

MISE AU POINT D'UNE METHODE RAPIDE POUR LA DETECTION DE LA REACTION ALCALI-GRANULATS

B. GUETACHE

Ingénieur Docteur ENPC - Paris,
Chargé de Cours à l'Ecole Nationale des Travaux Publics (Alger)

Résumé

L'alcali- réaction est une forme de pathologie qui affectent les structures en béton hydraulique. Elle est à l'origine des nombreuses dégradations qui ont été signalées durant ce dernier demi - siècle (POOL A.B. , 1983).

Ces dégradations revêtent un caractère irréversible et ne se prêtent à aucun type de réparation (NISHIBAYASHI et al., 1992). Les mesures curatives se sont avérées inefficaces et seules les solutions préventives peuvent donner une réponse a priori sur la réactivité d'un couple liant - granulats donné ;

Le but du présent article est de proposer une nouvelle méthode de détection accélérée dont l'intérêt, par rapport aux essais classique est le temps de réponse et la sensibilité du test : on obtient des résultats caractéristiques de la réaction alcali - granulats au bout de 24 heures alors que des résultats similaires n'auraient pu être relevés qu'au bout de 3 mois à travers l'essai normalisé français P 18-585, équivalent de l'essai américain C 227.

Mots clés : béton • alcali • réaction • fissuration • gel (de réaction) • silice • alcalins •

1 PRINCIPE DE LA METHODE

La méthode consiste à faire subir aux éprouvettes de mortier un traitement dans une ambiance chaude et à vapeur saturante dans le but d'exacerber les réaction alcali -granulats (TOUBEAU Ph., 1987 - GUETTACHE B., 1989).

Le matériel utilisé se compose d'une enceinte close associée à une étuve réglée sur une température de 80° C. l'enceinte close est un bocal en verre utilisé couramment pour les conserves alimentaires. Il ferme hermétiquement et peut contenir 06 éprouvettes de 20x20x160 mm.

Les éprouvettes de mortier à base de ciment sont placées dans les bocaux couchés horizontalement (photographie n° 1) dans une étuve réglée à 80°C. Une réserve d'eau abandonnée au fond du bocal assure en son sein un degré d'humidité relative proche de 100%.

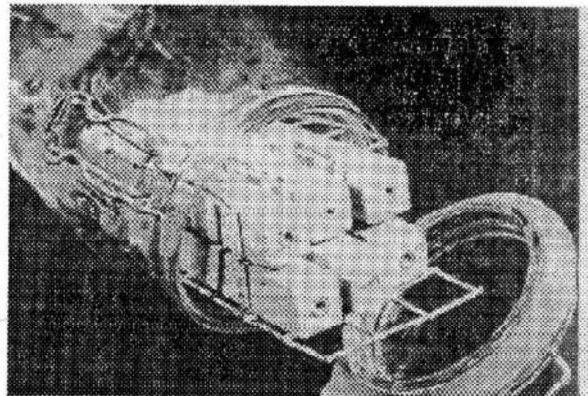


Photo 1 : Bocal en verre ayant servi d'enceinte pour la conservation des éprouvettes dans milieu chaud et à vapeur saturante. Les éprouvette sont disposées dans un dispositif en fil métallique afin de les isoler les unes des autres.

2 MATERIAUX UTILISES

2.1 Les ciments

On a choisi deux ciments qui diffèrent nettement par leur teneur en Na₂O % - équivalent

(tableaux I et II) : pour un dosage de 450 kg/m³, le ciment n° 2 apporte 1,26 kg d'alcalin – équivalent en plus que le ciment n°1.

Composition chimique pondérale en %		
Constituants	Ciment n°1	Ciment n°2
Silice soluble	22.00	20.84
Alumine	3.04	5081
Oxyde de titane	0.23	0.28
Oxyde ferrique	3.88	2.80
Oxyde de calcium	64.51	63.09
Oxyde de magnésium	0.66	1.04
Oxyde de sodium	0.36	0.33
Oxyde de potassium	0.48	0.95
Anhydride sulfurique	1.95	3.32
Chlore des chlorures	0.01	0.01
Soufre des sulfures	.000	0.00
Oxyde de manganèse	0.11	0.08
Perte au feu	2.54	1.53
total	99.77	100.08
Résidu insoluble	0.55	0.34
Indice d'hydraulicité	0.38	0.42
Anhydride carbonique	1.63	1.10
Chaux libre	0.63	0.86
Teneur en % Na ₂ O équivalent = % Na ₂ O + 0.658 % K ₂ O	0.67	0.95

Tableau 1 : Composition chimique centésimale des deux ciments utilisés.

