Traduction du tiré à part du cahier 15/2001 tec21

Prévention des dégâts au béton occasionnés par la réaction alcali-granulat

VIGIER
CIMENTS VIGIER SA - 2603 Péry

B-I-G
Büro für Ingenieurgeologie
Gurtenbrauerei
Postfach 240
CH-3084 Wabern
Tel. 031 960 43 30
Fax 031 960 43 31
e-mail: info@b-i-g.ch

Cédric Thalmann, Jürg Zingg, Gerhard Rytz, Kurt Strahm, Christian Wyss

Cédric Thalmann, Jürg Zingg, Gerhard Rytz,
Kurt Strahm, Christian Wyss

Prévention des dégâts au béton occasionés par la réaction alcali-granulat

La réaction alcali-granulat, qui affecte le béton de construction, est encore peu étudiée en Suisse. Elle est néanmoins susceptible de provoquer des dégâts durables. Le présent article en décrit les mécanismes et propose des moyens de prévention.

La réaction alcali-granulat (RAG) ou alcali-réaction est une réaction chimique entre des granulats réactifs et les alcalins libres contenus dans l'eau interstitielle du mortier ou du béton. Elle produit un gel expansif susceptible de détruire le béton dans le pire des cas.
Pour qu'une RAG puisse se déclencher, les conditions suivantes doivent nécessairement être réunies (figure 1):
- une teneur suffisante d'alcalins libres (Na^+, K^+) dans le mélange de béton, l'essentiel des alcalins solubles provenant du ciment
- une concentration suffisante de minéraux silicatés (SiO_2) solubles, fournis en premier lieu par les granulats
- un contact avec de l'eau, ou une humidité ambiante suffisante, pour assurer le transport des alcalins et des minéraux silicatés

La RAG est accélérée sous l'effet de températures élevées. La figure 1 expose les différents facteurs influençant cette réaction chimique.

Le mécanisme de la RAG

Le type le plus connu et le plus répandu de réaction alcali-granulat est la réaction alcali-silice (RAS), au cours de laquelle les hydroxydes alcalins (OH^-, Na^+, K^+) contenus dans l'eau interstitielle du béton réagissent avec les minéraux silicatés (silice, SiO_2) des granulats pour produire un gel silico-alcalin.
Parmi les autres RAG, il y a lieu de mentionner la réaction alcali-silicate. On pense qu'elle est déclenchée par certains types de phyllosilicates contenus dans les phyllites, les argiles et les grauwackes.
Pour être exhaustifs, citons encore la réaction alcali-carbonate (RAC), qui se produit en présence de composants de calcaire dolomitique. Peu fréquente, elle a été décrite au Canada, en France et en Chine.
Le gel silico-alcalin produit par la RAG commence par remplir les cavités du béton. C'est seulement dans un deuxième temps que la surpression résultante engendre des fissures. On peut également observer des éclatements (pop-outs), susceptibles de poser des problèmes de sécurité dans certains bâtiments. L'augmentation de volume du béton, dont la surface se bombe légèrement, est également un symptôme caractéristique. Dès le moment où le béton est affecté par les premières microfissures, il va rapidement subir d'autres désordres. Chimiquement instable, le gel peut se dissoudre à nouveau, si bien qu'il est souvent difficile à reconnaître (figure 2).
Une fois qu'une RAG s'est amorcée, il faut recourir aux grands moyens pour tenter de l'arrêter, et la réussite est

1
Différents facteurs influençant la réaction alcali-granulat

Composants du béton			Mélange de beton	Milieu	Type de béton
Ciment	Granulats	Additifs			
- type - teneur et nature des alcalins	- minéralogie - pétrographie - degré de transformation de minéraux - structure/texture - gravier anguleux/arrondi	- type - composition chimique	- proportion de ciment - volume d'air interstitiel - proportion d'ajouts et d'adjuvants - teneur globale et nature des alcalins	- humidité/contact avec l'eau - température - apport externe d'alcalins	- système de béton - dimensionnement

2
Mur latéral d'un passage souterrain pour piétons dans le canton de Neuchâtel: on distingue au milieu du remplissage fissural sombre le gel clair produit par une RAG
(Illustrations: B-I-G, Büro für Ingenieurgeologie)

souvent mitigée.
On peut opérer une distinction entre les RAG rapides et les RAG lentes. La réaction rapide s'amorce après quelques années seulement, tandis que la réaction lente n'est perceptible qu'au terme de plusieurs décennies.

