



Les sulfates peuvent mener à la détérioration du béton par formation d'un sel expansif. Afin de prévenir cette dégradation, bon nombre de normes et de cahiers des charges renvoient dès lors à des ciments à haute résistance aux sulfates, ou 'HSR' (*high sulfate resisting*), seule dénomination reconnue en Belgique jusqu'en 2011. Or, à la suite de modifications normatives, les ciments résistant aux sulfates porteront désormais sur le marché la désignation 'SR' (*sulfate resisting*) ou 'HSR' (*high sulfate resisting*). Cette distinction n'est toutefois pas relative à leur degré de résistance aux sulfates. Cet article a pour but d'apporter quelques explications visant à dissiper d'éventuelles confusions.

## Ciments 'SR' ou 'HSR' : lesquels sont à haute résistance aux sulfates ?

### Quand utiliser un ciment à haute résistance aux sulfates ?

Le sol et les eaux souterraines peuvent contenir des sulfates. Leur présence peut également être due à des activités industrielles ou à l'utilisation de certains engrais. Ces sulfates pénètrent dans les bétons principalement par diffusion ou par absorption capillaire et peuvent réagir avec les produits d'hydratation du ciment. Les produits de cette réaction étant expansifs, le béton commence alors à se dégrader (par la formation d'ettringite, également appelée sel de Candlot; voir figure ci-dessous).

Une compacité élevée du béton (teneur correcte en ciment, faible rapport E/C, squelette optimal des granulats) améliore la résistance de ce dernier aux sulfates. Pourtant, cette compacité ne suffit pas à elle seule. Dès que la teneur en sulfates de l'eau ou des terres en contact avec le béton est supérieure, res-

pectivement, à 500 mg/l ou 3.000 mg/kg (ce qui correspond aux classes d'environnement EA1 à EA3), il est nécessaire d'utiliser un ciment à haute résistance aux sulfates (voir la norme NBN B 15-001).

### Nouvelles normes : changement de dénomination

Avant 2011, la norme européenne NBN EN 197-1:2000 'Ciment' ne faisait pas mention d'une quelconque résistance aux sulfates des ciments répertoriés. En revanche, la norme belge NBN B 12-108:2006 'Ciments. Ciments à haute résistance aux sulfates' désignait certains ciments 'HSR' comme possédant une haute résistance aux sulfates.