Composition minéralogique			
Nom minéralogique	Formule abrégée	Ciment n°1	Ciment n°2
Alite	C ₃ S	53.03	36..88
Bélite	C ₂ S	23.04	31.92
Célit	C ₃ A	1.50	10.66
Brownmillérite	C ₄ AF	11.74	8.50
Carbonates		3.70	2.50
Gypose		4.19	7.13
Chaux libre		0.63	0.86

Tableau 2 : Composition minéralogique potentielles des ciment utilisés.

2.2 Les granulats

Trois types de sables ont été associés aux deux ciments décrits plus haut. Il s'agit de :

2.2.1 Sable roulé siliceux :

il est d'origine marine, d'âge stampien. Il affleure dans le Sud du Bassin Parisien. Ses grains, constitués principalement de quartz, sont lisses émoussés. Sa granularité, très serrée, est comprise entre 160 et 315 micromètres. La compositions chimique déterminée par fluorescence X, donne 99,85% de silice et une teneur en K₂O inférieur 0,023 %.

2.2.2 Sable quartzitique :

Il tient son origine d'un grès armoricain d'âge ordovicien. L'examen pétrographique révèle une teneur en quartz comprise ente 90 et 95 %.

En lames minces, les cristaux se présentent les caractéristiques des roches métamorphisées :

extinction roulant, limites de cristaux en forme de dendrites et de signes de recristallisation diagénétique. Dans les zones altérées, on observe parfois des granules d'opale.

2.2.3. Sable calcaire noir :

il provient du niveau inférieur des assises du Tournaisis (premier étage du Carbonifère).

C'est une roche noire, massive et très compacte. On y a observé de la silice diffuse en fin réseau.

3 PREPARATION DES EPROUVETTES

Les éprouvettes de dimensions 20x20x160 mm sont équipées en leur extrémités de plots permettant le mesurage de l'expansion linéaire enregistrée sur le rétractomètre LCPC normalisé sous la référence AFNOR P 15-433.

Les couples liants-granulats testés ont été mis en œuvre dans les conditions reportées dans le tableau III ci- dessous.

Granulats			
nature du sable	Siliceux roulé	Calcaire noir concassé	Quartzitique concassé
granularité	0.16/0.315 mm	Reconstitué selon fuseau AFNOR (0.80/2 mm)	Reconstitué selon fuseau AFNOR (0.80/2 mm)
rapport eau/ciment	0.55	0.50	0.50
Composition du mortier	Ciment : 450 g Sable : 1350 g Eau : 225 g		
Mise en œuvre	Selon norme Afnor P 15-402		
% Na ₂ O équivalent des ciments utilisés	Ciment n° 1 : 0.67 %		Ciment n°2 : 0.95%

Tableau 3 : Caractéristiques et conditions de mise en œuvre des éprouvettes testées au moyen de la cure hydrothermale

On a élaboré six mortiers, résultats de la combinaison des trois sables et deux ciments pour chaque mortier on a confectionné trois éprouvettes dont l'une d'elle sert comme témoin (conservation sous l'eau à 20°C). les deux autres sont soumises aux conditions de la cure hydrothermale (80°C et 100% d'humidité relative).

4. METHODES DE SUIVI ET D'OBSERVATION DES EPROUVETTES

4.1. Variations dimensionnelles

C'est l'un des critères les plus utilisés pour la détection des réactions alcali-granulats.

On mesure l'expansion linéaire prise entre les extrémités des éprouvettes. Elle est enregistrée par

lecture visuelle à l'aide du rétractomètre mécanique mis au point par le LCPC et normalisé actuellement sous le n° P 15-433.

4.2 Observation à la loupe binoculaire

La loupe binoculaire permet de faire des observations visuelles avec des grossissements de 56 fois. C'est un instrument qui aide à déceler les sites réactifs (apparition de gel et/ou de fissures) et qui feront l'objet des futures investigations au microscope électronique à balayage. La loupe est équipée d'un dispositif permettant des prise de vue photographiques.

