

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Prévention de la détérioration du béton due à la réaction alcalis-granulats

Grattan-Bellew, P.E.; Mitchell, Lyndon

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40002899>

Solution constructive; no. 52, 2002-03

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=73d9eada-7536-4f96-9880-3736294071c2>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=73d9eada-7536-4f96-9880-3736294071c2>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Prévention de la détérioration du béton due à la réaction alcalis-granulats

par P.E. Grattan-Bellew et Lyndon Mitchell

La réaction alcalis-granulats est une cause courante de fissuration du béton, qui entraîne des dommages importants aux constructions en béton partout dans le monde. Dans ce numéro, on explique les mécanismes de la réaction alcalis-granulats, ses effets sur le béton et les méthodes pour prévenir une détérioration de cette nature dans les nouvelles constructions.

Définition de la réaction alcalis-granulats

La réaction alcalis-granulats consiste en une réaction chimique entre certains types de granulats et les ions hydroxyles (OH^-) associés aux alcalis dans le ciment. Généralement, les alcalis proviennent du ciment Portland, mais ils peuvent également provenir d'autres ingrédients du béton ou de l'environnement. Dans certaines conditions, cette réaction peut conduire à une expansion et à une fissuration nuisibles du béton. La détérioration du béton par la réaction alcalis-granulats est généralement lente, mais progressive.

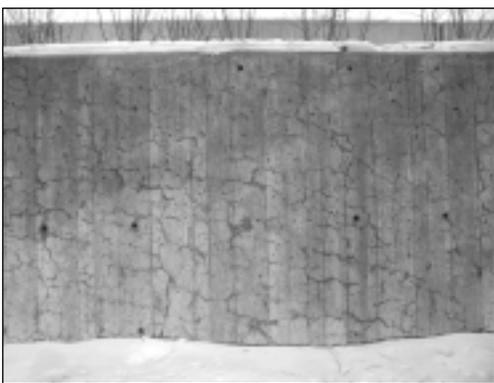


Figure 1. Fissuration caractéristique en faïençage causée par la réaction alcalis-silice dans un mur de soutènement à Ottawa (Ontario)

Au Canada, la fissuration causée par la réaction alcalis-granulats devient généralement visible lorsque le béton a entre 5 et 10 ans. Les fissures facilitent la pénétration des solutions de sels déglaçants, lesquelles peuvent provoquer la corrosion de l'armature du béton et, ainsi, accélérer la détérioration et l'affaiblissement d'une construction. Il n'existe pas

au Canada de cas documentés de structures en béton qui ont cédé en raison de la réaction alcalis-granulats; néanmoins, cette réaction provoque un type grave de détérioration qu'il faut chercher à minimiser en prenant les mesures qui s'imposent.

Types de réaction

Il existe deux types de réaction alcalis-granulats :

Réaction alcalis-silice

C'est la plus courante des réactions alcalis-granulats; elle est causée par la présence, dans le béton, de certains granulats siliceux que l'on trouve dans certains granites, gneiss, roches volcaniques, grauwackes, argilites, phyllites, cornéennes, tufs et calcaires siliceux. La réaction alcalis-silice produit un gel qui absorbe de l'eau et augmente de volume. La pression exercée par le gel qui gonfle fracture les particules de granulat et provoque la propagation des fissures dans le béton environnant. Généralement, la réaction alcalis-silice entraîne une fissuration en faïençage.

Réaction alcalis-carbonate

Cette réaction est moins courante et les cas observés jusqu'ici au Canada sont limités à certaines régions de l'Est de l'Ontario. Dans la réaction alcalis-carbonate, certains granulats de calcaires dolomitiques réagissent avec les ions hydroxyles associés aux alcalis du ciment (ou provenant d'autres sources telles



Figure 2. Fissuration en faïençage et éjection du matériau de remplissage de joints causée par l'expansion du béton soumis à la réaction alcalis-carbonate dans un trottoir de Kingston (Ontario)

