

Pathologie

L'alcali-réaction

De natures diverses, les pathologies des bétons peuvent avoir de graves conséquences sur la pérennité d'un ouvrage. L'alcali-réaction est l'une d'entre elles. Analyse du phénomène en partenariat avec le Lerm Setec*.

I - Qu'est-ce que l'alcali-réaction ?

L'alcali-réaction correspond à une réaction de gonflement interne (RGI) se produisant en présence d'humidité. Ceci, entre des phases minérales mal cristallisées contenues dans certains types de granulats (Fig. 1) et les alcalins présents dans la solution des pores du béton, fortement basique. Il s'agit d'une réaction dite "endogène", car les composés qu'elle implique sont présents dans la composition initiale du béton et ne nécessitent pas d'apports d'agents agressifs extérieurs. L'alcali-réaction ne peut se développer que si trois conditions simultanées sont réunies :

- présence de silice réactive ou de silicates réactifs dans le mélange granulaire ;
- présence d'alcalins solubles ou actifs ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), exprimés sous forme de $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ à une teneur supérieure à un seuil critique ;
- un environnement humide : humidité relative au-dessus d'une valeur seuil, de l'ordre de 80/85 % (facteur externe).

En France, les granulats sont classés suivant la démarche proposée par le fascicule de documentation FD P 18-5421 et la norme d'essais NF P18-594, en trois types : "Non réactifs" (NR), "Potentiellement réactifs" (PR) et "Potentiellement réactifs avec effet de pessimum" (PRP). En l'absence de qualification, le granulat est noté NQ pour "Non qualifié".

Les alcalins, qui constituent le second paramètre important nécessaire à l'amorçage du phénomène, proviennent pour l'essentiel des constituants du béton, ciment en tête. Dans des cas spécifiques, il peuvent aussi être apportés par le milieu environnant ou externe (eau de mer, sels de déverglaçage, traitements sur les parements en béton).

II - Quelles peuvent en être les conséquences ?

L'alcali-réaction conduit à la formation de gels silico-calco-alcalins (Fig. 2 et 3) pouvant être gonflants sous certaines conditions, générant alors des pressions internes dans le matériau, dont les propriétés peuvent être impactées. La résistance à la traction par flexion ou à la traction pure est plus affectée que la résistance à la compression. Le module d'élasticité peut subir des diminutions importantes avant même que des expansions significatives soient observées.

Au niveau de la structure ou de l'élément de structure, les contraintes générées par les gels expansifs combinées aux contraintes mécaniques dues aux sollicitations normales peuvent induire des tensions internes supérieures à la résistance à la traction du béton et des surtensions au niveau des aciers passifs ou de précontrainte.

Les désordres associés aux gels expansifs correspondent à une fissuration sous forme de faiénçage, souvent anarchique. Les fissures sont superficielles, de quelques centimètres de profondeur, mais elles peuvent être plus profondes dans des structures massives. D'autres symptômes, tels que la formation de cônes d'éclatement et l'exsudation de gels translucides au travers des fissures créées, sont parfois observés.

En somme, le développement de l'alcali-réaction peut avoir des conséquences sur les caractéristiques du matériau, sur la résistance structurale (capacité portante). Mais aussi sur la durabilité, du fait de la fissuration, et sur l'aspect de parement. En règle générale, les désordres sont évolutifs. Ils apparaissent quelques années ou dizaines d'années après la construction. Dans le cas de granulats à cinétique de

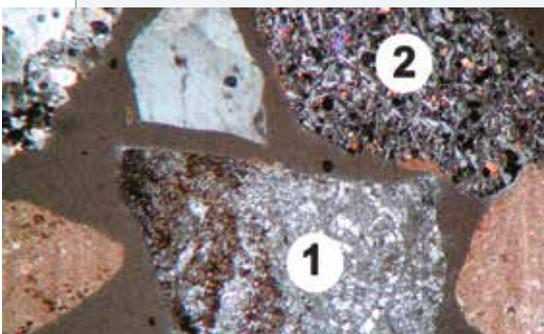


Fig 1 – Mise en évidence, au microscope optique en lumière transmise, de granulats réactifs et instables vis-à-vis de l'alcali-réaction (1. silice, 2. andésite et/ou basalte).