Granulats sensibles à la RAG

La figure 3 présente les principaux types de roches susceptibles de comprendre des minéraux sensibles à la RAG. Parmi les roches plutoniques rencontrées en Suisse, ce sont surtout les granites et les granodiorites qui peuvent receler des minéraux réactifs, tels qu'ils sont décrits dans la figure 3. Les séries volcaniques – comme en recoupe par exemple le tunnel de base du St-Gothard – sont moins courantes et s'avèrent souvent impropres à fournir des granulats en raison de leurs propriétés mécaniques. Les roches métamorphiques, comme celles qui sont décrites dans la figure 3, sont largement répandues dans le domaine alpin. Les roches sédimentaires énumérées sont également courantes dans notre pays.

Dégâts dus à la RAG en Suisse

En Suisse, la plus grande partie du béton est encore fabriqué avec des granulats de sables et graviers alluviaux, arrondis, de composition pétrographique hétérogène. Susceptibles de contenir des composants sensibles à la RAG, comme ceux qui sont mentionnés dans la figure 3, ces matériaux peuvent également provoquer des réactions indésirables. Jusqu'à présent, seuls quelques rapports ont été publiés en Suisse au sujet de dégâts incontestablement provoqués par une RAG [2-5]. Si ces désordres sont encore peu connus, c'est notamment à cause d'une interprétation souvent erronée des examens du béton. Ils sont fréquemment pris pour des dégâts causés par le gel et apparus sub-

Roches	Minéraux
Roches plutoniques	
Granite Granodiorite	Quartz déformé, à extinction ondulante, feldspath altéré et fissuré
Roches volcaniques	
Rhyolite, dacite, andésite trachyandésite, basalte	Verre (acide ou basique) cristallisé en tout ou partie; tridymite; cristobalite; opale
Obsidienne, tuf volcanique	Verre siliceux plus ou moins cristallisé, souvent microfissuré
Roches métamorphiques	
Gneiss Micaschiste	Quartz à extinction ondulante, quartz recristallisé, fissures, feldspath et mica altérés
Quartzite	Quartz associé à un ciment quartzeux et opalin, quartz recristallisé sous la forme de microquartz à extinction ondulante ou quartz microfissuré
Roches sédimentaires	
Grès et siltite, Quartzite	Matrice siliceuse mal cristallisée, fissures opale; quartz microcristallin
Roches carbonatées gréseuses calcaire siliceux	Quartz et matrice silicatée
Chaille, silex	Calcédoine, opale
Calcaire, dolomie, calcaire dolomitique	Silice de type opale, de répartition diffuse, sous la forme de micronodules associée ou non à des sulfures et des phyllites

3
Principaux types de roches et minéraux associés à la RAG (liste complétée selon [1])

séquemment dans le processus de dégradation. Le fait que l'on observe toujours plus de dégâts causés par une RAG est également dû aux raisons suivantes:
- une proportion élevée de ciment (par rapport aux 300 kg par m^3 de béton usuels autrefois)
- une teneur en alcalins élevée dans certains ciments (par rapport au passé)
- l'utilisation de matériaux de substitution (p. ex. granulats concassés)

La fissuration caractéristique de la RAG est bien reconnaissable dans les figures 4–6. Le béton de ces ouvrages a été fabriqué avec des graviers alluviaux, comme cela se fait couramment. Des dégâts incontestablement imputables à une RAG ont été observés dans la plupart des régions de Suisse.

