

# APPORT DE L'AUSCULTATION DYNAMIQUE POUR LE DIAGNOSTIC DES RÉACTIONS ALCALI-GRANULATS DANS LES BÉTONS HYDRAULIQUES

B. GUETTACHE  
Ecole Nationale des Travaux  
Publics - Alger

## RÉSUMÉ

Dans le présent article, nous présentons quelques résultats obtenus par auscultation dynamique sur des échantillons de mortiers à base de ciment et au sein desquels sont apparues des dégradations. Ces dégradations ont été identifiées comme étant dues à des réactions du type alcali-granulats. Ceci a été étayé par des observations au microscope électronique à balayage et appuyé par le mesurage des variations dimensionnelles des éprouvettes (GUETTACHE B., 1999a). La comparaison des vitesses de propagation des ondes ultrasoniques dans des éprouvettes saines et dans des éprouvettes, sièges de réactions type alcali-granulats, permet d'envisager l'utilisation de l'auscultation dynamique comme un moyen approprié pour le diagnostic de l'alcali-réaction dans les structures en béton hydraulique. Les résultats obtenus à l'aide de l'ausculteur dynamique sont confrontés avec ceux obtenus par mesurage de l'expansion linéaire. On note, à cet effet, une bonne corrélation entre les deux démarches. Le diagnostic par auscultation dynamique étant un essai non-destructif, pourrait donner lieu à un moyen d'investigation fort intéressant tant en laboratoire que sur les structures réelles.

## MOTS-CLÉS

alcalins - silice - granulats - béton - dégradation - fissure - réaction - diagnostic

## 1. Principe de la méthode de l'auscultation dynamique

L'ausculteur dynamique est un appareil qui se compose d'un générateur de fréquences et d'un récepteur (transducteurs). Il génère des ondes ultrasoniques de type longitudinales. L'échantillon, d'une longueur connue, est interposé entre le générateur et le récepteur. On mesure le temps de propagation des ultrasons dans le solide. On en déduit la vitesse de propagation. Dans une roche, un minéral ou bien un béton, cette vitesse dépend, d'une part de la nature des minéraux constituant le solide et, d'autre part de l'arrangement des grains les uns par rapport aux autres. Les vides intergranulaires ainsi que les microfissures sont des facteurs qui régissent cet arrangement. Sachant que les ondes longitudinales se propagent mieux dans un milieu solide que dans un milieu gazeux, il est tout à fait admissible d'interpréter la diminution de la vitesse de propagation comme étant due à un parcours plus ou moins important dans une phase gazeuse. Cette phase gazeuse, dans les solides étudiés ici, est représentée par les vides intergranulaires et notamment par les fissures et les microfissures (REGOURD M., 1983). Ces discontinuités seraient à l'origine de l'amortissement des ondes ultrasoniques longitudinales.

Partant de là, il est permis de comparer les vitesses de propagation de ces ondes dans une éprouvette témoin et une éprouvette, siège d'une réaction alcali-granulat. On déduira qualitativement, au vue du taux d'amortissement, si l'auscultation dynamique se prête ou non comme un moyen de diagnostic de l'alcali-réaction.

## 2. Les matériaux

Les matériaux ayant servi dans cette étude sont décrits in GUETTACHE B., 1999a. Il s'agit, d'abord, de deux ciments ayant respectivement une teneur en  $\text{Na}_2\text{O}$  équivalent de 0,67% et 0,95% pour le ciment n°1 et le ciment n°2.

Trois sables de nature différente ont servi pour la confection des mortiers. Ils sont identifiés de la manière suivante :

- sable siliceux provenant du sud du Bassin Parisien;
- sable calcaire noir du Tournaisis;
- sable quartzitique provenant du Massif Armoricain.

## 3. Préparation et traitement des éprouvettes

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 le référence AFNOR P 15-433.

Les couples liants-granulats testés ont été mis en œuvre dans les conditions reportées dans le tableau 1 ci-dessous :

Granulats			
nature du sable	siliceux roulé	calcaire noir concassé	quartzitique concassé
granularité	0,16 / 0,315	reconstitué selon fuseau AFNOR (0,08/2 mm)	reconstitué selon fuseau AFNOR (0,08/2 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		
% $\text{Na}_2\text{O}$ équivalent des ciments utilisés	ciment n°1 : 0,67%	ciment n°2 : 0,95 %	

Tableau 1 - Caractéristiques et conditions de mise en œuvre des éprouvettes traitées au moyen de la cure hydrothermale.

On a élaboré six mortiers, résultats de la combinaison de trois sables et de deux ciments.

