

Réaction alcali-granulats

Autor(en): **Kronenberg, Pascal / Merz, Christine**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tracés : bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **132 (2006)**

Heft 08: **Ouvrages ancrés**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-99463>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Réaction **alcali-granulats**

La réaction alcali-granulats (RAG) est une réaction entre la solution interstitielle du béton et certains constituants des granulats, ces derniers, de par leur composition, étant parfois instables en milieu alcalin. La présence d'un taux d'humidité suffisamment élevé et d'une haute teneur en alcalins actifs conduit à une réaction expansive produisant un gonflement du béton qui peut engendrer des dégâts. Cette situation semble être relativement fréquente pour les ouvrages ancrés.

La RAG est un phénomène relativement lent. En Suisse, la plupart des dégâts sur les ouvrages ne sont apparus que vingt à quarante ans après leur construction, ce qui explique en partie pourquoi la première publication d'un cas concret ne date que de 1995 [1]¹. Le dégât caractéristique le plus évident est la formation d'un réseau de fissures polygonales (fig. 1), parfois accompagnées de fissures invisibles, parallèles à la surface du béton. Cette fissuration risque de compromettre fortement la durabilité ou même la sécurité structurale d'un ouvrage. La dégradation peut en outre être aggravée par des dégâts dus au gel ou par la corrosion des armatures.

Les ouvrages de soutènement présentent un fort risque de détérioration par la RAG, notamment en raison de leur exposition (forte humidité, cycles de températures intenses, gel/dégel, sel). Ce fait ainsi que l'observation de fissures caractéristiques sur un certain nombre d'ouvrages ancrés des autoroutes vaudoises ont amené le Groupement de travail UPlaNS - Murs ancrés (GUMA) à demander une étude plus détaillée de l'état des bétons dans le cadre de l'évaluation globale de l'état des ouvrages. Les objectifs de cette étude étaient de:

- classer les ouvrages selon leurs états de dégradation actuels,
- déterminer les propriétés mécaniques actuelles du béton,
- faire un pronostic sur l'évolution future de la RAG et des propriétés mécaniques du béton.

Concept d'investigation

Vu le grand nombre d'ouvrages à considérer, il fallait absolument limiter le nombre de murs à investiguer de façon détaillée et adopter une démarche visant à sélectionner un ou quelques ouvrages représentatifs de l'ensemble des murs. Le concept d'investigation, établi pour mener l'étude de manière systématique et représentative tout en limitant les pratiques destructives, repose sur une sélection en deux phases, suivie d'une étude détaillée dans une troisième phase:

- Phase I

Relevé d'état par inspection visuelle des ouvrages pour apprécier l'ampleur des dégâts apparents. Il s'agit d'émettre un premier diagnostic concernant la présence de la RAG et de procéder à un premier regroupement des murs.

- Phase II

Investigation préliminaire pour identifier les types de béton des ouvrages. Sur la base des résultats de la phase I et de données issues des archives, le premier regroupement est vérifié. Le béton d'un ouvrage représentatif de chaque groupe est ensuite échantillonné et analysé en laboratoire pour caractériser sa composition et sa qualité. C'est sur cette base que différents types de béton sont identifiés.

- Phase III

Investigations détaillées en deux étapes. L'état actuel d'un type de béton est investigué sur un ouvrage représentatif par une série de mesures non destructives *in situ*, ainsi que par des analyses microscopiques et chimiques, des essais physiques de durabilité et des essais mécaniques sur échantillons. Certains échantillons sont ensuite soumis à un essai d'expansion résiduelle accéléré, afin de simuler l'expansion et la dégradation future du béton sous l'influence de la RAG. Les échantillons vieilliss artificiellement sont alors à nouveau analysés au moyen d'une série d'examen et d'essais.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

² Téléchargeable sous <www.tfb.ch>

Fig. 1 : Fissuration en réseau typique aux bords d'un élément de mur

Fig. 2 : Mur ancré AR 10 du tronçon Vevey - Châtel-St-Denis de l'A12

Fig. 3 : Vue microscopique d'une lame mince en lumière UV : plusieurs fissures parallèles traversent la pâte de ciment et certains granulats.