4
Galerie dans le canton de Berne: fissuration caractéristique de la RAG, avec des dépôts calcaires

Sécurité et assainissement des ouvrages dégradés par la RAG

La réaction alcali-granulat provoque une réduction de la résistance mécanique. De plus, les fissures qu'elle fait naître permettent à l'humidité de pénétrer dans le béton, si bien que l'apparition de dégâts subséquents est inévitable (gel, sel de déverglaçage, corrosion de l'armature, efflorescences, etc.). Dans la plupart des cas, les ouvrages affectés par une RAG ne présentent pas de graves problèmes de sécurité pour ce qui est de leurs fonctions statiques. Le principal danger réside dans l'éclatement éventuel du béton. Des plaques d'une taille pouvant aller jusqu'à 1 m risquent de se détacher des secteurs où il n'est pas armé. En outre, un béton fissuré en surface s'avère parfois inesthétique (ouvrages de prestige, piscines, etc.). L'intégrité de la structure et l'aptitude au service des constructions affectées dépendent souvent de la nature des dégâts subséquents et de leur évolution. On ne connaît aucun cas dans le monde où un ouvrage se serait effondré à cause d'une RAG. En revanche, des constructions dégradées par ce mécanisme ont été démolies et reconstruites après quelques années seulement. Certains ouvrages affectés par la RAG doivent faire l'objet d'un examen visant à déterminer s'ils ont conservé leur efficacité (galeries contre les avalanches et les chutes de pierres, constructions parasismiques, etc.). En tout état de cause, il y a lieu de contrôler régulièrement les ouvrages attaqués par la RAG et de surveiller l'évolution des dégâts. Un catalogue de mesures est en cours d'élaboration de concert avec l'Office des ponts et chaussées du canton de Berne (arrondissement de l'ingénieur en chef I). La démarche consiste à partir d'un inventaire des désordres dus à la RAG d'identifier les ouvrages susceptibles de présenter un problème de sécurité. L'aptitude fonctionnelle de ces constructions fait alors l'objet d'un examen approfondi (à l'exemple de la galerie de la figure 4). De surcroît, il convient de rechercher des méthodes de surveillance et d'assainissement appropriées et de les évaluer.

Généralement très coûteux, l'assainissement des ouvrages affectés par la RAG est rarement couronné de succès. Les tentatives visant à protéger les surfaces en béton fissurées contre l'intrusion d'eau ou d'humidité en les recouvrant d'une peinture protectrice (p. ex. à

5
Mur de soutènement en Valais: des fissures dues à la RAG sont bien visibles dans la zone exposée aux intempéries

6
Mur de soutènement dans les Grisons: dans la partie supérieure du mur, des fissures dues à la RAG sont accompagnées d'efflorrescences calcaires bien marquées

base de silane, siloxane, acryle ou silicone) ou en les imprégnant (p. ex. avec une résine époxy) ont montré qu'on pouvait rarement juguler le développement d'une RAG. Des produits d'imprégnation à base de lithium devraient donner certains résultats. Dans certains cas, on a essayé de recourir à des mesures de construction (p. ex. membrane de protection) pour empêcher l'eau de s'introduire dans le béton. Mais pour que l'assainissement réussisse vraiment, il faut habituellement ôter les portions endommagées et les remplacer par des bétons résistants à la RAG.

Normes

Contrairement à ses voisins, la Suisse ne possède pas de normes, recommandations ou directives traitant de la réaction alcali-granulat. Cependant, l'état actuel des connaissances permet déjà de prendre certaines dispositions préventives, de nature à empêcher le déclenchement d'une RAG. Elles consistent à:

- limiter la quantité d'alcalins dans le mélange de béton
- recourir à des ciments composites et/ou à des ajouts (cendres volantes, microsilice, laitiers granulés, substances pouzzolaniques)
- empêcher l'eau d'entrer en contact avec le béton et l'humidité d'y pénétrer, en mettant en œuvre des mesures de construction
- éviter les granulats sensibles à la RAG

Si l'échange de granulats sensibles à la RAG contre des matériaux inertes est prévu par les normes, il est rarement mis en œuvre dans la pratique pour des raisons écologiques et économiques. En prenant des mesures appropriées, on peut obtenir un béton satisfaisant à des exigences très sévères, sans craindre des dégâts de type RAG, tout en utilisant des granulats sensibles à cette réaction. Les mesures à prendre dépendent du type de construction, de l'importance de l'ouvrage, des exigences formulées à l'endroit du béton, de l'exposition aux intempéries, de la disponibilité des divers composants du béton (type de ciment, granulats, eau, etc.), ainsi que de critères d'ordre économique.

