

Rapport technique / domaine du bâtiment et du génie-civil

Contenu : Réactions alcali-granulats dans le béton

Rédaction : Steve Lesquereux / 2300 La Chaux-de-Fonds

Date : 20 décembre 2006

Introduction

Pendant longtemps, on a cru que les granulats utilisés pour la fabrication du béton étaient chimiquement inertes. Depuis que le phénomène d'expansion et de détérioration précoce du béton par l'alcali-réaction a été identifié pour la première fois en 1940 dans un barrage aux Etats-Unis, le problème a été reconnu dans quasiment tous les pays du globe.

C'est aujourd'hui un sujet très étudié qui est à la 12^{ème} place au classement des causes de détériorations des ouvrages en béton.

La réaction alcali-granulat est une réaction chimique entre des granulats réactifs et les alcalins (sodium et potassium) contenus dans le ciment. Cette réaction produit une expansion à l'intérieur du béton qui va créer des tensions, puis des gonflements et des fissures.

Pour qu'une réaction alcali-granulat puisse se déclencher, il faut que 3 conditions soient réunies :

- **une teneur suffisante en alcalins**, dont la plus grande part est contenue dans le ciment mais que l'on peut également retrouver dans certains granulats (comme les verres volcaniques, les feldspats et les Micas), dans les ajouts (comme les laitiers et les cendres volantes qui contiennent beaucoup moins d'alcalin actif que le ciment) et les adjuvants qui sont peu actifs.

- **des granulats réactifs**, dont le type peut faire varier la réaction. Certains granulats ont une composition minéralogique plus réactive que d'autres. Un granulats concassé sera plus réactif qu'un granulats roulé car ses parties fraîchement mises à nu par le concassage présentent plus de matière réactive qu'un granulats roulé qui aura été poli. 85 à 90% des granulats utilisés en Suisse pour du béton sont considérés comme réactifs.

- **une humidité constante du béton** de 70 à 80% qui va permettre le transport des alcalins vers les phases réactives. On entend par là que seuls les ouvrages en béton qui sont constamment en contact avec de l'eau comme les piscines, les murs de soutènement, les tunnels, les barrages et autres ouvrages hydrauliques contiennent assez d'humidité pour que la réaction puisse se produire. On peut rajouter à ces ouvrages, tous les éléments en béton qui ne sont pas en contact avec l'eau, mais qui ont une grande épaisseur, dont l'humidité ne descend pas en général en dessous de 70%.

D'autres facteurs pourront influencer la réaction comme des hausses de température qui peuvent largement l'accélérer ou des charges alcalines externes dues aux eaux souterraines, aux eaux sulfatées et aux eaux issues des sels de déverglaçage.



Mur d'entrée d'un tunnel atteint d'une réaction alcali-granulat

Les types de réactions

Il existe 3 types de réactions alcali-granulats, la réaction alcali-silice, la réaction alcali-silicate ainsi que la réaction alcali-carbonate. Seules les 2 premières nous intéressent car les granulats réactifs de la 3^e réaction ne sont pas du tout utilisés pour la fabrication de béton en Suisse.

La réaction alcali-carbonate a quand même été observée en Suisse sur de vieux ouvrages en béton. Cette réaction est créée avec des granulats composés de dolomites argileuse et de calcaire à grains fins avec inclusion de minéraux argileux. A l'heure actuelle, aucun géologue ne donnerait l'autorisation d'exploiter une carrière composée de ces roches. Donc nous n'en parlerons pas plus dans ce rapport.

L'alcali-silice et l'alcali-silicate ont un processus de réaction presque semblable l'une de l'autre. Par contre, leur temps de réaction est très différent.

- **la réaction alcali-silice** est le type le plus courant des réactions qui se produit en général dans un délai de quelques années après la fabrication de l'élément en béton.
- **la réaction alcali-silicate** qui va se produire en général quelques décennies après la fabrication de l'élément en béton.

Mécanisme des réactions

1/ Granulat avec acide silicique sensible aux alcalins.

2/ Grâce à l'humidité relative du béton, il y a une migration des ions alcalins du ciment vers les granulats.

3/ Diffusion des ions alcalins et de l'eau à l'intérieur du granulat et réaction avec l'acide silicique sensible aux alcalins pour former du gel de silice.

