

La réaction alcali-granulat (RAG)

La réaction alcali-granulat (RAG) est un processus de dégradation physico-chimique lent du béton. La solution de pore alcaline du béton réagit avec certaines phases des granulats. Cette réaction engendre une prise de volume et une fissuration du béton.

La RAG est une réaction particulièrement lente: les premiers symptômes visibles peuvent apparaître plusieurs dizaines d'années après la construction. La RAG a été mise en évidence pour la première fois aux USA en 1940 (Stanton). Ce n'est cependant que vers la fin des années 90 qu'elle a été diagnostiquée en Suisse. Depuis 2012, une réglementation normative de la RAG existe en Suisse avec le cahier technique SIA M 2042.

1 Processus

Certaines phases de granulats de bétons sont composées de silice (SiO_2) amorphe ou mal cristallisée et sont dissoutes sous l'effet du potentiel hydrogène (ou pH) fortement basique de la solution de pores du béton. Les alcalins de la solution de pore se combinent avec la silice dissoute pour former un gel hygroscopique (fig. 1). Ce gel gonfle en absorbant de l'eau. Les granulats se fissurent sous la pression exercée par le gel. Alors que la réaction chimique avance, la formation de gel augmente et la fissuration se propage dans la pâte de ciment. Ceci se traduit par l'apparition d'un faïençage caractéristique à la surface du béton (fig. 3).

La RAG peut se développer aussi bien localement que de manière généralisée dans un élément. Elle peut se développer en surface mais également dans toute la section d'un élément en béton. La fissuration due à la RAG favorise l'accès de l'humidité, des ions chlorures et des alcalins dans le béton. Ce phénomène peut accélérer la réaction dans certaines circonstances.

Trois composants sont nécessaires à la RAG :

- des granulats réactifs,
- une solution de pores alcaline et
- de l'eau.

La majorité des granulats suisses contient des quartz fins et doit donc être considérée comme potentiellement réactive. Les alcalins du béton proviennent principalement du ciment et l'eau peut être présente en quantité importante dans certains ouvrages. L'apparition de fissures induites par la RAG réduit progressivement la résistance à la traction et le module élastique du béton, puis la résistance à la compression.

La RAG peut être particulièrement critique pour des éléments encastrés ou mobiles tels que des appareils d'appui de ponts ou des portes d'écluse ou encore des ouvrages entiers tels que des barrages.

2 La RAG en Suisse

Les granulats suisses contiennent quasiment tous des phases potentiellement réactives comme des calcaires siliceux, des grès ou des gneiss. Cependant, il y a en Suisse des variations

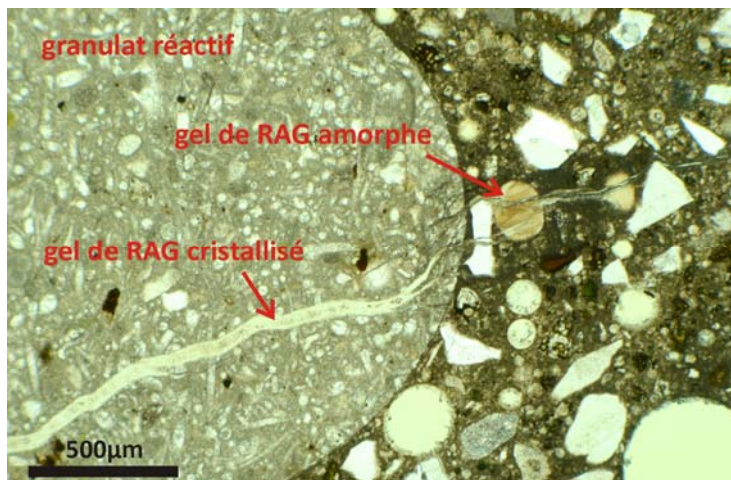


Figure 1: Gel de RAG mis en évidence sur lame mince.

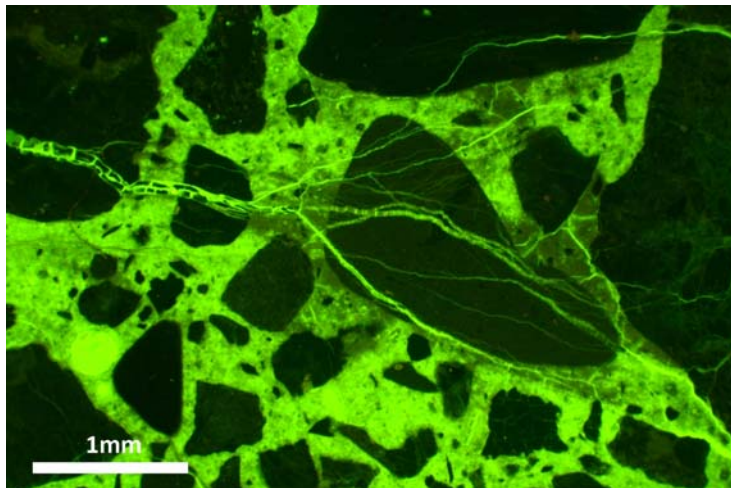


Figure 2: Fissures dues à la formation de gel de silice mises en évidence sur lame mince.



Figure 3: Faïençage caractéristique de la RAG sur un mur de soutènement.

régionales en ce qui concerne la fréquence et l'intensité des dégâts liés à la RAG dans les structures en béton. Les dégâts les plus fréquents et les plus importants se situent dans l'arc alpin, notamment en raison d'un plus grand nombre d'ouvrages exposés, tels que les murs de soutènement, saturés en eau par l'amont et exposés au soleil depuis l'aval.