Recommandations aux maîtres d'ouvrages et auteurs de projets pour éviter les dégâts dus à la RAG

L'adage «mieux vaut prévenir que guérir» reste d'actualité lorsqu'il est question de réactions alcali-granulat. Comme déjà évoqué, de nombreuses normes, recommandations et directives sont consacrées à ce sujet à l'étranger. Chaque pays a édicté ses propres prescriptions, en fonction des conditions climatiques locales, des matières premières minérales disponibles (nature, quantité) et des exigences formulées à l'endroit du béton. En Suisse, il y a lieu d'agir dans ce sens. Cependant, certains ouvrages ont déjà exigé que l'on aborde la problématique de la RAG. C'est pourquoi il est possible de proposer un arbre de décision (figure 7), qui a fait ses preuves jusqu'à présent et qui peut être recommandé au titre de guide. Le premier pas à accomplir pour prévenir les RAG consiste à établir une matrice de risque.

Matrice du risque de RAG

A l'avenir le maître de l'ouvrage et l'auteur du projet devront impérativement collaborer avec des experts pour soumettre les ouvrages en béton qu'ils prévoient de construire à une matrice du risque de réaction alcali-granulat. Basée sur la catégorie de l'ouvrage, la réactivité des granulats et l'exposition de la construction aux intempéries, cette matrice d'évaluation permet de définir le niveau de prévention requis vis-à-vis de la RAG et de prendre les mesures qui s'imposent au plan de la construction et de la technologie du béton. La classe correspondant au niveau de prévention le plus élevé comprend les ouvrages pour lesquels on ne peut tolérer aucun risque de dégâts causés par une RAG. Il s'agit des

- usines hydrauliques (notamment les barrages) et centrales atomiques
- ouvrages souterrains (notamment les constructions en tunnel)
- ponts, viaducs et galeries
- ouvrages de prestige et bâtiments publics (p. ex. les piscines)

Schéma d'investigation

La figure 7 présente un schéma d'investigation pour établir le risque de réaction alcali-granulat, qui s'est révélé bien adapté aux conditions prévalant en Suisse. La séquence d'investigation est composée d'une série modulaire d'examens, si bien que la procédure peut être interrompue dès que l'on obtient un résultat probant. Le choix des analyses est également déterminé par le fait qu'elles doivent être rapides et aussi bon marché que possible. Cette procédure permet d'obtenir en quelques jours des informations fiables sur la sensibilité des granulats à la RAG et de prendre les mesures appropriées.

Analyse pétrographique macroscopique et microscopique

Objectif: repérer et déterminer les roches et les minéraux potentiellement sensibles à la RAG, donc nuisibles au béton.

Exécution: appréciation macroscopique et si nécessaire analyse microscopique de lames minces.

Durée: exécutable en 1–3 jours; l'analyse minéralogique et pétrographique sert de base de décision pour la suite de la procédure.

Remarque: l'analyse pétrographique livre des résultats très fiables, pour autant qu'elle soit exécutée par un géologue (minéralogiste, pétrographe) expérimenté en matière de RAG.

Essai microbar [6]

Objectif: repérer les matériaux rocheux potentiellement sensibles à la RAG.

Exécution: mesure de l'expansion en milieu alcalin d'échantillons de mortier comprenant les granulats prévus

Durée: 4 jours

Remarque: au bout d'environ 7 jours, on dispose, au terme de l'analyse pétrographique et de l'essai micro-

bar, d'informations suffisamment fondées pour apprécier si les granulats sont «non réactifs», «potentiellement réactifs» ou «réactifs à effet de pessimum».