4.3 Le microscope électronique à balayage

Le microscope électronique à balayage, associé à un analyseur en dispersion d'énergie, permet d'obtenir l'analyse chimique des éléments du site observé. Il permet également de faire des observations à très faible échelle, grâce à quoi, on peut détecter les microfissures et les formations de gel ne dépassant pas les 10 micromètres. Toutes ces observations peuvent être restituées sous forme d'enregistrement graphiques ou de photographies.

5 RESULTATS OBTENUS A PARTIR DES MESURES DE L'EXPANSION

L'indicateur de réactivité alcaline est le seuil d'expansion relative contenu dans la norme française AFNOR P 18-585. On considère qu'un couple alcali-granulats est réactif si l'expansion linéaire relative est supérieure à 0,05 %

Les résultats sont représentés sur les tableaux 4 et 5.

Ciment n°1 (0,67 % Na_2O - équiv)	Expansion linéaire relative en %	
	Eprouvettes traitée	Eprouvettes. Témoin
Sable silicieux	-0,040	0,006
Sable quartzitique	0,012	0,009
Sable calcaire	0,006	0,037

Tableau 4 : Expansion linéaire relative enregistrée après 24 heures de cure hydrothermale. Le seuil de réactivité de 0,05% à 3 mois (Norme P 18-585) n'est atteint par aucune des éprouvettes. La teneur en alcalins du ciment n° 1 semble insuffisante pour déclencher les réactions alcali-granulats.

ciment n° 2 (0,95 % Na_2O - équiv.)	expansion linéaire relative en %	
	éprov. Traitée	éprov. témoin
sable siliceux	0,150	-0,048
Sable quartzitique	0,062	-0,030
Sable calcaire	0,075	-0,001

Tableau 5 : Expansion linéaire relative enregistrée après 24 heures de cure

hydrothermale. Toutes les éprouvettes traitées à la cure hydrothermale accusent une expansion linéaire relative supérieure au seuil de réactivité alcaline qui est de 0,05 % à 3 mois (Norme P 18-585). La richesse en éléments alcalins contenus dans le ciment n° 2 apparaît assez importante pour développer significativement les réactions alcali-granulat.

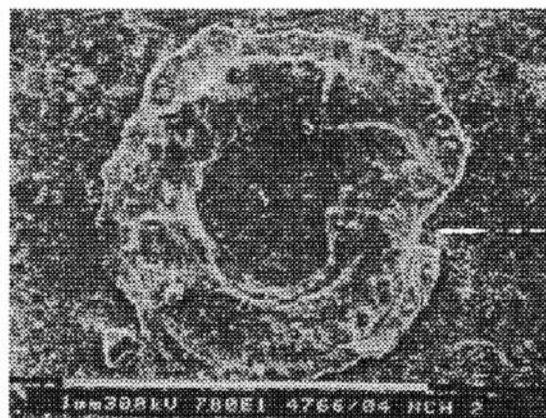


Photo 2 : Vue d'un produit de réaction alcali-granulat. Il s'agit ici d'un gel silicocalcopotassique se développant à la surface d'un grain de sable siliceux au contact de la pâte de ciment hydraté à 0,95 % de Na_2O -équivalent (grossissement: 7 fois).

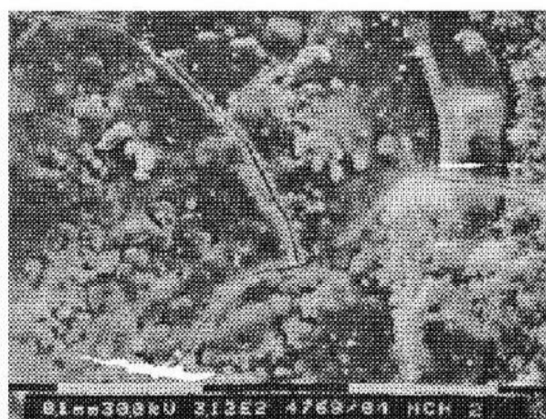


Photo 3 : Vue de détail de la photographie n° 2. Le gel, de nature silico-calcopotassique, présente l'aspect classiques des gels produits par l'alcali - silice : surface lisse, mamelonnée et microfissurée.