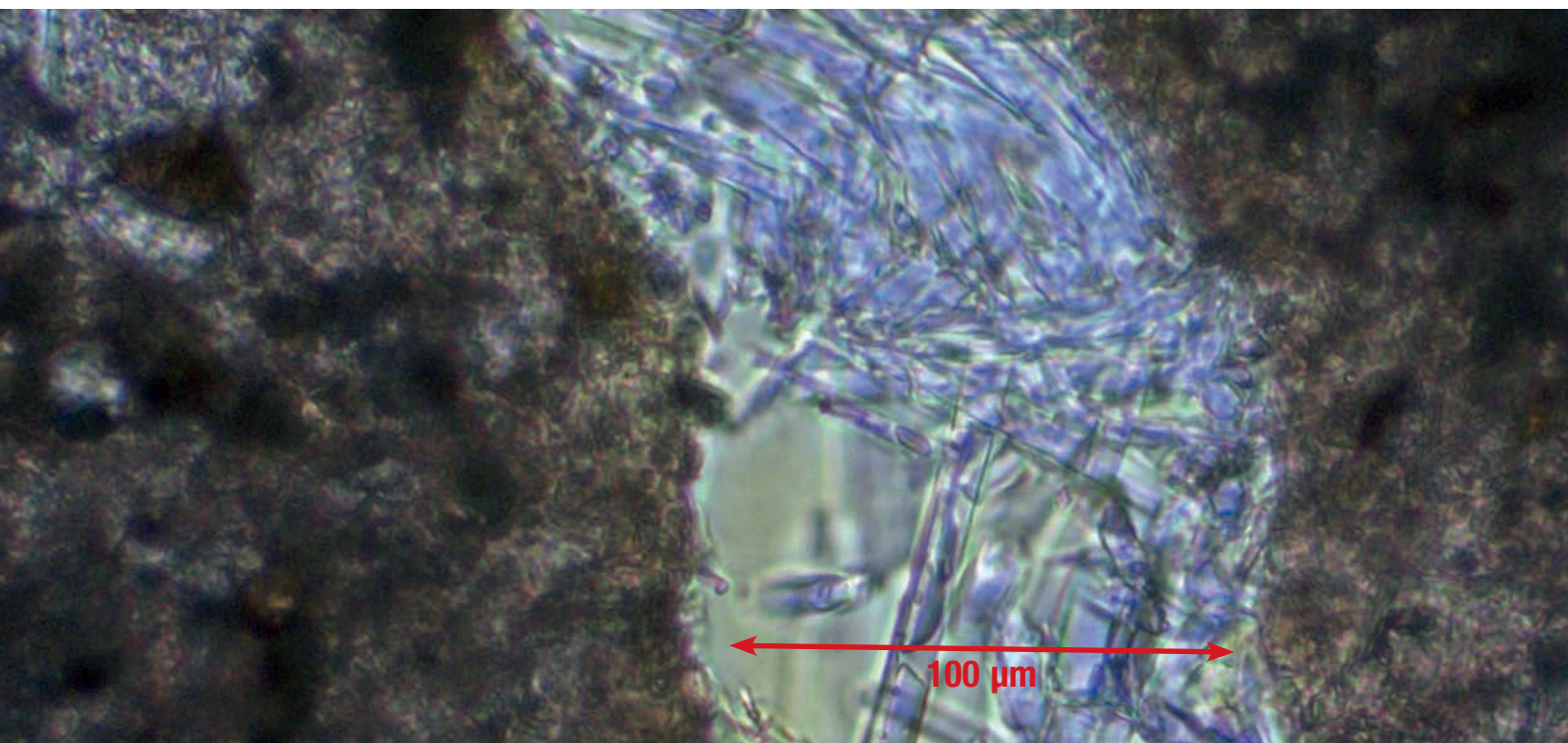
En 2011, la nouvelle édition de la norme européenne NBN EN 197-1 a introduit sept ciments résistant aux sulfates et portant la désignation 'SR'. Cependant, l'annexe A

permet, sur le plan national, de considérer d'autres ciments résistant aux sulfates et renvoie, dans le cas de la Belgique, vers la norme NBN B 12-108.

Afin d'être conforme à cette dernière édition de la norme européenne NBN EN 197-1, l'édition 2006 de la norme NBN B 12-108 devait être révisée. En effet, au niveau belge, il est démontré que certains ciments peuvent être considérés comme résistant aux sulfates, alors qu'ils ne sont pas définis comme tels dans la norme européenne. Les références à la norme NBN B 12-108 étant très nombreuses dans les cahiers des charges publics et privés en Belgique, il était souhaitable de conserver la référence à cette norme.

De plus, la marque BENOR est liée à la norme NBN B 12-108 en ce qui concerne la caractéristique 'résistance aux sulfates'. Cette marque permet d'avoir un contrôle de qualité plus sévère que ce qui est requis

Présence d'aiguilles d'ettringite dans une fissure parcourant la pâte de ciment





## Types de ciment à (haute) résistance aux sulfates en fonction des différentes normes

Type de ciment	Norme belge NBN B 12-108:2006	Norme européenne NBN EN 197-1:2011	Norme belge NBN B 12-108:2015
Ciment Portland	CEM I HSR $\leq 3,0\%$ $C_3A$	CEM I-SR 0 = 0 % $C_3A$ CEM I-SR 3 $\leq 3\%$ $C_3A$ CEM I-SR 5 $\leq 5\%$ $C_3A$	CEM I-SR 0 = 0 % $C_3A$ CEM I-SR 3 $\leq 3\%$ $C_3A$
Ciment de haut fourneau	CEM III/B HSR CEM III/C HSR	CEM III/B-SR CEM III/C-SR	CEM III/B-SR CEM III/C-SR
Ciment pouzzolanique	/	CEM IV/A-SR $\leq 9\%$ $C_3A$ CEM IV/B-SR $\leq 9\%$ $C_3A$	/
Ciment composé	CEM V/A (S-V) HSR	/	CEM V/A (S-V) HSR (*)
Ciment sursulfaté	SSC HSR	/	SSC HSR

(\*) Le ciment de type CEM V/A (S-V) HSR est considéré comme 'Ciment à Haute Résistance aux Sulfates selon la NBN B 12-108' s'il répond aux exigences complémentaires spécifiques de la norme belge. Ainsi, il ne peut contenir qu'au maximum 50,0 % de chaux (CaO).

au niveau européen pour le marquage CE. Par exemple, un contrôle externe de la composition des CEM III/B-SR (la composition définissant le caractère 'SR') est réalisé dans le cadre de la marque BENOR, mais pas dans celui du marquage CE, qui ne fait mention que d'un simple autocontrôle.