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs)

A12, Vevey - Châtel-St-Denis : murs ancrés

Phase I : Inspection

Un relevé d'état visuel des ouvrages du segment UPLaNS 007 a été réalisé à l'aide d'une check-list² élaborée dans le cadre d'un mandat de recherche de l'OFROU [2]. Les relevés comprennent le type, la position, l'orientation et l'exposition de l'ouvrage, d'éventuels signes de corrosion de l'armature, les dégradations de surface du béton ainsi que l'état de fissuration.

Sur dix ouvrages inspectés, huit présentaient une fissuration caractéristique de la RAG. De manière générale, la fissuration est relativement peu avancée et se limite à certaines zones des ouvrages (fig. 1). Un premier regroupement de l'ensemble des ouvrages ancrés du tronçon investigué a permis d'établir six groupes d'ouvrages semblables en matière de construction ou de symptômes extérieurs de RAG.

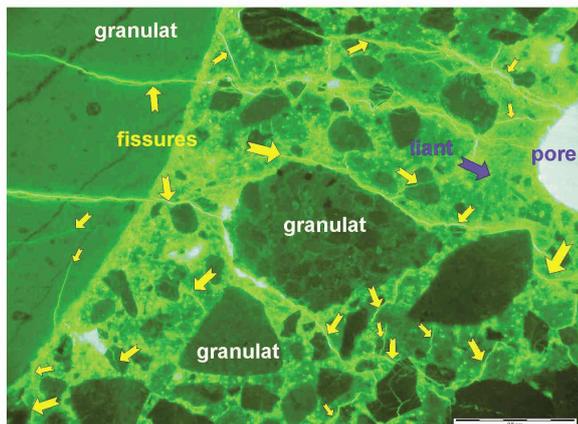
Phase II : Investigations préliminaires

Les analyses effectuées sur des échantillons de béton prélevés sur un ouvrage par groupe ont démontré qu'un regroupement supplémentaire était possible : les six groupes de murs initiaux ont été réduits à trois. La qualité des bétons étant variable, avec des rapports eau/ciment estimés de 0,46 à 0,59 et un dosage en ciment en général élevé, c'est par la composition pétrographique de leur granulat que les types de bétons se distinguent en première instance.

Phase III : Investigations détaillées

Les résultats de la phase II ont conduit à des investigations détaillées sur le type de béton correspondant à la majorité des ouvrages. Le mur ancré AR 10 a été choisi comme mur de référence (fig. 2). Afin d'évaluer l'influence des dégradations de surface sur les désordres en profondeur du mur, trois zones correspondant à trois états différents de fissuration de surface ont été comparées. Pour chaque zone, des mesures *in situ* et des essais en laboratoire ont été effectués. Les valeurs d'humidité relative au sein du béton ont confirmé une forte saturation en eau de toutes les zones, une condition indispensable au développement de la RAG.

Pour la zone la plus dégradée, les essais mécaniques ont révélé une diminution jusqu'à 55 % pour la résistance à la compression et jusqu'à 25 % pour la résistance à la traction et le module d'élasticité, ceci par rapport aux valeurs du béton non dégradé. La comparaison avec les examens microscopiques (fig. 3) a permis d'établir une corrélation directe entre la dégradation microstructurale du béton et la réduction de sa résistance à la traction. Les examens microstructuraux ont



mis en évidence une dégradation plus importante à l'amont qu'à l'aval du mur. L'affaiblissement des propriétés mécaniques est accompagné d'une nette réduction de la résistance au gel/dégel qui va de pair avec le niveau de fissuration de surface.

Afin de pronostiquer l'évolution future de la RAG et son influence sur les propriétés du béton, quelques échantillons ont été placés dans un réacteur pendant environ une année. Les conditions d'humidité et de température y ont été choisies afin d'accélérer la RAG tout en évitant de trop perturber le mécanisme de réaction. Les analyses effectuées pendant et après l'essai d'expansion résiduelle ont permis de faire les constatations suivantes³:

