

Réactions alcali-granulats (2^e partie)

Essai Microbar d'après AFNOR P18-588: la réactivité est déterminée sur la base d'une mesure de précision de l'allongement de microprismes.



Réactions alcali-granulats (2^e partie)

Après le traitement dans le numéro de mai du «Bulletin du ciment» des aspects généraux des RAG, il est question ici de la détermination de la réactivité, ainsi que des mesures pour empêcher les dégâts dus aux RAG.

Les conséquences des RAG se manifestent de différentes manières. Les figures 2, 5 et 6 illustrent des dégâts typiques causés aux ouvrages par les RAG. Des analyses microscopiques sur lames minces permettent d'identifier clairement les dégâts dus aux RAG (figure 7).

Détermination de la réactivité

L'analyse pétrographique détaillée fournit de premiers éléments pour

juger si un mélange, une fraction, ou des composants de granulats peuvent être considérés comme potentiellement réactifs. S'il n'y a pas de composants potentiellement réactifs, les granulats peuvent être utilisés sans restriction.

Les granulats potentiellement réactifs exigent des analyses supplémentaires, chimiques et/ou physiques. Le but de ces tests est de classer les

granulats ou les fractions de granulats dans une des catégories suivantes:

- NR non réactif
- PR potentiellement réactif
- PRP potentiellement réactif à effet de pessimum

Variations de longueur de prismes

Des indications fiables sur la réactivité des granulats peuvent être obtenues au moyen de mesures des variations de longueur d'éprouvettes de béton ou de mortier.

L'essai Microbar (selon AFNOR P 18-588) a fait ses preuves; il permet de classer clairement les sables et

Validations

Dans la SN EN ISO 8402 [1], la validation est définie comme suit: «confirmation par examen et apport de preuves tangibles que les exigences particulières pour un usage spécifique sont satisfaites.» On entend ici par preuves tangibles une information «dont la véracité peut être démontrée, fondée sur des faits obtenus par observation, mesurage, essai ou autres moyens».

Concrètement, cela signifie qu'il doit être prouvé que la méthode d'essai convient pour les fins prévues. La méthode Microbar a par exemple été validée pour des températures inférieures à 10 °C, car il a été prouvé fiablement que les granulats suisses ne sont pas réactifs lorsque la variation de longueur des microprismes fabriqués avec ces granulats est < 0,11 %.

graviers en NR, PR ou PRP après cinq jours déjà (voir figure 1). Ce test est validé pour la Suisse (voir encadré «Validations»). Des informations supplémentaires sur cet essai figurent dans le tableau 1, où d'autres méthodes d'analyse utiles sont présentées.

Procédés chimiques

L'analyse des sables et graviers est basée sur l'essai cinétique AFNOR P 18-589. L'intérêt de ce test provient du fait qu'il est basé sur un autre principe. Les résultats ne peuvent malheureusement pas encore être interprétés clairement avec certains granulats suisses.

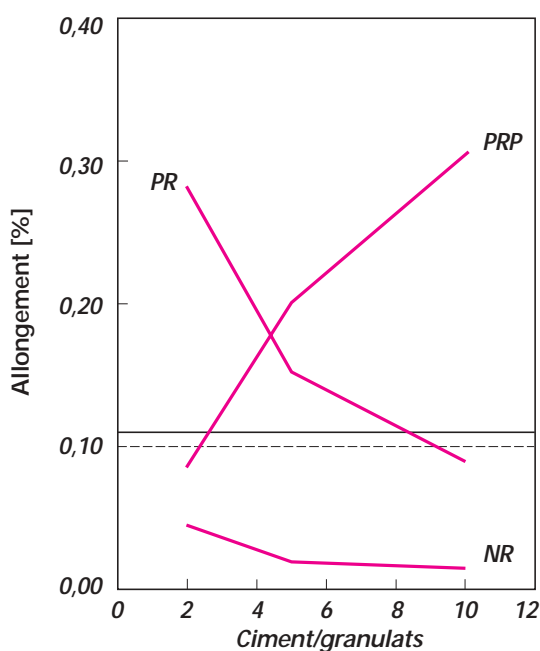


Fig. 1 Essai Microbar selon AFNOR P 18-588: la réactivité est déterminée sur la base de l'allongement de prismes: les granulats dont les prismes qui présentent un allongement < 0,11 % pour les trois rapports ciment/granulats ne sont pas potentiellement réactifs (NR).