Bilan des alcalins

Objectif: déterminer, ou du moins estimer, la teneur du mélange de béton en alcalins solubles, susceptibles de participer à une RAG.
Exécution: pour être en mesure de calculer précisément le bilan des alcalins compris dans un mélange de béton, il faut connaître la teneur en alcalins libres de tous ses composants (ciment, granulats, ajouts, adjuvants, eau de gâchage). Or il n'est pas toujours possible de déterminer toutes ces teneurs, pour des raisons de délais et de coûts. Mais comme la concentration en alcalins libres du béton émane essentiellement du ciment (à raison de plus de 80%), il est possible d'obtenir un premier bilan sommaire en se basant sur la quantité d'alcalins libres compris dans le ciment Portland qui, elle, est connue.
Durée: 1 jour
Remarque: cette estimation indique déjà si le béton est largement au-delà ou en deçà de la valeur limite recommandée pour les alcalins (environ 3 kg par m^3 de béton). Si le seuil est largement dépassé, il y a lieu d'adapter la formulation du béton et de procéder à un test de performance.

Test de performance [7]

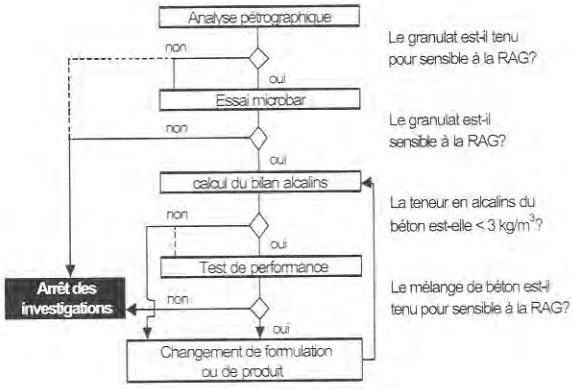
Objectif: évaluer si un mélange de béton comprenant des granulats réactifs est résistant ou non à la RAG.
Exécution: confection d'échantillons de béton comprenant les composants originaux, selon la formulation prévue; comme dans l'essai microbar, on détermine l'expansion des échantillons.
Durée: 3–5 mois
Remarque: il s'agit d'un essai de longue durée, qui sert plutôt de test final.

Recommandations à l'attention de l'industrie du béton

Comme déjà évoqué, la réaction alcali-granulat est influencée par différents facteurs (figure 1). Les fournisseurs de produits afférents à l'industrie du béton (ciment, granulats, ajouts, adjuvants) seront confrontés toujours davantage au problème de la RAG. Il est important que chaque fabricant connaisse la sensibilité de ses produits à cet égard et la contrôle à intervalles réguliers. Il s'agit notamment, pour l'industrie du ciment, des ajouts et des adjuvants, de surveiller les teneurs en alcalins libres et en silicates des matériaux qu'elle livre et de les indiquer dans les déclarations de produits. Les fournisseurs de gravier doivent être en mesure de livrer des données relatives à la sensibilité de leurs granulats vis-à-vis de la RAG.

Exemples actuels tirés de la pratique

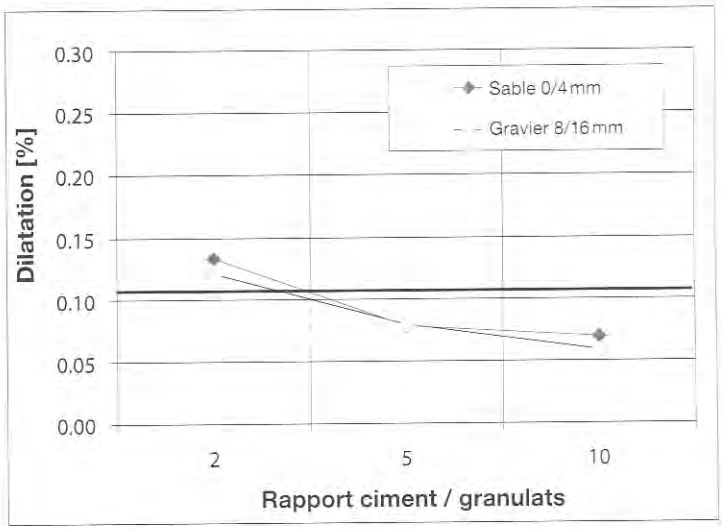
Cette section présente deux exemples tirés de la pratique, où des ouvrages requièrent des systèmes de béton résistant aux réactions alcalis-granulats.