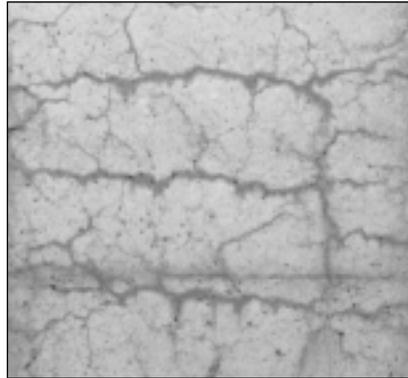


Figure 3. Fissuration importante parallèle aux barres d'armature dans le mur de soutènement d'un pont de la Ville de Québec (Québec)

que les sels déglacants) et provoquent le gonflement des particules de calcaire, ce qui entraîne l'expansion et la fissuration du béton. Malgré 50 ans de recherches, le mécanisme de cette réaction n'est toujours pas bien compris, mais l'on sait qu'elle fait intervenir la transformation de la dolomie en calcite et que des minéraux argileux peuvent également jouer un rôle dans cette réaction. Cette réaction entraîne dans le béton une fissuration semblable à celle que provoque la réaction alcalis-silice (figure 2). Il y a lieu de noter que les granulats calcaires peuvent subir tant une réaction alcalis-silice qu'une réaction alcalis-carbonate.

Fissuration caractéristique due à la réaction alcalis-granulats

Une fissuration dont les motifs sont relativement équidimensionnels, comme celle illustrée aux figures 1 et 2, est caractéristique du béton non armé ou légèrement armé qui subit une réaction alcalis-granulats. Cependant, lorsque l'armature du béton comporte une quantité importante d'acier, la fissuration a tendance à être plus marquée parallèlement aux barres d'armature (figure 3). Toutefois, d'autres causes peuvent aussi être à l'origine de la fissuration en faïençage, comme la contraction lors du séchage (parfois appelé fissuration avant la prise), particulièrement dans des dalles de béton en pente, coulées par temps chaud et venteux sans mûrissement adéquat. Ce type de fissuration se produit dans les heures ou les jours qui suivent le coulage du béton. Par contre, la fissuration causée par la réaction alcalis-granulats ne devient manifeste généralement qu'après 5 à 10 ans.

Gonflement du béton causé par la réaction alcalis-granulats

Les réactions alcalis-silice et alcalis-carbonate entraînent le gonflement du béton. L'importance du gonflement ou de l'expansion dépend de la réactivité des granulats, de l'alcalinité de la solution interstitielle du béton et de l'humidité ambiante du milieu où se trouve la structure. Une expansion de plus de 0,1 % n'est pas rare. Une expansion de 0,1 % entraînerait une augmentation en longueur de 1 cm pour chaque 10 m dans une structure non armée. Dans de nombreuses structures, ce degré d'expansion peut ne pas poser de problème, mais dans les longs

trottoirs ou les murets disposés entre les voies de circulation par exemple, cette expansion peut provoquer une compression et un gonflement. L'expansion dans les grandes constructions comme les barrages et les centrales peut gêner le fonctionnement des vannes et des turbines.

Conditions à l'origine de la fissuration et de l'expansion

Une réaction alcalis-granulats nuisible se produit quand : (A) le granulat est réactif, (B) la teneur en alcalis du béton est suffisamment élevée pour que la réaction se produise et (C) l'humidité est suffisante (H. R. supérieure à ~85 %) pour que la réaction se produise. Habituellement, la teneur en alcalis doit être inférieure à 3 kg/m³ pour prévenir une réaction indésirable, mais dans les grandes constructions, où la teneur en eau du béton demeure élevée (p. ex. dans les barrages), on a observé des réactions nuisibles avec une teneur en alcalis aussi faible que 2 kg/m³. La plupart des alcalis proviennent du ciment Portland. Un mètre cube de béton qui contient 350 kilogrammes de ciment dont la teneur en alcalis est de 0,9 % renferme 3,15 kg d'alcalis.

