

Prévention des désordres dus à la réaction alcalis-granulats (RAG)

Introduction

La réaction alcalis-granulats est un mécanisme d'endommagement affectant sur le long terme la durabilité des ouvrages en béton. Les désordres apparaissent après quelques dizaines d'années sous la forme de fissuration en réseaux caractéristiques. Les propriétés mécaniques peuvent se voir ainsi diminuer de 30–50%. Ces désordres sont déclenchés par des granulats chimiquement instables au contact de la solution interstitielle alcaline du béton. Il résulte de cette attaque chimique du granulat, désigné ici comme alcali-réactif, la formation d'un gel expansif, lequel incorpore pour se former l'eau provenant de l'humidité du béton. On constate, ainsi macroscopiquement un gonflement du béton, et microscopiquement une destruction de sa structure.

Trois conditions doivent être simultanément remplies pour qu'une réaction RAG se produise: un granulat réactif, des alcalis, un béton suffisamment humide. L'absence d'un seul de ces facteurs empêche le développement de la RAG (Fig. 1).

Les méthodes conventionnelles de réparation et de protection ne peuvent que partiellement remédier, resp. limiter les effets de la RAG. La prévention de la RAG est d'autant plus nécessaire vu que la plupart des granulats suisses sont à classer comme potentiellement réactifs. C'est à cet effet qu'est paru en 2012 le cahier technique SIA 2042 «Prévention des désordres dus à la réaction alcalis-granulats (RAG) dans les ouvrages en béton». Il est à utiliser conjointement avec les normes SIA 262 et SN EN 206-1. Il s'applique également au mortier de réparation selon la SN EN 1504-3, et au béton projeté selon la SN EN 14487-1.

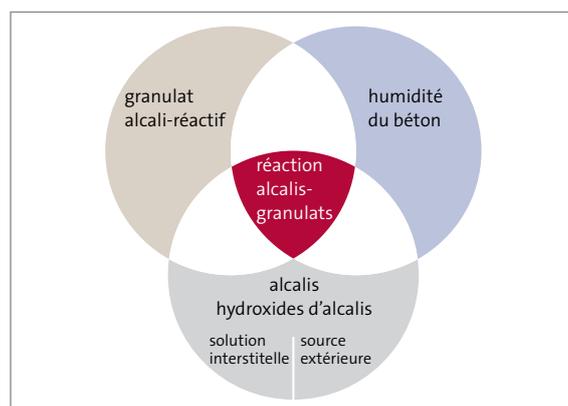


Fig. 1: Facteurs d'endommagement



Fig. 2: Dégâts de RAG d'un mur de soutènement

Projet de construction

Au stade de projet d'une construction, on doit d'abord déterminer la classe de prévention de tout ou partie de l'ouvrage considéré. Celle-ci est une combinaison d'une classe de risque R1 à R3 et d'une classe d'environnement U1 à U3 (voir le tableau 1). Le cahier technique SIA 2042 précise toutes les modalités nécessaires pour déterminer les classes de prévention des ouvrages en béton.

Les classes de risque prennent en compte la sécurité des personnes, les coûts, l'importance de l'ouvrage ou de l'un de ses éléments structuraux, la durée de service prévue, les entraves à la surveillance et à la maintenance, l'épaisseur des éléments porteurs.

Les classes d'environnement regroupent des classes d'exposition selon la norme SN EN 206-1. Elles prennent en compte le degré de saturation en eau du béton, les effets produits par les variations de température, les apports extérieurs d'alcalis provenant des sels de déverglaçage, des eaux souterraines ou de l'encaissant.

	Classe d'environnement		
	U1	U2	U3
	Exemples de types de béton		
Classe de risque	NPK C	NPK D, E	NPK C, F, G, H, I, K, L
R1	P1	P1	P1
R2	P1	P2	P2
R3	P2	P2	P3

Tableau 1: Détermination des classes de prévention à partir des classes de risque et d'environnement

Exigences relatives aux classes de prévention:

Classe de prévention P1:

aucune mesure particulière supplémentaire par rapport aux exigences des autres normes à respecter n'est requise.

Classe de prévention P2:

Utilisation d'un béton résistant à la RAG.