7
Séquence d'investigation afférente à la RAG

Ouvrages d'art dans l' Oberland bernois

Sensibilisée par la recrudescence dans l'Oberland bernois de diagnostics concluant à un désordre dû à une RAG, la direction du projet «correction du Dangelstutz» (arrondissement de l'ingénieur en chef I, Thoune) a décidé d'examiner la sensibilité à cette réaction des systèmes de béton prévus. La démarche est justifiée par le fait que les constructions en béton projetées relèvent du niveau le plus élevé de prévention vis-à-vis de la RAG. Mais comme les travaux de bétonnage étaient près de commencer, il a fallu procéder aux investigations en urgence. Elles ont suivi le schéma d'investigation de la figure 7.
L'analyse pétrographique était achevée après quelques jours. Il en a résulté que les granulats devaient être considérés comme réactifs. L'essai microbar sur les granulats prévus s'en est directement suivi, si bien que les premiers résultats étaient disponibles après six jours ouvrables. L'essai microbar a également révélé que les fractions de granulats étudiées (sable 0-4 mm et gravier 8-16 mm) pouvaient s'avérer sensibles à la RAG. Selon la norme AFNOR, le seuil de non-réactivité des granulats correspond à une dilatation linéaire inférieure à 0,11% (figure 8).



8
Essai microbar sur les granulats. La réactivité est déterminée en fonction de la dilatation linéaire. Les granulats qui présentent un taux de dilatation < 0,11% pour tous les rapports ciments / granulats sont considérés comme non réactifs.

Le temps pressant, il n'a pas été possible de déterminer le bilan des alcalins en tenant compte de tous les composants du béton (ciment, granulats, ajouts, adjuvants, eau de gâchage). Aussi le bilan a-t-il été calculé à partir de la teneur en alcalins libres du ciment, donnée par le fabricant. Le mélange prévu comprenait 450 kg de ciment (CEM II/A-L 32.5R) par mètre cube de béton projeté, contre 325 kg pour le béton résistant au gel. L'estimation de la concentration en alcalins libres a montré que le béton projeté ne pouvait notamment pas respecter la valeur limite recommandée pour les alcalins.

Pour prévenir tout dégât dû à une RAG sans engendrer de retard dans les travaux, il a été décidé de modifier la formulation du béton afin de réduire son contenu en alcalins libres. Le but a été atteint en échangeant une partie du ciment contre des cendres volantes. Jusqu'à 20% du ciment a ainsi été remplacé dans le cas du béton projeté et jusqu'à 15% pour le béton coulé sur place. Il a été possible d'opérer rapidement, car la centrale à béton comportait déjà un silo de cendres volantes. Ainsi, le béton a pu respecter la valeur limite recommandée pour les alcalins.

Afin de s'assurer que la formulation modifiée du béton le rendait effectivement résistant à la RAG, il a été soumis à un ultime test de performance. Le taux d'expansion de 0,004%, relevé au terme de neuf mois de mesures, était nettement inférieur au seuil de 0,02%.

Le changement des systèmes de béton s'est opéré sans grande difficulté. L'ajout de cendres volantes a toutefois ralenti le développement de la résistance initiale, à telle enseigne qu'il a fallu attendre 90 jours pour que la plupart des caractéristiques du béton durci soient comparables aux valeurs bien connues à 28 jours.

Le recours aux cendres volantes s'est révélé judicieux au plan pratique. Les réserves relatives à l'évolution de la résistance mécanique furent minimes, tandis que le résultat s'avéra très bon en ce qui concerne la résistance à la RAG.