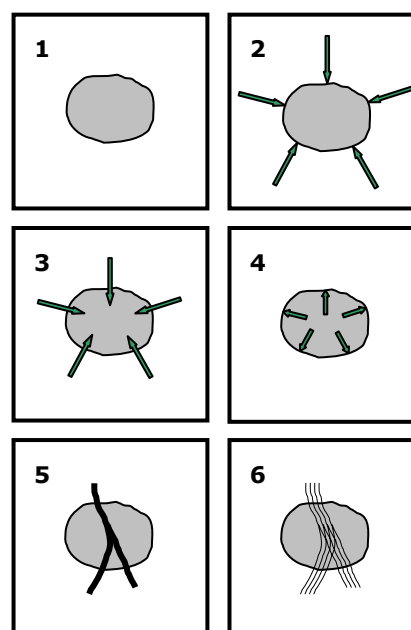
4/ Augmentation de la pression à l'intérieur du granulat due à la poursuite de la réaction et à l'absorption d'eau.

5/ Lorsque la résistance à la traction du granulat est dépassée, il y a fissuration suivie d'une faible formation de gel de silice.

6/ Désagrégation du granulat suivi d'une forte formation de gel.

Familles de roches	Types de roches
Roches magmatiques	- granites - granodiorites - diorites - rhyolites - dacites - andésites - basaltes - obsidiennes - tufs
Roches sédimentaires	- grès - grauwackes - siltites - silex - calcaires siliceux
Roches métamorphiques	- gneiss - schistes - mylonites - quartzites - cornéennes

Roches sensibles aux réactions alcali-silices et alcali-silicates



Les dégâts

Avec la quantité d'ouvrages touchés en Suisse par les réactions alcali-granulats, nous avons pu relever plusieurs types de dégâts.

La fissuration en réseau est le dégât le plus fréquemment rencontré sur les parements des ouvrages atteints par les réactions. Cette fissuration est généralement irrégulière et peut prendre la forme d'un faïençage avec des mailles de petites dimensions (20 à 50 mm). Elle peut aussi prendre la forme d'un réseau de fissures de dimension plus grande (30 à 40 cm).

Les ouvertures des fissures sont variables suivant l'état d'avancement des réactions. Elles peuvent être de quelques dixièmes de millimètres pour un petit faïençage et atteindre quelques millimètres pour une fissuration à larges mailles.

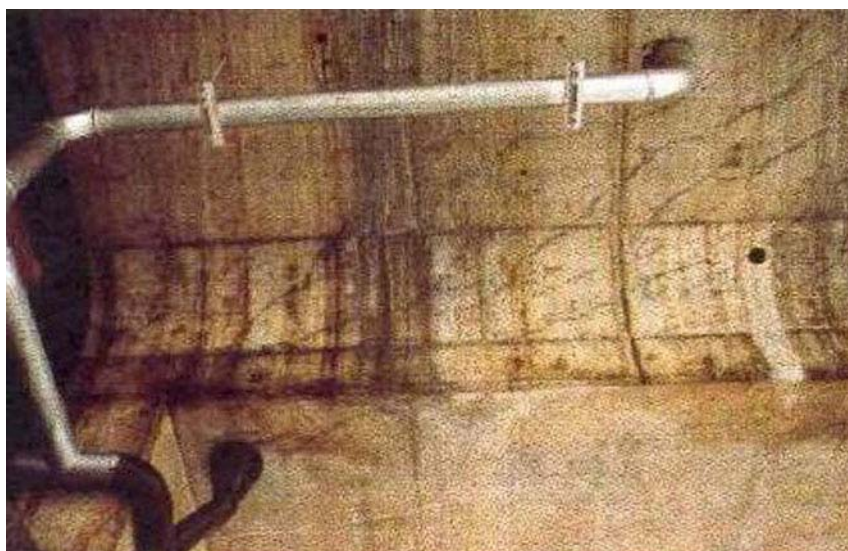
La profondeur des fissures évolue aussi en fonction du degré d'avancement des réactions. Elle peut atteindre quelques centimètres, voire se propager en profondeur jusqu'au stade ultime où la paroi en béton se transforme en un assemblage de moellons retenus par les armatures.

Ces fissures sont souvent soulignées par une couleur blanchâtre provenant de l'exsudat du gel de silice qui ressort à la surface du béton ou par une couleur brunâtre due à la corrosion des armatures.

Un autre type de fissuration plus rare a été découvert sur certains ouvrages, c'est la fissuration orientée qui reproduit sur le parement du béton le tracé des contraintes régnant au sein de l'élément.



Exemple de faïençage souligné par la corrosion



Exemple de fissurations orientées

Les normes

Contrairement aux autres pays européens touchés par les réactions alcali-granulats, la Suisse ne possède pas encore de norme, de recommandation ou de directive traitant des réactions alcali-granulats, mais les spécialistes et producteurs suisses du ciment sont actuellement en train de mettre une norme sur pied. Par contre, nos connaissances nous permettent de prendre aujourd'hui certaines dispositions préventives de manière à empêcher le déclenchement d'une réaction alcali-granulat. Ces dispositions consistent à :

- Limiter les alcalins dans le mélange de béton.
- Recourir à des ciments composés de fumées de silice, cendres volantes et laitiers de haut fourneau.
- Eviter que l'eau n'entre en contact avec le béton en mettant en œuvre des mesures constructives.