Pour chaque mortier on a confectionné trois éprouvettes dont l'une d'elle sert comme témoin (conservation sous l'eau et à 20°C). Les deux autres sont soumises aux conditions de la cure hydrothermale 80°C et 100% d'humidité relative (GUETTACHE B., 1999a).

#### 4. Méthodologie

Après mesurage des variations dimensionnelles, les éprouvettes sont sciées en leurs extrémités afin de débiter les deux parties de mortier qui enrobent les plots en acier. Les deux bases sont ensuite polies et les éprouvettes étuvées.

Avant de procéder aux mesures du temps de propagation sur les éprouvettes de mortier, on s'assure à l'aide d'une barre-étalon du parfait réglage de l'appareil. La longueur de chaque éprouvette est mesurée au pied à coulisse au 1/10ème de mm près.

L'éprouvette est interposée verticalement entre émetteur et récepteur. On enduit au préalable ses bases de graisse de silicone dans le but d'améliorer le contact avec les organes de l'ausculteur dynamique.

#### 5. Résultats de l'auscultation dynamique

Les résultats de l'auscultation dynamique sont présentés sur les tableaux 2 et 3, où figurent également les valeurs des expansions linéaires.

La propagation des ondes ultrasoniques est plus faible dans les éprouvettes ayant subi la cure hydrothermale. La plus faible vitesse est enregistrée dans le mortier avec du sable quartzitique et pour lequel l'expansion linéaire a été la plus forte. Ceci peut s'expliquer par l'apparition d'un réseau de microfissures qui amortirait les ultrasons.

D'une manière générale, on remarque que la vitesse de propagation des ultrasons est relative-

ment plus grandes dans les mortiers qui n'ont pas subi la cure hydrothermale. Ces mortiers sont considérés comme sains. Le tableau n° 3 montre que leur variation dimensionnelle est

<i>ciment n°1 à 0,67% Na<sub>2</sub>O - équivalent avec :</i>	<i>expansion linéaire en %</i>	<i>vitesse en m/s</i>
sable quartzitique traité	0,012	2800
sable quartzitique (tém)	0,009	3500
sable calcaire noir traité	0,006	3800
sable calcaire noir (tém)	0,037	4000
sable siliceux traité	- 0,40	4100
sable siliceux (tém)	0,006	4250

**Tableau 2- Résultats de l'auscultation dynamique (deuxième colonne). On remarque que dans tous les cas la vitesse des ultrasons est plus grande dans les éprouvettes témoins.**

<i>ciment n°2 à 0,95% Na<sub>2</sub>O - équivalent avec :</i>	<i>expansion linéaire en %</i>	<i>vitesse en m/s</i>
sable quartzitique traité	0,062	3250
sable quartzitique (tém)	- 0,030	3500
sable calcaire noir traité	0,075	4000
sable calcaire noir (tém)	- 0,001	3800
sable siliceux traité	0,150	4100
sable siliceux (tém)	- 0,048	4600

négative, c'est à dire qu'ils ont subi un léger retrait, phénomène tout à fait habituel dans les matériaux à base de ciment (retrait thermique, retrait hydraulique).

#### 6. Commentaires

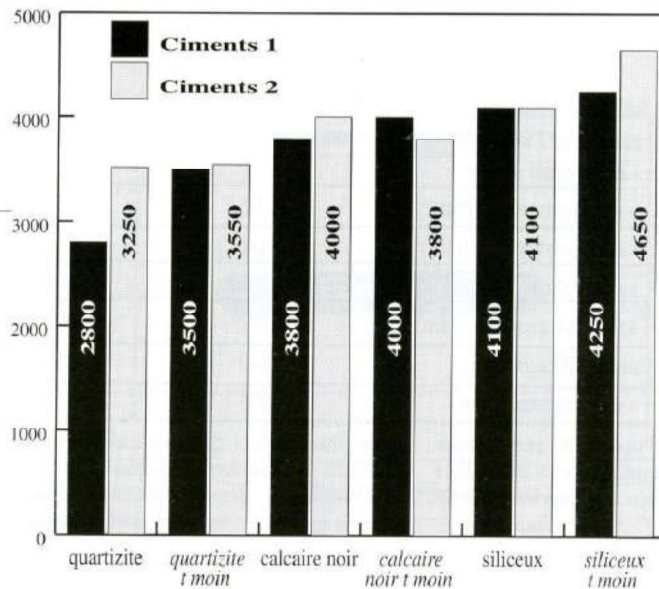
- Sur les matériaux à base du ciment n°1 (0,67 % Na<sub>2</sub>O -équivalent.) : les valeurs de la vitesse de propagation des ultrasons reflètent assez fidèlement celles relevées sur les expansions linéaires : aux grandes vitesses correspondent les variations linéaires faibles, inversement, les petites vitesses sont en concordance avec les valeurs de l'expansion linéaires fortes.