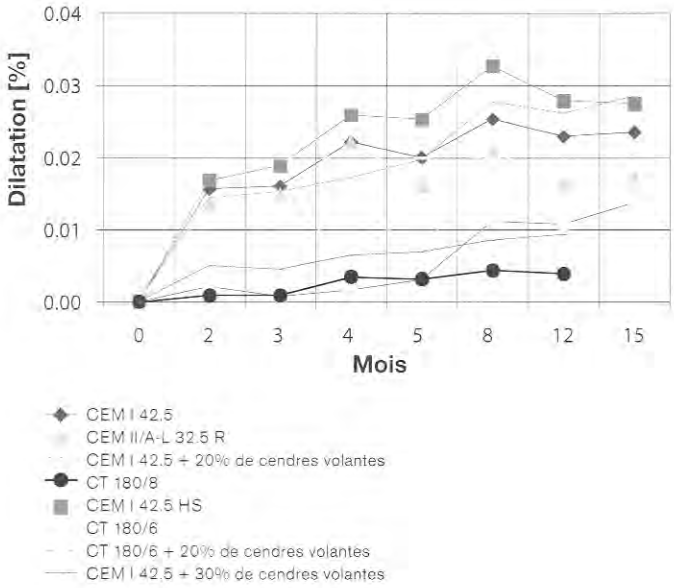
Béton projeté pour le chantier AlpTransit du Lötschberg

Les systèmes de béton appliqués aux ouvrages d'AlpTransit sont soumis à des exigences élevées quant à leur durabilité. Les maîtres des ouvrages exigent que le béton leur confère une durée de fonctionnement d'au moins 100 ans. Un fabricant de ciment bien connu a fait analyser de sa propre initiative plusieurs mélanges de béton projeté éventuellement applicables à la partie septentrionale du tunnel de base du Lötschberg, confectionnés avec différents types de ciments, pour connaître leur résistance à la réaction alcali-granulat. Les analyses ont suivi la séquence d'investigation de la figure 7.

Les granulats utilisés pour ces investigations ont été préparés avec des matériaux de creusement du tunnel provenant d'un tronçon important du chantier nord d'AlpTransit.

Tant l'analyse minéralogique et pétrographique que l'essai microbar ont révélé que les granulats en question devaient être considérés comme sensibles à la RAG. Les types de ciment suivants ont servi au test de performance qui s'en est suivi: CEM I 42.5, CEM I 42.5 HS, CEM II/A-L 32.5 R et CT 180. Ce dernier correspond à un CEM II/A-M 52.5 comprenant 10% de calcaire et 6%, respectivement 8% de microsilice. L'étude a également porté sur des ciments auxquels on a ajouté des cendres volantes (CEM I 42.5 et CT 180). Les taux d'expansion mesurés lors du test de performance (figure 9) indiquent que ce sont les mélanges recourant à un CEM I pur qui sont les moins résistants à la RAG.

Le test a duré douze mois – la norme en préconise cinq – afin d'appréhender le comportement à long terme des bétons. Il ressort clairement de la figure 9 que le CT 180 avec 8% de microsilice donne le béton le moins expansif. Les mélanges suivants restent également en deçà du seuil de 0,02%: CT 180 avec 6% de microsilice et 20% de cendres volantes, CEM I 42.5 avec 30% de cendres volantes et CT 180 avec 6% de microsilice.



9

Test de performance (sans ajout d'alcalins) exécuté avec différents types de ciment: les mélanges de béton qui présentent un taux de dilatation inférieur à 0,02% après cinq mois sont considérés comme non sensibles à la RAG

Résumé

En Suisse également, les dégâts au béton occasionnés par la réaction alcali-granulat (RAG) sont incontestablement en recrudescence. Aussi est-il indispensable de déterminer la sensibilité à cet égard des granulats et du mélange de béton lorsque les ouvrages projetés revêtent une certaine importance. Comme la Suisse ne dispose d'aucune norme traitant de la RAG, il est recommandé d'appliquer le programme d'investigation exposé dans le présent article. La procédure se base sur les examens préconisés par les normes françaises, qui se prêtent bien aux roches rencontrées en Suisse. Ses concepteurs ont veillé d'une part à ce que les examens soient de nature à livrer des résultats fiables dans le délai le plus court

possible, soit quelques jours, et d'autre part à ce que les frais d'investigation restent modiques, au contraire des assainissements qui pourraient s'avérer nécessaires.
Les exemples pratiques exposés ici montrent qu'il y a lieu de prendre au sérieux la question de la RAG. Il en ressort en outre clairement qu'il est possible de concevoir des mélanges de béton très résistants à la RAG et présentant les caractéristiques mécaniques voulues, tout en recourant à des granulats réactifs.