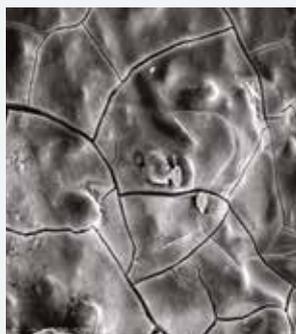


Fig 2 – Gel d'alcali-réaction au microscope électronique à balayage (agrandissement x500).

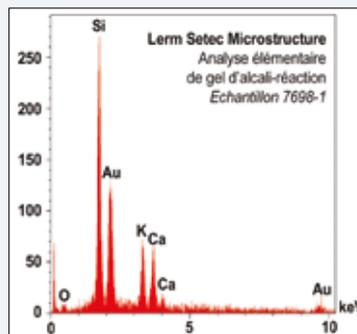


Fig 3 – Analyse élémentaire d'un gel d'alcali-réaction.

ENVIE D'ELARGIR VOS CONNAISSANCES ?

Tout notre fonds scientifique sur acpresse.fr/Béton rubrique **Savoirs**

NOTRE SÉLECTION

Les modèles numériques au service de l'éco-construction
par Pierre Rossi, Mast-EMGCU, Université Gustave Eiffel



La fissuration des ouvrages en béton – Partie 1
par Paul Acker, consultant, ancien directeur de recherche à l'Ifsttar et ancien directeur scientifique chez Lafarge



L'ancien pont de Térénez, dans le Finistère, a été atteint par l'alcali-réaction. Il a été démolé et remplacé par un ouvrage haubané.



réaction rapide et de teneurs en alcalins élevées, ils peuvent néanmoins se manifester beaucoup plus tôt (moins de 5 ans).

III - Comment s'en prémunir ?

En France, le LCPC (aujourd'hui Université Gustave Eiffel) a publié, en 1994, un guide de recommandations, qui a servi de base au fascicule de documentation FD P18-4642. Outre l'utilisation de granulats NR, la démarche décrite apporte des solutions pour encadrer l'utilisation de granulats PR et PRP. Son principe consiste à déterminer, pour un ouvrage à construire, le niveau de prévention à atteindre, puis à appliquer la ou les solutions possibles.

Le niveau de prévention est fixé en fonction de la catégorie de l'ouvrage considéré (I, II ou III) et de sa classe d'exposition (XAR 1, XAR 2 ou XAR 3) dépendant des conditions hygrométriques et de la présence éventuelle d'alcalins supplémentaires (eau de mer ou sels fondants). Trois niveaux de prévention sont définis :

- Niveau A : pas de recommandations particulières ;
- Niveau B : quatre possibilités d'acceptation de la formulation de béton ;
- Niveau C : utilisation de granulats NR ou de granulats PRP sous certaines conditions.

a - Le niveau de prévention A concerne plutôt des ouvrages provisoires ou encore des éléments non porteurs ou faciles à remplacer. Pour y répondre, seule, une vérification de la conformité des constituants et de la formulation aux normes en vigueur est requise. Et ce, sans prendre de précaution particulière vis-à-vis de l'alcali-réaction.

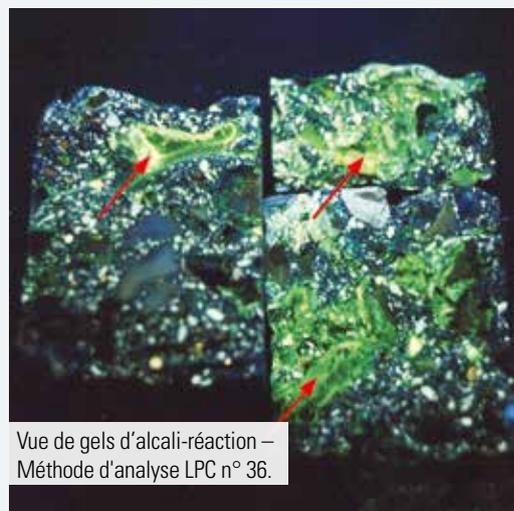
b - Le niveau de prévention B s'applique à la plupart des ouvrages de génie civil. Là, la formulation de béton envisagée est acceptée, si une disposition parmi quatre proposées est satisfaite. A savoir, le dossier de carrière montre que les granulats sont NR. Les conditions d'utilisation de granulats PRP sont satisfaites. La formulation respecte le critère sur le bilan en alcalins. Ou encore, la formulation satisfait aux critères de l'essai de performance. Dans ce dernier cas, l'utilisation d'additions minérales inhibitrices de la réaction constitue un moyen efficace pour limiter le gonflement.