- L'expansion résiduelle totale finale du béton (y compris une part de gonflement hydrique) varie entre 2,6 et 3,4‰ parallèlement au mur et entre 1,1 et 1,4‰ perpendiculairement au mur, la partie irréversible uniquement due à la RAG allant de 1,5 à 2,0‰, respectivement de 0,5 à 0,8‰. Le comportement anisotropique peut être dû à une orientation préférentielle des granulats lors de la mise en place du béton [3].
- Le taux d'expansion atteint des valeurs comprises entre 0,2 et 0,4‰ par an parallèlement au mur et entre 0,05 et 0,2‰ par an perpendiculairement au mur. De nombreuses études publiées concernant la surveillance d'ouvrages à long terme indiquent que l'expansion se déroule généralement de façon linéaire dans le temps [4].
- De manière générale, les propriétés mécaniques - résistance à la traction et module d'élasticité - subissent le plus de pertes pour le béton provenant des zones les moins dégradées actuellement. Les valeurs déterminées pour les bétons provenant des zones les plus dégradées ne changent quasiment plus.

Principaux enseignements

La comparaison de l'état de dégradation de surface avec la qualité et la composition (p.ex. teneur en ciment, respectivement en alcalins) du béton laisse présumer que cette dernière n'influence que peu le développement de la RAG dans les ouvrages sous investigation. Il semble que ce sont plutôt la composition pétrographique des granulats et le taux d'humidité du béton qui sont déterminants.

L'état de dégradation visible en surface ne reflète pas l'état du béton au centre ou dans la partie arrière des murs. On ne peut notamment pas en déduire la présence de fissures

³ Les valeurs d'expansion déterminées sont valables pour le béton investigué et ne peuvent pas être appliquées sans autre pour d'autres types de béton.

parallèles à la surface du béton, lesquelles sont particulièrement critiques d'un point de vue structural.

Les investigations détaillées menées sur le mur ancré AR 10 indiquent qu'actuellement, les valeurs des propriétés mécaniques - notamment le module d'élasticité et la résistance à la traction - sont localement fortement réduites, tout en restant néanmoins supérieures aux valeurs caractéristiques de dimensionnement à 28 jours. Sur cette base, la sécurité structurale semble donc pour l'instant assurée.

Les expansions maximales observées localement dans le mur sont de l'ordre de 3‰. Si l'on compare cette valeur avec l'expansion résiduelle maximale déterminée au moyen de l'essai d'expansion résiduelle (env. 3,5‰), on peut conclure que l'état final d'expansion est déjà pratiquement atteint dans les zones les plus dégradées. L'expansion maximale dans les zones actuellement encore peu touchées devrait être atteinte d'ici 15 à 20 ans en cas d'humidité élevée, respectivement d'ici 100 ans ou plus si le béton peut être asséché.

Dans le cas présent, on peut conclure que la RAG évolue de façon très lente, même dans les conditions les plus favorables à son développement.

Concernant les propriétés mécaniques, on peut s'attendre à une dégradation supplémentaire du béton des zones moins dégradées pour atteindre les valeurs actuelles des zones les plus dégradées. Simultanément, le béton perdra en durabilité (résistance au gel, résistance aux chlorures, protection des armatures contre la corrosion). Actuellement les zones les plus fissurées sont limitées et entourées de béton en relativement bon état, ce qui offre une certaine protection contre les infiltrations d'eau et les dégradations que cela entraîne. Il est donc probable que l'état de détérioration de l'ensemble du mur au stade final de la réaction soit bien plus grave que ce que l'on peut observer aujourd'hui.

Pascal Kronenberg, dr. sc. tech., ing. civil EPF
Christine Merz, dr. sc., géol. UNIL
TFB Romandie, Ch. de la Chatanerie 10, CH - 1023 Crissier

Bibliographie

- [1] REGAMEY, J.M. ET HAMMERSCHLAG, J.-G.: « Barrage d'Illsee - assainissement », Research and development in the fields of dams, Proceedings, Crans-Montana, Switzerland, 1995
- [2] MERZ, CH., HUNKELER, F. ET GRIESSER, A.: « Schäden durch Alkali-Aggregatreaktionen an Betonbauten in der Schweiz », Mandat de recherche OFROU n° AGB 2000/471, parution prévue été 2006
- [3] LARIVE C.: « Apports combinés de l'expérimentation et de la modélisation à la compréhension de l'alcali-réaction et de ses effets mécaniques ». Ouvrages d'art OA 28, LCPC: 400, 1998
- [4] WOOD, J.: « When does AAR stop: in the laboratory and in the field? », 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Peking, International Academic Publishers, 2004