Graphiques: TFB

Analyse	Matériaux	Essai	Critère pour NR
Essai Microbar selon AFNOR P 18-588 (voir <i>frontispice</i>)	Sable, gravier	Variation de longueur de microprismes (1 x 1 x 4 cm) milieu alcalin/150 °C (autoclave) Durée: 5 jours	Allongement < 0,11 % validé (CH)
Essai à l'autoclave sur mortiers selon AFNOR P 18-590	Sable, gravier	Variation de longueur de prismes (4 x 4 x 16 cm) Traitement en autoclave (127 °C/0,15 MPa) Durée: 5 jours	Allongement < 0,15 % en cours de validation
Variations dimensionnelles sur prismes en béton selon AFNOR P 18-587	Sable, gravier	Allongement de prismes (7 x 7 x 28 cm) 8 mois de conservation à 38 °C/100 % HR/ 2 mois de conservation à 60 °C/100 % HR Durée: 8 mois/2 mois	Allongement < 0,04 %/< 0,02 % en cours de validation
Essai de performance pour formulations de béton avec granulats potentiellement réactifs	Formulation de béton réelle	Allongement de prismes (7 x 7 x 28 cm) Conservation à 60 °C/100 % HR Durée: 3-5 mois	Allongement < 0,02 %

Tab. 1 Sélection d'essais de dépistage de la réactivité des granulats par mesures de variations dimensionnelles d'éprouvettes.

Prévenir vaut mieux que guérir

Les conditions mentionnées ci-après permettent ou favorisent l'apparition de dégâts dus aux RAG:

- emploi de granulats réactifs
- teneur totale en alcalins élevée dans le mélange de béton/mortier
- températures de service élevées
- structure du béton perméable
- béton constamment humide (Dans les éléments en béton de forte épaisseur, l'humidité relative ne descend guère au-dessous

de 70 %; les RAG se produisent surtout à partir d'humidités relatives de 70 à 80 %.)

On attribue souvent trop d'importance au bilan en alcalins. Une basse teneur est certes utile, mais elle ne représente qu'une partie des mesures préventives à considérer. Ces mesures doivent être planifiées avec soin de cas en cas.

Des essais concernant la RAG sont indiqués lorsque l'on ne connaît pas la réactivité des granulats.

Des précautions particulières ne sont pas nécessaires lorsqu'un ouvrage n'est pas exposé à l'humidité. Il en va différemment pour les ouvrages d'art pour lesquels une grande durabilité doit être assurée et/ou qui, en cas de dégâts, représentent une source de danger élevée, c'est-à-dire dont la ruine causerait des dommages élevés. Pour ces ouvrages, des granulats non réactifs devraient être

utilisés. Les éléments en béton projeté dans les constructions souterraines, dont les fonctions porteuses doivent être de longue durée, en sont un exemple. Il faut également être prudent avec les ouvrages qui sont parfois ou constamment humides, et/ou exposés à un apport d'alcalins provenant de l'extérieur.

Bétons avec granulats PR

Diverses mesures concernant l'utilisation de granulats PR peuvent être déduites des indications données jusqu'ici.

La procédure à suivre lorsque les granulats prévus peuvent être réactifs est représentée schématiquement à la *figure 3*. Le test de performance développé en France (voir *tableau 1*) permet de contrôler s'il y a ou non danger de RAG avec le mélange de béton prévu pour un ouvrage. Le seul inconvénient de ce test est sa durée (3 à 5 mois).

Liants

Remplacer partiellement le clinker du ciment portland par du laitier ou autres ajouts appropriés permet de réduire la teneur en alcalins actifs,



Fig. 2 Superposition de fissures dues à la RAG, à la corrosion et à des contraintes statiques, avec dépôts calcaires.

Photo: Fritz Hunkeler, TFB

en raison de la dilution. Des ciments portland avec fumée de silice, cendres volantes ou laitier, seuls ou en combinaison, ont été utilisés avec succès (voir aussi *figure 4*). L'essentiel lors du choix du liant est que le béton puisse répondre le mieux possible à toutes les exigences qui lui sont posées. Des compromis sont en l'occurrence souvent inévitables.

Mesures constructives

Font partie des mesures constructives pour protéger contre les dégâts dus aux RAG:

- empêcher l'arrivée d'humidité grâce à un drainage ou à des systèmes d'étanchéité
- haute étanchéité du système grâce à une disposition appropriée des joints
- dimensionner de façon à ce que les éventuelles fissures soient réparties favorablement.