Les possibilités de réparation

Il n'existe pas à l'heure actuel de traitement qui soit suffisamment efficace pour réparer définitivement les ouvrages malades ou de stopper l'évolution des désordres.

Il y a quand même quelques méthodes qui peuvent freiner l'évolution des réactions comme :

- L'injection de résines époxy dans les fissures, qui va empêcher l'eau de rentrer à l'intérieur de celle-ci mais qui ne va nullement protéger le reste du parement. Donc au bout d'un certain temps, les fissures peuvent se rouvrir ou de nouvelles peuvent se créer à proximité.

Exemple d'une fissure injectée dont le cachetage s'est fissuré après la réparation

- L'application de peinture sur les ouvrages touchés constitue le moyen le plus simple et le plus économique comme protection contre l'eau mais son efficacité est très faible et peut parfois se retourner contre l'élément lui-même en empêchant l'évacuation de son humidité.
- la pose d'une étanchéité est la meilleure protection pour stopper l'eau dans un élément, mais il est parfois très compliqué et coûteux de poser une étanchéité sur un ouvrage déjà construit.
- La démolition et la remise en état de la face visible d'un élément est une bonne méthode pour lui redonner de son esthétique, mais elle ne stoppe pas la réaction et le fait de démolir les parties touchées peut fissurer les parties adjacentes et créer de nouvelles voies de venue d'eau qui faciliteront la prochaine réaction. En général, on ne répare que rarement un ouvrage touché par la réaction alcali-granulat, mais on attend plutôt que son état devienne critique et on le démolit complètement pour le refaire à neuf, ci-cela est possible.



Eviter la réaction par le mélange du béton

- La première solution pour éviter les désordres causés par les réactions alcali-granulats est de s'approvisionner en sable et en granulat non réactif, mais cela peut parfois causer un problème au niveau économique et écologique car les granulats non réactifs les plus près sont souvent très loin. Il existe à l'heure actuelle un essai qui peut être fait sur les granulats pour définir s'ils sont réactifs ou non. Cet essai s'appelle microbar et consiste à faire des prismes de 10x10x40mm avec un mortier composé seulement du granulat qui est soupçonné d'être réactif. Le granulat est finement broyé et mélangé à du ciment. Une fois les prismes conçus et durcis, ils sont mesurés, passés dans une cure de vapeur pendant 4 heures puis dans une cure alcaline sous autoclave de 6 heures et remesurés. Si après tout cela les prismes ont un allongement inférieur à 0.11% de leur longueur initiale, le granulat est considéré comme non réactif.

- La méthode la plus utilisée et la plus économique pour empêcher les réactions alcali-granulats est d'utiliser des ciments avec ajouts minérales. En effet, l'introduction d'additions minérales dans les ciments peut réduire ou annuler l'expansion provoquée par l'alcali-réaction. Les ajouts qui ont été utilisés avec succès sont : les fumées de silice qui piègent les alcalins, les cendres volantes qui piègent les alcalins et les laitiers de haut fourneau qui fixent et piègent les alcalins.

A l'heure actuelle, les ciments les plus bénéfiques pour contrer les réactions alcali-granulats sont : Modero 3B, Fortico 5R et Normo 4 + hydrolent. Il reste encore à voir si les ciments qui peuvent éviter les réactions sont adaptés à l'ouvrage à construire.

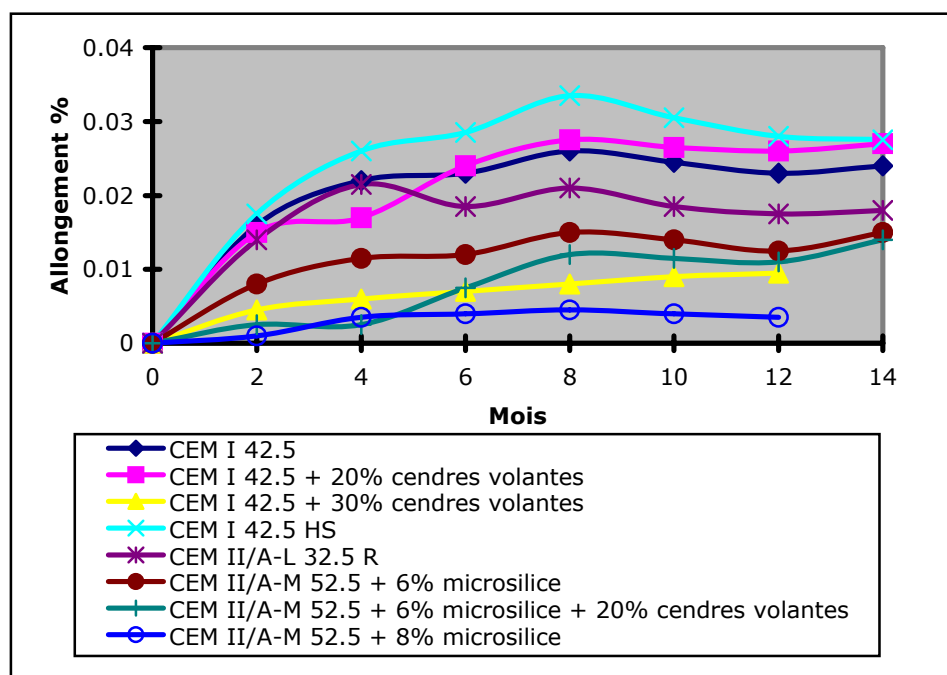
- Un rapport E/C en dessous de 0.5 a pour effet d'augmenter la résistance, tout en réduisant la perméabilité et la porosité du béton, ce qui va le protéger contre l'eau et les éventuels efforts d'expansion de la réaction.