La révision de la norme belge NBN B 12-108, dont la publication est attendue dans le courant de l'année 2015, définit les ciments suivants comme étant à haute résistance aux sulfates :

- les ciments 'SR' : les ciments résistant aux sulfates suivant la norme européenne, qui sont reconnus en Belgique comme à haute résistance aux sulfates. Ceux-ci étant déjà marqués 'SR' dans leur dénomination couverte par le marquage CE, ils ne peuvent pas être marqués 'HSR'

- les ciments 'HSR' : les ciments qui ne figurent pas dans la norme européenne comme résistant aux sulfates, mais qui sont considérés comme à haute résistance aux sulfates au niveau belge.

Cette distinction entre 'SR' et 'HSR' n'est pas liée au degré de résistance aux sulfates, mais au fait que ceux-ci sont repris ou non dans la norme européenne comme résistant aux sulfates. Tous ces ciments sont dorénavant dénommés 'Ciment à Haute Résistance aux Sulfates selon la NBN B 12-108'. C'est l'appellation qui devrait être utilisée dans son intégralité dans les cahiers des charges au lieu de l'ancienne désignation 'HSR'.

### Quels sont les ciments à haute résistance aux sulfates ?

Lors de la réaction d'hydratation (la réaction du ciment en présence d'eau), certains constituants du ciment (les oxydes de calcium et les aluminates, par exemple) forment des produits pouvant réagir avec les sulfates et provoquer une réaction expansive. En limitant ou en évitant complètement ces constituants dans le ciment, on obtient une plus grande résistance aux sulfates du béton réalisé avec ce ciment. On retrouve cette propriété dans :

- les ciments Portland naturellement pauvres en aluminates  $C_3A$
- les ciments de haut fourneau à forte teneur en laitier
- les ciments composés dont la teneur en chaux (CaO), source d'ion calcium, est faible.

D'un point de vue normatif, ces considéra-

tions scientifiques ont été traduites par des exigences imposées aux ciments. Le tableau ci-dessus répertorie les types de ciment à (haute) résistance aux sulfates selon les différentes normes.

Vous constaterez que la révision de la norme NBN B 12-108 n'a pas repris tous les ciments 'SR' figurant dans la norme européenne NBN EN 197-1. C'est le cas du ciment CEM I ayant jusqu'à 5 % de  $C_3A$  (CEM I-SR 5) et des ciments pouzzolaniques CEM IV SR. En effet, ceux-ci n'ont jamais été utilisés en Belgique dans des ouvrages en contact avec des sulfates. Par ailleurs, puisqu'un ciment Portland CEM I est d'autant plus résistant aux sulfates que sa teneur en  $C_3A$  est faible, la Belgique n'a pas tenu à reprendre le CEM I-SR 5.

Enfin, par rapport à l'édition 2006 de la norme NBN B 12-108, les limites ont été revues également. Ainsi, alors qu'un ciment Portland CEM I était auparavant considéré comme résistant aux sulfates si sa teneur en  $C_3A$  était inférieure à 3,0 %, la limite est de 3 % dans la nouvelle version, ce qui autorise les valeurs de 3,4 %, par exemple.

*L. Kupers, m. sc. geol., chercheur,  
laboratoire Technologie du béton, CSTC  
V. Dierjck, ir., chef de projet senior de la division  
Béton et chimie du bâtiment, CSTC  
V. Pollet, ir., chef adjoint du département  
Matériaux, technologie et enveloppe, CSTC*

*Article rédigé dans le cadre de  
l'Antenne Normes 'Béton-Mortier-Granulats',  
subsidiée par le SPF Economie*