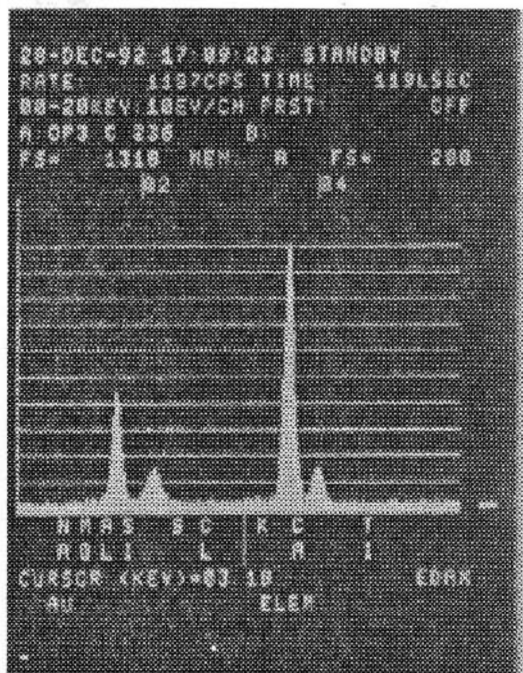


Photo 4 : Spectre d'analyse EDXA donnant la composition élémentaire du gel de réaction. On voit que le gel est riche en silicium et un peu moins en calcium et potassium. On note, par ailleurs, l'absence du sodium dont la raie se situe à gauche du Si.

6 CONCLUSION

La méthode de la cure hydrothermale déclenche les réactions alcali-granulats de façon très précoce. En effet, en 24 heures on a pu enregistrer des valeurs d'expansions linéaires allant jusqu'à 0,15 %, soit des valeurs 3 fois supérieures aux seuils de réactivité alcaline préconisés par la norme P 18-585 qui sont de 0,05 % à trois mois.

La méthode s'avère sensible à la teneur des alcalins présents dans les ciments. A ce titre, on peut noter que dans les mortiers, où le pourcentage en Na_2O - équivalent est de 0,67 %, les réactions alcali-granulats n'ont pu être déclenchées, ou sinon faiblement. Ceci explique pourquoi les mécanismes de gonflement restent insignifiants. On est amené, suite à cette observation, à se poser la question sur les teneurs pessimales en Na_2O % - équivalent nécessaires et suffisantes pour amorcer et entretenir les réactions

de type alcali-granulats, la teneur de 0,67% n'en serait qu'une indication grossière dont il faudrait préciser quantitativement les limites.

La sensibilité de la méthode est autrement démontrée par le comportement des mortiers où les alcalins sont présents à un niveau de 0,95 % Na_2O - équivalent. Dans ce deuxième cas de figure, les réactions alcali-granulats ne sont plus latentes. Les mécanismes de gonflements qui sont générés sont plus significatifs et on enregistre des valeurs d'expansion linéaire qui permettent de se prononcer, sans aucune ambiguïté, sur la réactivité alcaline du couple ciment-granulat.

Enfin, le mérite de cette nouvelle méthode n'est plus la détection de la réactivité potentielle, mais la détection de la réactivité réelle d'un couple donné ciment granulat, et ceci en un temps relativement court.

7 BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.B. POOL, - Alkali in concrete : "a matter of education for Engineer and Research Scientist". 6th Int. conf. on alkali in concrete, Research and Practice Proceeding, 125-131, Copenhagen, Danish, 1983.
- [2] P. TOUBEAU, - "Optimisation des caractéristiques géotechniques et minéralogiques dans le traitement des sols. application aux bétons de terre". Thèse de l'Université Paris VI, 1987
- [3] B. GUETTACHE, - "Essai de deux méthodes pour la détection de la réaction alcali-granulats". Mémoire de DEA, Ecole Nationale des Mines de Paris, 1989.
- [4] S. NISHIBAYASHI and ai. , - Alkali-silica reaction - Japanese experience. "The alkali-silica reaction in concrete", p. 270, Edited by SWAMY R.N., 1992.
- [5] B. GUETTACHE, - "Comportement des minéraux en milieu hyper-basique.. Application à la prévision des dégradations internes des bétons par essais et modélisation". Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 154 pp., Paris, 1993.