- Sur les matériaux à base de ciment n°2 : les résultats de l'auscultation dynamique et ceux de l'expansion linéaire sont relativement concordants : les matériaux qui ont le plus gonflé présentent les plus faibles vitesses de propagation des ultrasons.

Sur la Figure 1, on a fait apparaître les résultats de l'auscultation dynamique relatifs aux deux ci-

**Tableau 3 - Résultats de l'auscultation dynamique (deuxième colonne). À noter que, globalement, la vitesse de propagation des ultrasons est relativement plus grande dans les éprouvettes témoins, signe qui dénoterait que le squelette granulaire n'a pas subi de perturbations significatives (apparition de réseau de microfissures).**

**Figure 1** - Résultats de l'auscultation dynamique. Les vitesses sont données en m/s. Comparaison des valeurs enregistrées dans les mortiers confectionnés avec les ciments n° 1 et n° 2.



## BIBLIOGRAPHIE

- [1] B. GUETTACHE - 1999a: à paraître in *Algérie Equipement*  
 [2] A. LEROUX, E. MASSIEU, B. GODART - *Evolution under stress of a concrete affected by AAR. Application to the feasibility of strengthening a bridge by prestressing. Proc. 9th Inter. Conf. on Alkali-Aggregate Reaction in concrete*, pp. 599606, Westminster, London, July 1992.  
 [3] M. REGOURD - *Altération internes des bétons: la réaction alcalis-granulats*, revue «Travaux», pp. 62-67, mai 1983.

ments. On rappelle que le ciment n°2 est plus riche en %  $\text{Na}_2\text{O}$  -équivalent et que les éprouvettes confectionnées avec ce ciment ont été le siège de réactions type alcali-silice. Il aurait été attendu que, corrélativement, les vitesses de propagations des ultrasons y seraient plus faibles à cause du réseau de microfissures résultant des pressions de gonflement qui seraient de l'ordre de 5 Mpa en traction (LEROUX A et al., 1992). Or, il s'avère que les mesures effectuées montrent que les vitesses des ondes sont relativement plus faibles dans les mortiers ayant réagi aux alcalins que les mortiers n'ayant pas ou peu réagi.

Cette observation, assez inattendue, pourrait s'expliquer de la manière suivante : le gel, en tant que produit de réaction alcali-silice, se présente, à sa naissance, sous forme d'une substance plus ou moins visqueuse. Il a tendance à s'épancher et remplir les espaces vides qui lui sont offerts. Dès l'instant où les espaces vides deviennent insuffisants, le gel commence à exercer des pressions sur la matrice solide.

Si la matrice a une résistance à la traction inférieure à la pression développée par le gel, on assistera à l'apparition de désordres sous forme de microfissures. Macroscopiquement, ceci va se traduire par une expansion du volume apparent du mortier.

Si les ingrédients (alcalins, silice et eau) sont toujours disponibles, le gel continuera à se produire et se comporter de la même manière. A partir du moment où le gel va rencontrer une matrice plus résistante, il va se cantonner dans

l'espace où il prit naissance en se densifiant de plus en plus.

Les réactions d'hydratation du ciment n'étant jamais complètes, le gel perdra une partie de son eau à leur profit. Il s'en suivra que le gel va jouer un rôle de remplissage des discontinuités qui

l'entourent. Partant de là, le matériau deviendra moins poreux et se transformera progressivement en un milieu plus propice à la propagation des ondes ultrasoniques.

## 7. Conclusion

Le diagnostic des réactions alcali-granulats peut être approché par des mesures à l'aide de l'ausculteur dynamique. Les réponses données ne sont pas univoques car l'interprétation liée à l'amortissement des ondes ultrasoniques peut être le fait de facteurs antinomiques :

- la diminution de la célérité des ondes est due aux désordres microscopiques, résultat de l'alcali-réaction;
- l'augmentation de la célérité des ondes est due à la densification du gel de l'alcali-réaction.

Afin de s'affranchir de l'ambivalence dans les interprétations, il faudrait suivre régulièrement dans le temps l'évolution de cette célérité. A notre avis, les deux situations suivantes sont plausibles :

1) absence de réaction alcali-silice: la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques ne subit pas de fluctuations significatives;

2) présence de réaction alcali-silice: la vitesse marque un changement de pente. Relativement faible durant les premiers jours (stade des microdésordres), elle devient de plus en plus importante par la suite (stade de densification du gel par perte d'eau et remplissage des pores internes).