Sources de granulats potentiellement réactifs au Canada

On trouve presque partout au Canada des roches potentiellement réactives et des cas documentés de réactions alcalis-granulats dans le béton. Toutefois, les cas de réaction alcalis-granulats sont moins courants dans les Prairies et en Colombie-Britannique, parce que la teneur en alcalis des ciments



Figure 4. Carte du Canada illustrant l'emplacement des structures touchées par la réaction alcalis-granulats ou des sources connues de granulats réactifs (tirée de la référence 2).

qui y sont produits a toujours été relativement faible. La figure 4 montre la distribution des sources de granulats potentiellement réactifs et des cas documentés de réactivité alcalis-granulats. On peut trouver de plus amples renseignements et des descriptions à jour de la réactivité alcalis-granulats dans toutes les parties du Canada dans un numéro spécial de la Revue canadienne de génie civil¹ et dans les normes CSA A23.1-00/A23.2-00².

Détermination de la réactivité potentielle du granulat

Dans le cas d'une nouvelle construction, on peut déterminer si un granulat est non réactif en étudiant des constructions réalisées avec le même mélange de béton et exposées dans des environnements similaires. Lorsqu'une telle étude n'est ni possible ni concluante, on doit procéder à des essais en laboratoire. Les normes de l'Association canadienne de normalisation CSA A23.1-00/A23.2-00 *Béton : constituants et exécution des travaux/ Essais concernant le béton* renferment un certain nombre de méthodes d'essai permettant d'évaluer la réactivité potentielle des granulats. Seules sont décrites ici les deux méthodes jugées les plus efficaces.

Expansion accélérée de barres de mortier

Le granulat à évaluer est concassé de manière à obtenir des particules de la taille du sable, puis il est utilisé pour fabriquer des barres de mortier (25 x 25 x 285 mm). Une fois que le mortier est pris, on mesure la longueur des barres, puis on les entrepose en les plongeant dans une solution d'hydroxyde de sodium à 80 °C. On mesure périodiquement pendant 14 jours la longueur des barres. Un accroissement supérieur à 0,15 % après

14 jours est un indice d'une expansion potentiellement nuisible du granulat dans un béton possédant une teneur élevée en alcalis. Cet essai convient uniquement aux granulats réactifs qui présentent une réactivité alcalis-silice. Bien que cet essai ne reproduise pas exactement le comportement du béton, il constitue un bon indice de sa réactivité potentielle et possède l'avantage important d'être rapide. (Pour connaître plus de détails sur cet essai, consulter la norme CSA A23.2-25A.)

Expansion d'éprouvettes de béton

Cet essai s'applique à la fois aux granulats réactifs qui présentent une réactivité alcalis-silice et à ceux qui présentent une réactivité alcalis-carbonate. On fabrique des éprouvettes de béton à partir de gros granulats (75 x 75 x 275 mm). Après démoulage, on mesure la longueur des éprouvettes. On les place ensuite dans des contenants scellés renfermant de l'eau afin d'y maintenir une humidité supérieure à 95 %. Les contenants sont entreposés dans une enceinte maintenue à 38 °C et la longueur des éprouvettes est mesurée périodiquement pendant un an. Un accroissement supérieur à 0,04 % après un an indique que le granulat est potentiellement réactif. (Pour plus de détails sur cet essai, consulter la norme CSA A23.2-14A.)

Mesures de prévention à prendre lorsqu'il faut utiliser des granulats potentiellement réactifs

La meilleure méthode pour prévenir une détérioration prématurée du béton par la réaction alcalis-granulats consiste à employer des granulats connus pour avoir un bon comportement dans le béton ou des granulats pour lesquels des essais en laboratoire ont montré qu'ils ne posaient pas de problème. C'est la seule méthode qui s'applique aux granulats présentant une réactivité alcalis-carbonate.