Classe de prévention P3:

Utilisation d'un béton résistant à la RAG et mise en oeuvre de mesures supplémentaires relatives à: la conception structurale, la protection et la surveillance de l'ouvrage, la convention d'utilisation et la base du projet, l'appel d'offres et la réalisation de l'ouvrage.

Bétons résistants à la RAG:

Un béton résistant à la RAG est confectionné, soit à partir d'un granulat non réactif, soit à partir d'une formulation de béton, réalisée avec un ciment approprié, permettant de contenir la réactivité du granulat dans un niveau acceptable.

L'innocuité d'un granulat est établie au moyen de l'essai pétrographique et de l'essai Microbar utilisés conjointement. Lors de l'emploi d'un granulat potentiellement réactif, la résistance à la RAG d'une formulation de béton est vérifiée au moyen de l'essai dit de Performance. Il est donc aussi possible de recourir directement à l'essai de Performance sur béton sans passer par l'étape d'un essai Microbar.

Désignation dans un appel d'offres

La désignation d'un béton devant résister à la RAG selon les classes de prévention P2 et P3 est une propriété complémentaire. Elle est à spécifier comme dans l'exemple à droite.

Un béton résistant à la RAG selon le cahier technique SIA 2042 doit être fourni par un producteur de béton certifié selon la SN EN 206-1.

Béton selon la SN EN 206-1

- C 30/37 classe de résistance à la compression
- XC4(CH), classe d'exposition
XD3(CH),
XF4(CH)
- Dmax 32 valeur nominale du diamètre maximal
- Cl 0,10 classe de teneur en chlorures
- C3 classe de consistance

Propriété complémentaire

- RAG-P2 résistance à la RAG classe P2 selon le cahier technique SIA 2042

Contrôle et vérification

Vérification	Essai	But de l'essai	Critère d'interprétation
du granulat	Examen pétrographique selon SN 670 115	Détermination types pétrographiques et contrôle de l'applicabilité de l'essai Microbar	Répartition du granulat selon les groupes A, B et C définis dans le cahier technique SIA 2042
	Essai Microbar selon le cahier technique SIA 2042	Preuve de la non-réactivité d'un granulat	Valeur limite d'allongement: $\leq 0,110\%$ pour les trois rapports ciment/granulat
de la formulation du béton	Essai de Performance selon le cahier technique SIA 2042	Preuve de la résistance à la RAG de la formulation d'un béton	Valeur limite d'allongement: $0,200\%$ après 5 mois, resp. $0,300\%$ après 12 mois

Le laboratoire des matériaux de Holcim (Suisse) SA à Eclépens, exécute ces essais qui sont accrédités. Leur validité est de 5 ans.

Conditions de validité des résultats de l'essai de Performance du béton

La preuve de la résistance à la RAG d'un béton, établie au moyen de l'essai de Performance, peut s'étendre à d'autres formulations lorsque les conditions suivantes sont remplies:

Composant	Conditions limites, exigences
Granulat	<p>a) Les granulats proviennent du même site d'exploitation et présentent une composition pétrographique comparable. Par principe les normes SN 670 115 et SN 670 116 et le cas échéant l'essai Microbar sont à appliquer pour la vérification.</p> <p>b) Si les granulats employés proviennent de plusieurs sites d'exploitation, les preuves selon a) doivent être fournies pour tous les granulats.</p> <p>c) L'incidence d'un changement significatif (p.ex. supérieur à 50%) de la teneur en granulat concassé doit être évaluée par un spécialiste.</p> <p>Remarque: Le fait que les granulats soient livrés par le même fournisseur n'est pas une preuve suffisante, car le granulat livré ne provient pas forcément de la même gravière ou a été acheté à un fournisseur tiers.</p>
Ciment	Le ciment est produit par la même cimenterie.
Type de ciment	Le béton contient le même type de ciment avec la même classe de résistance.
Teneur en ciment	Les résultats ne sont transposables que si le béton possède une teneur en ciment égale ou inférieure d'au maximum 50 kg/m^3 .
Valeur e/c	La valeur e/c ne peut varier que de $\pm 0,05$ au maximum.
Additions	Les additions appartiennent à la même classe et proviennent du même fournisseur et du même producteur. La teneur en additions s'écarte au maximum de $\pm 10\%$ -masse par rapport à la teneur initiale.
Adjuvants	Les changements de composition et du dosage d'un même type d'adjuvant sont admis sans restrictions, tant que leur contribution à la teneur en alcalins du béton n'augmente pas plus que 50% -masse par rapport à la contribution initiale. Par conséquent il est possible d'enlever un type d'adjuvant mais pas d'en rajouter un nouveau type dans la composition du béton.