On peut réduire les dégâts dus aux RAG en imposant au béton une contrainte (armature traditionnelle, précontrainte, idéalement une contrainte triaxiale). Indépendamment de toutes ces mesures, il va de soi qu'il faut veiller à une exécution soignée. Le béton doit par exemple avoir une bonne ouvrabilité, et être mis en place sans ségrégation. Outre

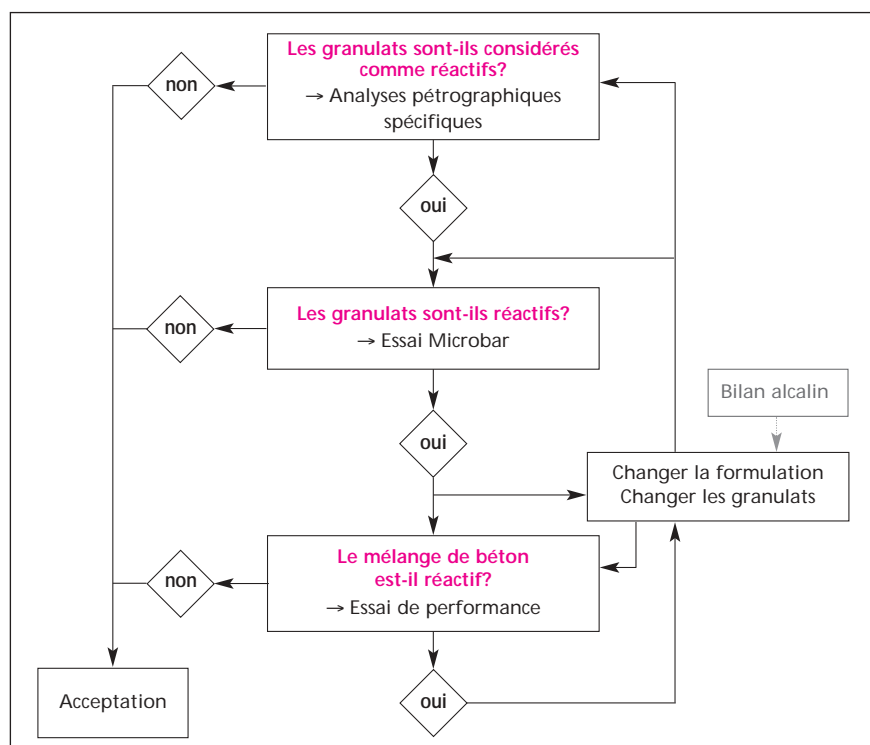


Fig. 3 Procédure possible en vue de l'acceptation de granulats pour une utilisation donnée.

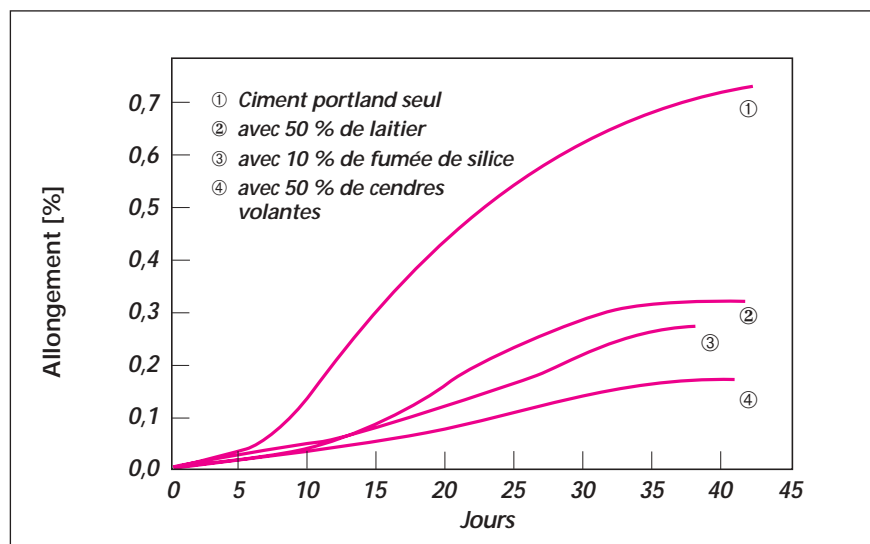


Fig. 4 Allongement de prismes de béton (75 x 75 x 300 mm) contenant des granulats réactifs, dans lesquels le ciment avec 1 % de Na_2O équivalent a été partiellement remplacé par du laitier, de la fumée de silice ou des cendres volantes (selon [2]).

de bien choisir les joints de reprise, il faut également apporter beaucoup de soin à la cure.

Dégâts dus aux RAG sur des ouvrages existants

Les spécialistes expérimentés, formés en conséquence, peuvent reconnaître les dégâts dus aux RAG sur un ouvrage. Des carottes doivent néanmoins être prélevées à des endroits représentatifs en vue des analyses suivantes:

- analyses pétrographiques (microscopie sur lames minces, microscopie électronique, microsonde, diffractométrie de rayons X ou spectrographie IR)
- composition chimique du béton (teneur en silicates, alcalins et sulfates)
- propriétés physiques importantes du béton en ce qui concerne les RAG (p. ex. résistance à la compression, à la traction par flexion,

module de torsion)

- essais de qualification rapide à la RAG sur les granulats analysés.