Il est parfois possible d'extraire un granulat non réactif d'une carrière contenant des matières réactives en procédant à une extraction sélective. Toutefois, un bon contrôle de la qualité et des essais périodiques sont essentiels pour s'assurer que l'on extrait toujours un granulat non réactif. De nombreuses méthodes ont été élaborées afin d'assurer la durabilité du béton lorsqu'on doit utiliser des granulats qui risquent de présenter une réactivité alcalis-silice. Dans des applications générales, l'utilisation d'un ciment Portland d'une teneur en alcalis suffisamment faible pour

que la teneur en alcalis du béton soit inférieure à 3 kg/m³ peut prévenir la réaction alcalis-granulats dans le béton. Toutefois, il s'agit d'une mesure qui, à elle seule, ne préviendra pas toujours les réactions nuisibles, parce que certains granulats peuvent apporter des alcalis au béton et, avec le temps, augmenter la teneur en alcalis à un point où la réaction alcalis-silice se produira.

La meilleure méthode pour réduire le risque d'expansion causée par la réaction alcalis-silice dans le béton est de remplacer une partie du ciment Portland par un ajout cimentaire. Les cendres volantes à faible teneur en chaux, le laitier hydraulique cimentaire, les fumées de silice, le méta-kaolin et la pouzzolane naturelle utilisés en proportions adéquates se sont avérés être des solutions efficaces pour contrer la réaction alcalis-silice. Des mélanges constitués de deux ajouts cimentaires et de ciment Portland (communément appelés mélanges ternaires) se sont aussi avérés très efficaces dans la prévention de la détérioration causée par la réaction alcalis-silice³.

Dans les expériences de laboratoire, l'ajout de sels de lithium au béton prévient ou réduit l'expansion causée par la réaction alcalis-silice. Aux États-Unis, au moins un essai sur le terrain est en cours sur un tronçon de route afin de déterminer si ces sels ont des avantages à long terme ou s'ils sont éliminés par lixiviation⁴. Comme la CSA ne recommande pas encore l'ajout de sels de lithium, on devrait considérer pour un certain temps que l'emploi de ceux-ci au Canada est expérimental. Des instructions concernant l'utilisation d'ajouts cimentaires en vue d'éviter une expansion nuisible du béton sont présentées dans la méthode normalisée CSA A23.2-27A.

Dans le cas des réactions alcalis-carbonate, ni l'emploi de ciment à faible teneur en alcalis, ni l'utilisation d'ajouts cimentaires ne sont efficaces pour prévenir une expansion nuisible.

Références

1. Revue canadienne du génie civil, vol. 27, n° 2, avril 2000, numéro spécial concernant les réactions alcalis-granulats au Canada.
2. A23.1-00/A23.2-00, Béton : constituants et exécution des travaux/essais concernant le béton, septembre 2000, CSA International, 178, boul. Rexdale, Toronto, ON, M9W 1R3, p. 377.
3. Thomas, M.D.A., Shehata, M.H., Sashiprakash, S.G., Hopkins, D.S., Cail, K., 1999, « *Use of Ternary Cementitious Systems Containing Silica Fume and Fly Ash in Concrete* ». Cement & Concrete Research 29, p. 1207-1214.
4. Johnston, D.P., Surdahl, R., Stokes, D.P., 2000, « A Case Study of a Lithium-Based Treatment of an ASR-Affected Pavement ». Actes de la 11^e conférence internationale sur la réaction alcalis-granulats Québec, juin 2000, éditeurs : M.A. Bérubé, B. Fournier et B. Durand, p. 1149-1158.

M. Paddy Grattan-Bellew, Ph.D., était agent de recherche au sein du programme Enveloppe et structure du bâtiment de l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches du Canada.

M. Lyndon Mitchell, Ph.D., est agent de recherche au sein du même programme.

© 2002
Conseil national de recherches du Canada
Mars 2002
ISSN 1206-1239

« Solutions constructives » est une collection d'articles techniques renfermant de l'information pratique issue de récents travaux de recherche en construction.

Canada

Pour obtenir de plus amples renseignements, communiquer avec l'Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa K1A 0R6.
Téléphone : (613) 993-2607 Télécopieur : (613) 952-7673 Internet : <http://www.nrc.ca/irc>