

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.*

1 > Qu'est-ce que l'alcali-réaction ?

L'alcali-réaction correspond à une réaction de gonflement interne se produisant, en présence d'humidité, entre des phases minérales mal cristallisées contenues dans certains types de granulats et les alcalins présents dans la solution interstitielle du béton, fortement basique. La conjonction de trois facteurs indissociables est donc nécessaire à l'amorçage de la réaction :

- **Facteur A :** Mélange granulaire « Potentiellement Réactif » (noté PR, voir plus loin) ;
- **Facteur B :** Teneur en alcalins solubles ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), exprimée sous forme de $\text{Na}_2\text{O}_{\text{équivalents}}$ supérieure à un seuil critique ;
- **Facteur C :** Humidité relative supérieure ou égale à 80-85 % dans le béton.

En France, trois types de granulats sont distingués : « Potentiellement Réactifs » (PR), « Non Réactifs » (NR) et « Potentiellement Réactifs à effet de Pessimisme » (PRP). Seuls les granulats PR peuvent, sous certaines conditions, conduire à la formation de gels expansifs. Les granulats peuvent être classés suivant la démarche proposée par le fascicule de documentation FD P 18-542¹. 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, mais peuvent aussi être apportés par le milieu environnant ou par d'éventuels traitements sur les parements en béton.

Cette réaction conduit à la formation de gels (Fig. 1 à 3) de composition silico-calco-alkaline pouvant dév

Connue depuis 1940

L'alcali-réaction a été identifiée pour la première fois aux Etats-Unis en 1940. La dégradation du béton par ce type de réaction a été ensuite reconnue un peu partout dans le monde (Australie, Nouvelle-Zélande, Afrique du Sud, Chine, Canada, Japon). En Europe, le premier pays confronté à l'alcali-réaction fut le Danemark, en 1950. Puis, l'Allemagne en 1965 et l'Islande furent sensibilisées très tôt à ce type de pathologie. À partir de 1975, la plupart des pays européens font état de cas pathologiques. En France, c'est à la fin des années 70 que les premiers cas d'alcali-réaction sont certifiés sur quelques barrages et, en 1987, sur plusieurs ponts. La reconnaissance internationale de ce phénomène a entraîné la réalisation de nombreux programmes de recherche qui ont permis de préciser les mécanismes de réaction, d'élaborer des démarches préventives et de proposer des méthodes de diagnostic et de suivi des ouvrages.

C.C.

considéré (I, II ou III) et de sa classe d'exposition (1, 2, 3 ou 4). Cette dernière est définie par rapport aux conditions hygrométriques et à la présence éventuelle d'alcalins (milieu marin ou présence de sels fondants). En fonction de ces critères, trois niveaux de prévention sont définis :

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

Pour le niveau de prévention A, qui concerne plutôt des ouvrages provisoires ou encore des éléments non porteurs ou faciles à remplacer, seule une vérification de la conformité des constituants et de leur mélange, par rapport aux normes en vigueur, est requise, sans prendre de précaution particulière vis-à-vis de l'alcali-réaction.

Pour le niveau de prévention B, qui correspond à la plupart des ouvrages de génie civil, les six possibilités d'acceptation de la formulation de béton concernent la non réactivité des granulats, le bilan des alcalins actifs, la validation sur la base d'un critère de performance, les références d'emploi de la formulation, l'utilisation d'additions minérales inhibitrices sur la base d'un critère de performance, et l'utilisation de granulats PRP.

Pour le niveau de prévention C, qui concerne les ouvrages de génie civil pour lesquels le maître d'ouvrage juge l'apparition de désordres inadmissible (centrales nucléaires, barrages, tunnels, ponts ou viaducs exceptionnels, monuments ou bâtiments de prestige), l'utilisation de granulats NR est recommandée. Les granulats PRP peuvent néanmoins 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 impossible, l'utilisation de granulats PR peut être envisagée à condition de procéder à une étude approfondie de la formulation de béton.