Une autre possibilité d'analyse est d'utiliser des prélèvements pour des essais de longue durée (6 à plus de 12 mois). Cela permet

un certain pronostic quant à la suite des RAG. (On observe souvent, qu'après un certain temps, le système se stabilise: l'ampleur et l'intensité des dégâts n'augmentent plus.)

Ces analyses fournissent à l'ingénieur les informations nécessaires à la prise de mesures appropriées. Lorsqu'il existe un danger potentiel de RAG, il



Fig. 5 Superposition de fissures dues à la RAG, à la corrosion et à des contraintes statiques, avec dépôts calcaires.

Poto: Fritz Hunkeler, TFB

faut en tenir compte dans le plan de surveillance et de maintenance selon la norme SIA 469 [3] ou la recommandation SIA 162/5 [4].

Dans un premier temps, il peut suffire de protéger le béton contre l'humidité (revêtements), afin d'exclure une des conditions indispensables pour le développement des RAG – l'humidité – et de stopper la réaction. Il faut cependant veiller à ce qu'il n'y ait pas d'humidité qui stagne à l'intérieur du béton.

La solution islandaise

Comparées à celles de Suisse, les conditions sont en Islande particulièrement favorables au développement des RAG: le ciment portland contient

BIBLIOGRAPHIE

- [1] SN EN ISO 8402: «Management de la qualité – Vocabulaire (ISO 8402: 1994)» (édition 1995).
- [2] Swami, R. N. (Ed.), «The alkali-silica reaction in concrete», Blackie and Son Ltd, Glasgow, 336 pages (1992).
- [3] Norme SIA 469: «Conservation des ouvrages» (édition 1998).

- [4] Recommandation SIA 162/5: «Conservation des structures en béton» (édition 1997).
- [5] Gudmundsson, G., et Olafson, H., «Alkali-silica reaction and silica fume – 20 years of experience in Iceland», Cement and Concrete Research **29**, 1289–1297 (1999).

environ 1,65 % de sa masse en Na_2O équivalent, les granulats sont en partie d'origine volcanique, et le climat y est très humide. C'est pourquoi pour les grands ouvrages, des mesures de protection contre les RAG ont été prises depuis des décennies: le ciment est partiellement remplacé par des pouzzolanes, et on n'utilise pas de granulats réactifs. On a longtemps évité de prendre ces mêmes mesures pour les habitations, et il en est résulté de nombreux dégâts dus aux RAG.

Les immeubles d'habitation construits lors des 20 dernières années ne présentent plus de dégâts dus aux RAG grâce aux mesures suivantes [5]:

- Le ciment utilisé contient 7,5 % de fumée de silice.
- Les exigences relatives aux granulats sont plus élevées.
- Les granulats extraits de la mer sont lavés.

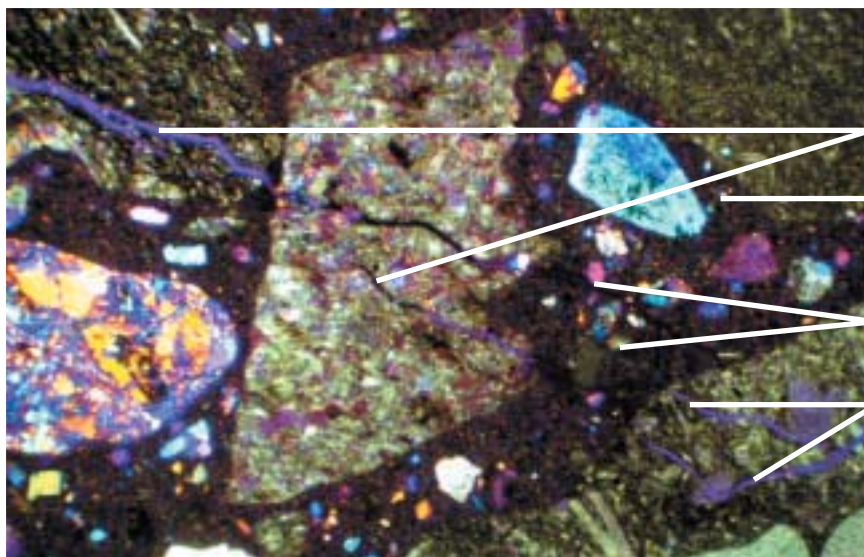
- La quantité du matériau réactif utilisé est limitée.

*Jean-Gabriel Hammerschlag,
TFB Nyon
et Christine Merz, TFB Wildegg*



Fig. 6 Dégâts dus à la RAG sur le couronnement d'un barrage. Les fissures contiennent du gel de silice (foncé).

Photo: TFB Nyon



- Fissures
- Pâte de ciment durcie
- Microfissures avec gel de silice
- Fissures

Fig. 7 Béton altéré par la RAG (examen microscopique sur lame mince sous lumière polarisée).

Photo: TFB Nyon