Eviter la réaction par les méthodes de construction

Une des 3 conditions qui est nécessaire à la réaction pour se produire est l'eau. Il faut donc empêcher l'arrivée de l'humidité au sein d'un ouvrage. Un drainage avec une bonne étanchéité peut régler définitivement ce problème, mais aussi une bonne disposition des joints de l'ouvrage est importante. Il faut aussi faire très attention à la pose des armatures et bien respecter l'épaisseur minimale d'enrobage, car un fer qui ressort du béton va se corroder et créer une ouverture qui va amener de l'eau dans le béton.

L'exécution du bétonnage doit être soignée et le béton doit avoir une bonne ouvrabilité et être mis en place sans ségrégation, mais il faut aussi porter une attention toute particulière à la cure.

Tests exécutés sur des bétons avec différents types de ciment, les mélanges de béton qui présentent un taux de dilatation inférieur à 0.02% après 5 mois sont considérés comme non sensibles aux réactions alcali-granulats.



L'évolution de ces dernières années

De nos jours, nous découvrons de plus en plus d'ouvrages touchés par les réactions alcali-granulats, ceci vient du fait que les dosages en ciment des bétons que nous utilisons à l'heure actuelle est plus importante que les 300 kg/m³ d'autrefois. Il y a aussi une teneur plus élevée en alcalin dans certains nouveaux ciments et aussi une utilisation beaucoup plus fréquente de granulats concassés qui sont plus réactifs que les granulats roulés.

De même, notre expérience face aux réactions alcali-granulats nous a permis de découvrir que de nombreux ouvrages que l'on avait cru touchés par les dégâts dus au gel ne sont en fait que des dégâts causés par les réactions alcali-granulats.

Conclusion

Nous avons vu qu'il fallait absolument 3 conditions nécessaires pour qu'il puisse y avoir une réaction (1 granulats réactifs ; 2 teneur en alcalin élevé ; 3 humidité relative minimum 70 à 80%), donc si une seule de ces conditions n'est pas satisfaite, il ne sert à rien de s'alarmer.

De nos jours, il n'y a encore aucun ouvrage dans le monde qui se soit effondré parce qu'il était touché par l'une des réactions alcali-granulats. Le vrai danger d'un ouvrage qui serait atteint réside dans le fait de l'éclatement éventuel du béton où des plaques d'une taille pouvant aller jusqu'à 1 m² risquent de se détacher et de causer un accident. Le gonflement provoqué par la réaction peut aussi causer des dégâts sur des ouvrages hydrauliques comme le blocage de turbines, d'écluses, etc.

Il faut aussi tenir compte que la réaction peut causer des dégâts de l'ordre esthétique sur les surfaces visibles des ouvrages.

En résumé, vu les possibilités de réparation et leurs résultats qui sont réalisables sur les ouvrages atteints et les différentes alternatives pour fabriquer un béton qui ne soit pas réactif, mieux vaut prévenir que de devoir guérir.

Un conseil : si un jour, vous deviez être confronté au problème de l'alcali-réaction pour la construction d'un ouvrage en béton, plutôt que de perdre votre temps à aller demander conseil à un ingénieur civil qui ne pourra à peine vous renseigner sur le sujet, aller directement chez les fabricants de ciment en Suisse qui pourront tout vous expliquer et vous donner une recette de béton garanti non-réactif et adapté à votre ouvrage.

Bibliographie

- 1 TFB bulletin du ciment mai 2000
- 2 TFB bulletin du ciment septembre 2000
- 3 TEC21 15/2001
- 4 DESORDRES PROVOQUES PAR LA REACTION ALCALI-GRANULATS / Wood J.

Remerciements: J.-G. Hammerschlag Holcim Suisse