la teneur en alcalis est la plus élevée n'a pas permis de réduire l'expansion d'un granulat très réactif sous un seuil acceptable lors des essais de laboratoire. Considérant que la norme 3101 du Ministère prescrit une limitation de la teneur en alcalis des mélanges de béton lorsque des liants binaires sont utilisés comme mesure préventive pour limiter l'expansion nuisible des granulats occasionnée par la réaction alcalis-silice, les prescriptions de la norme 3101 encadrant l'utilisation de granulats réactifs sont jugées adéquates pour éviter le déclenchement de la réaction dans les bétons utilisés sur les chantiers du Ministère.

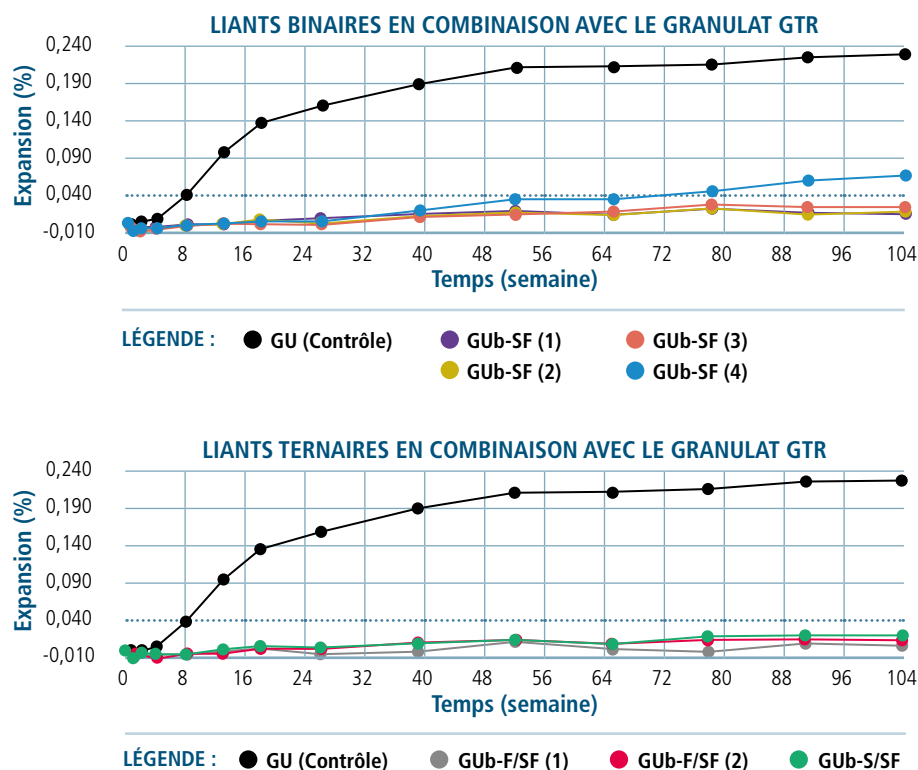


Figure 4 – Essais CSA A23.2-28A comprenant le GTR.

RÉFÉRENCES

Groupe CSA, Conseil canadien des normes. *Béton : constituants et exécution des travaux / Procédures d'essai et pratiques normalisées pour le béton*, 2020, 932 p. (CSA A23.1:F19/ CSA A23.2:F19).

Gouvernement du Québec. *Tome VII – Matériaux*, norme 3101 « Bétons de masse volumique normale », Québec (Canada), Les Publications du Québec, 2024, 17 p.



Cliquez ici pour vous abonner au bulletin technique DGLC!