3 Diagnostic, remise en état et monitoring

Afin de diagnostiquer la RAG dans un béton, il est impératif d'effectuer une analyse microscopique (fig. 1 et 2). Le faïencage caractéristique de surface (fig. 3) peut permettre de soupçonner une RAG. Cependant, un diagnostic de l'état général de l'ouvrage, plus particulièrement des zones invisibles (par exemple le béton du cœur, les fondations ou l'arrière d'un mur de soutènement), ne peut être effectué qu'au travers de prélèvements de carottes.

Une analyse microscopique permet de confirmer la présence de RAG dans un échantillon, mais peut également permettre d'estimer l'avancement de la réaction.

La remise en état d'un ouvrage touché par la RAG peut dans une première phase être effectuée en réduisant l'apport d'eau dans l'élément par une imprégnation hydrofuge.

Une mesure supplémentaire est de remplacer le béton de surface. Les éléments les plus détériorés doivent même être remplacés intégralement. Dans tous les cas, un monitoring des éléments sur le long terme est fortement conseillé [3]. Cette mesure permet un suivi sur le long terme par des experts et fournit des données d'expansion en continu. Il en résulte une surveillance accrue de l'évolution de l'expansion et de l'efficacité d'éventuelles mesures de remise en état effectuées. Une prédiction de l'évolution des déformations d'un ouvrage peut être assistée par des essais d'expansion résiduelle sur carottes effectués en laboratoire.

4 Prévention de la RAG (SIA M 2042)

La résistance à la RAG d'un béton peut être augmentée en réduisant la teneur en alcalins du ciment. Cette mesure est possible soit en réduisant la teneur en ciment du mélange, soit en remplaçant une partie du ciment par des additions minérales, soit d'utiliser un ciment contenant d'autres constituants principaux (laitier de haut fourneau, cendres volantes, fumée de silice).

Le remplacement de granulats réactifs par des non réactifs est en général impossible à réaliser pour des raisons de coût. Des mesures constructives peuvent également améliorer la résistance à la RAG : l'accès de l'eau au béton doit être réduit au maximum et de façon durable à l'aide de drainages et/ou d'étanchéités.

Depuis 2012, le cahier technique SIA 2042 « Prévention des désordres dus à la réaction alcalis-granulats (RAG) dans les ouvrages en béton » fait foi en Suisse et remplace les directives

cantonales, des CFF et de l'OFROU. Le cahier technique contient les directives nécessaires pour la conception de nouveaux ouvrages ainsi que les méthodes d'essais pour la caractérisation des granulats et des bétons en ce qui concerne leur alcali-réactivité. Les essais suivants sont proposés :

1) La réactivité des granulats peut être testée via l'essai micro-bar. Des prismes de mortier (1 x 1 x 4 cm³) sont confectionnés avec de la farine de granulats moulus et mis en autoclave durant 6h à 150°C dans une solution de NaOH. L'expansion mesurée est ensuite comparée à des valeurs limites.

2) La réactivité des bétons est testée via l'essai de performance. Des prismes (7 x 7 x 28.2 cm³) sont confectionnés en laboratoire avec la recette du béton à tester et mis dans une atmosphère à 60°C et une humidité relative de 100% durant 5 mois. Ils sont mesurés mensuellement. Les résultats d'essais dépendent fortement de la recette de béton testée. S'il n'y a aucune modification des matières premières susceptible d'influencer la RAG (SIA M 2042, tableau 2), les résultats de l'essai de performance sont valables 5 ans. Lors de la planification de nouveaux ouvrages avec des exigences de résistance à la RAG des bétons, les classes de risque, d'environnement et de prévention sont à définir selon le cahier technique SIA M 2042. En fonction de ces classes, des bétons résistants à la RAG devront être utilisés et les mesures de construction nécessaires devront être prises. Les essais selon le cahier technique SIA M 2042 doivent être effectués par des laboratoires accrédités et l'interprétation des résultats d'essais nécessite l'intervention de personnes compétentes.

Références

[1] [Dégâts dus à la réaction alcali-granulats dans les ouvrages en béton en Suisse \(2006\)](#); Forschungsauftrag AGB2001/471, Dr. Ch. Merz, Dr. F. Hunkeler, Dr. A. Griesser, TFB AG.

[2] [Validation des essais RAG actuels pour les nouvelles constructions et les ouvrages atteints de RAG \(2011\)](#); Forschungsauftrag AGB2005/023, Dr. Ch. Merz, TFB AG; Dr. A. Leemann, EMPA.

[3] [Remise en état et surveillance des murs de soutènement et des ponts endommagés par la RAG \(2013\)](#); Forschungsauftrag AGB2006/006, Dr. F. Hunkeler, Dr. P. Kronenberg, TFB AG; Dr. U. Püschner, TBA Kt. Basel-Landschaft (jusqu'au 30.4.2012 TFB AG)

[4] SIA M 2042 „Prévention des désordres dus à la réaction alcalis-granulats (RAG) dans les ouvrages en béton“, SIA, 2012.

Dr Théodore Chappex

Dr Pascal Kronenberg

NOS PROCHAINES JOURNÉES TECHNIQUES

décembre 2014

02.12. Norme révisée SIA 267 Géotechnique

**Inscription : Compétences pour la construction, TFB AG,
062 887 72 77, schulung@tfb.ch, <http://www.bauundwissen.ch>**

THEMES EN PERSPECTIVE

- Bétonner à hautes et basses températures
- Loi fédérale sur les produits de construction

Impressum

Le bulletin TFB paraît plusieurs fois par année en version digitale. Éditeur : TFB SA Technologie et recherche pour le béton, Lindenstrasse 10, 5103 Wildegg ; pour la Suisse romande : TFB SA Romandie, 1070 Puidoux, T 021 635 14 44 ; e-mail bulletin@tfb.ch Rédaction : Dr Veronika Klemm