Remarque finale

Il existe un risque que le problème de la RAG suscite une réaction disproportionnée et que les auteurs de projets en viennent à exiger des bétons résistants pour toutes les constructions. On a par exemple observé une telle attitude au début des années 1970 au sujet du sel de déverglaçage. Il a fallu un certain temps avant que les bétons résistants au sel ne soient plus utilisés que là où cela s'avérait judicieux. Aussi est-il important d'aborder le problème de la RAG en élaborant une matrice de risque, afin de pouvoir prendre si nécessaire les mesures préventives qui s'imposent. Sensibilisés par la recrudescence des désordres dus à la RAG, certains ingénieurs cantonaux (BE, VS, VD) exigent déjà la preuve que les systèmes de béton prévus pour les ouvrages de niveau de prévention élevé sont résistants à cet égard.
Les mécanismes régissant les RAG ne sont pas encore définitivement élucidés. Le besoin de consentir des efforts pour mieux les comprendre se fait ressentir à l'échelle mondiale. Les avis divergent, notamment en ce qui concerne l'humidité ambiante nécessaire au déclenchement d'une RAG. Il y a également lieu de travailler à l'élaboration de directives et de recommandations au plan suisse, afin d'uniformiser la procédure d'investigation. D'ici leur parution, nous préconisons d'appliquer la démarche exposée dans cet article pour déterminer la sensibilité d'un béton à la RAG.

Gerhard Rytz , chimiste, Dr phil. nat., Kurt Strahm, responsable du marketing, Ciment Vigier SA, 2603 Péry, Cédric Thalmann, ingénieur géologue, Dr. sc. nat. EPFZ, B-I-G Büro für Ingenieurgeologie, Gurtenbrauerei, 3084 Wabern, Christian Wyss, géologue diplômé, TransGeo, Dorfstrasse, 3084 Wabern, Jürg Zingg, ingénieur civil chef de projet, Office des ponts et chaussées du canton de Berne, Arrondissement d'ingénieur en chef I, Schlossberg 20, 3601 Thoune

Bibliographie

1 LCPC (1994): Recommandations pour la prévention des désordres dûs a l'alcali-réaction. Ministère de l'Equipement, du Logement et des Transport, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris.
2 Hammerschlag J.-G. et Regamey J.-M. (1995): Barrage de L'Ilsee – assainissement. Research and development in the field of dams, Proceedings, September 1995, Crans-Montana, Switzerland.
3 Leemann A., Thalmann C. und Kruse M., (1999): Gebrochene Zuschlagstoffe – Ergänzende Prüfungen zu den bestehenden Beton-Normen – Erfahrungen bei AlpTransit Gotthard, Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 24, 1999.
4 Thalmann C. und Wyss Ch. (2000): Betonzuschlagstoffe, die eine Alkali-Aggregat-Reaktion auslösen können – Empfehlungen an die Schweizerische Kies- und Betonindustrie. Die Schweizer Baustoff-Industrie 4/2000.
5 TFB-Cementbulletin (2000): Réaction alcali-granulats. 1er partie dans le n° 5/68 (mai 2000), 2e partie dans le n° 9/68 (septembre 2000).
6 AFNOR P18-588 (1991): Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin – Essai accéléré sur mortier microbar. Association Française de Normalisation, Paris.
7 LCPC (1994): Recommandations pour la prévention des désordres dûs a l'alcali-réaction, Annexe G: Test de performance d'une formulation de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction. Ministère de l'Equipement, du Logement et des Transport, Laboratoire central des ponts et chaussées, Paris.