Les bétons résistants à la RAG: démarches pratiques depuis l'appel d'offres jusqu'au stade de l'exécution:

Projet/détermination de la classe de prévention	Les classes d'exposition et de risque de l'ouvrage et de parties d'ouvrages sont déterminées selon les annexes A et B: Exemple d'un mur d'aile d'un portail de tunnel: La classe de risque correspond à R2 et celle d'environnement à U3. Finalement cela donne une classe de prévention P2.
Appel d'offres	Pour la classe de prévention P2 (et P3) il est exigé un béton résistant à la RAG, correspondant à une propriété complémentaire spécifiée par le projecteur. Exemple: propriété complémentaire RAG-P2.
Offre et fabrication d'un béton résistant à la RAG	Les bétons résistants à la RAG produits par Holcim (Suisse) SA, ainsi que par ses clients ciment, sont fabriqués dans des centrales à béton certifiées. On utilise généralement pour ces bétons des ciments Portland composés comme l'Optimo et le Robusto, lesquels sont déjà utilisés pour des bétons répondant à d'autres spécifications. Les bétons résistants à la RAG répondent selon leur type à d'autres spécifications comme la résistance au gel en présence de sel, la résistance à la pénétration des chlorures, etc. et peuvent être formulés en vue d'une application en béton coulé, pompé ou en béton auto-plaçant.
Preuves	Les centrales à béton de Holcim (Suisse) SA qui produisent des bétons résistants à la RAG disposent des preuves relatives correspondantes, lesquelles sont disponibles sur demande (essai de Performance effectué selon le cahier technique SIA 2042 ou auparavant selon AFNOR P 18-454). En cas d'utilisation d'un granulat non réactif selon SIA 2042, le béton correspondant produit par la centrale est considéré comme résistant à la RAG selon le cahier technique SIA 2042 sans mesure supplémentaire.
Livraison	Au stade du bétonnage, la formulation d'un béton résistant à la RAG ne doit pas être modifiée de manière significative hors du contrôle d'un spécialiste. Si une telle modification s'impose cependant pour des raisons d'exploitation impératives, la centrale à béton peut proposer une alternative respectant les exigences du cahier technique SIA 2042. Holcim (Suisse) SA dispose pour sa part de spécialistes, relativement à la problématique RAG, pouvant apporter un soutien technique aux centrales à béton, aux entreprises, aux projecteurs, dans l'élaboration de solutions concrètes.
Exécution, contrôle, réception, surveillance	L'exécution, le contrôle, la réception et la surveillance des ouvrages en béton sont effectués conformément aux dispositions des normes SIA 262, SIA 118/262 et SN EN 206-1.
Classe de prévention P3	La démarche pour le béton suit celle utilisée pour la classe de prévention P2. On élabore cependant des mesures supplémentaires concernant la conception structurale, la protection et la surveillance de l'ouvrage, la convention d'utilisation et la base du projet, l'appel d'offres et la réalisation de l'ouvrage (toutes ces mesures figurent dans l'annexe C du cahier technique SIA 2042).

La répartition des devoirs et des responsabilités entre les différents partenaires lors de la construction sont présentés dans le tableau suivant:

	Maître d'ouvrage	Auteur projet	Entrepreneur	Centrale à béton
Projet spécifications	classe de risque			
		classe d'environnement		
		classe de prévention		
Conception des mesures	convention d'utilisation			
		base du projet appel d'offres réalisation surveillance		
Appel d'offres commande, livraison		appel d'offres	commande	livraison
		Béton à propriétés spécifiées selon SN EN 206-1 avec propriété complémentaire «résistance à la RAG»		
Preuves		contrôle	contrôle	Examen pétrographique, év. essai Microbar sur le granulats ou essai de Performance sur béton
Exécution contrôles		programme de contrôle	plan de contrôle	