c - Le niveau de prévention C concerne les ouvrages de génie civil, pour lesquels le maître d'ouvrage juge l'apparition de désordres inadmissibles. L'utilisation de granulats NR est recommandée, celles des granulats NQ exclue. Les granulats PRP peuvent être admis sous réserve que les conditions particulières à leur emploi soient satisfaites. Enfin, dans de rares cas où l'approvisionnement en granulats NR ou PRP est difficile, des granulats PR peuvent être utilisés, à condition de limiter la teneur en alcalins actifs du béton ($T_{\text{moy}} < 1,4 \text{ kg/m}^3$). Ou de réaliser un essai de

performance NF P18-454 et de satisfaire aux critères du FD P18-456. Une étude approfondie de la formule de béton peut aussi être menée, afin de rechercher le seuil en alcalins déclenchant le gonflement du béton. Puis, de respecter une marge de sécurité sur la teneur moyenne en alcalins durant le projet. Bien entendu, le maintien des conditions de non-réactivité doit être vérifié pour des chantiers de longue durée.

IV - Que faire quand ça arrive ?

La réalisation du suivi des ouvrages atteints par l'alcali-réaction doit être précédée par un diagnostic visant à évaluer l'importance du phénomène. Ceci, en s'appuyant sur un examen visuel détaillé et des mesures de fissuration (méthode LPC n°47). Des examens et des analyses de laboratoire, réalisés sur des carottes extraites de l'ouvrage, doivent compléter ce diagnostic. Ils permettent de caractériser les produits expansifs formés (méthode LPC n° 36 - Microscopie électronique à balayage) et les granulats responsables de la formation des gels (nature et proportion dans le mélange granulaire). Mais aussi de doser les alcalins dans le béton (mode opératoire GranDuBé) et de mesurer l'expansion potentielle résiduelle (méthode LPC n° 44). Ces données aideront le maître d'ouvrage à définir une démarche de suivi adaptée.



Vue de gels d'alcali-réaction – Méthode d'analyse LPC n° 36.

En fonction du niveau d'expansion résiduelle et des caractéristiques de l'ouvrage, une périodicité d'inspection peut être établie. Elle sera accompagnée, suivant le cas, de mesures de gonflement, d'instrumentation des fissures, d'injection, de découpe de joints d'expansion, de renforcements structuraux. Ou encore de réductions de charges, si nécessaire, ou de protection des parements contre l'humidité. Pour la gestion des ouvrages concernés, le LCPC a édité en 2010³ un document proposant une démarche de choix des traitements pour des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne.

Abdelkrim Ammouche
Direction technique et scientifique
Lerm Setec*

Bibliographie

- 1 – Fascicule de documentation FD P 18-542 – Granulats – Critères de qualification des granulats naturels pour béton hydraulique vis-à-vis de l'alcali-réaction, publié en novembre 2017.
- 2 – Fascicule de documentation FD P18-464 – Dispositions pour prévenir les phénomènes d'alcali-réaction, publié en 2014 et actualisé en juin 2021.
- 3 – Protection et réparation des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne du béton – Recommandations provisoires LCPC (2010).

*En tant que laboratoire et société d'études et conseil faisant partie de Setec, groupe d'ingénierie indépendant et pluridisciplinaire, le Lerm (laboratoire d'études et de recherches sur les matériaux) est spécialisé dans l'étude des matériaux de construction et la durabilité des ouvrages en béton. L'alcali-réaction fait partie des sujets étudiés et maîtrisés par le laboratoire.