[@LCPC]

4 > Que faire quand ça arrive ?

Avant toutes choses, il faut préciser qu'aucun ouvrage ne s'est effondré sous l'effet d'un phénomène d'alcali-réaction, à condition que cette dernière ait été diagnostiquée à

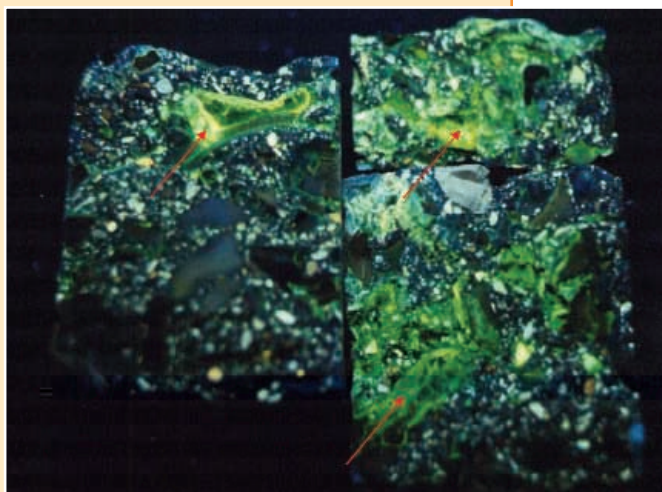
temps et qu'un suivi régulier ait été effectué. En France, cette pathologie a été diagnostiquée sur le barrage du Chambon dans les années 70. Cet ouvrage, qui bénéficie d'un suivi adapté et très complet, est encore en service de nos jours. Néanmoins, l'expansion provoquée au sein des éléments de structure peut tout au plus être ralentie, mais pas stoppée. La réalisation du suivi des ouvrages atteints par l'alcali-réaction doit être précédée par un diagnostic visant à évaluer l'amplitude du phénomène en s'appuyant sur un examen visuel détaillé. Il doit être complété par une série d'examen et d'analyses de laboratoire réalisée sur des éprouvettes de béton extraites de l'ouvrage. Ces examens et analyses 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), de doser les alcalins dans le béton (mode opératoire GranDuBé – à paraître) et de mesurer l'expansion potentielle résiduelle (méthode LPC n° 44). Ces essais conduiront ainsi le maître d'ouvrage à définir une démarche de suivi adaptée.

En fonction du niveau d'expansion résiduelle et des caractéristiques de l'ouvrage (type de ferrailage, conditions environnementales, conséquence des désordres structuraux...), une périodicité d'inspection peut être établie, accompagnée, suivant le cas, d'instrumentation des fissures, d'injection, de découpe de joints d'expansion, de renforcements structuraux (installation de tiges ou de câbles de post-contrainte...) et de réductions de charges, si nécessaire, ou encore de protection contre l'humidité.

Pour compléter l'ensemble de ce propos, le LCPC a édité en 2003 un guide³ méthodologique intitulé : « Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne ». Cet ouvrage est destiné entre autres aux maîtres d'ouvrage et aux gestionnaires.

Christophe Carde
Directeur technique du LERM

³En tant que laboratoire conseil indépendant spécialisé dans la caractérisation des matériaux de construction et de leurs pathologies, le LERM (Laboratoire d'essai et de recherche sur les matériaux) est chaque jour confronté à l'étude des problématiques liées aux bétons. La réaction alcali-granulats, plus connue sous l'appellation "alcali-réaction", fait partie des pathologies étudiées et maîtrisées par le laboratoire.



[@LERM]

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

Bibliographie

- ¹Fascicule de documentation de FD P 18-542 - Granulats - Critères de qualification des granulats naturels pour béton hydraulique vis-à-vis de l'alcali-réaction (Février 2004).
- ²Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction – Guide technique LCPC (1994).
- ³Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne – Guide méthodologique LCPC (2003).