



Partie 1 – Évaluation non destructive des matériaux

EFFET DE LA PRÉCISION DES ESSAIS ET DE L'ÉTAT DE CONTRAINTE AXIALE SUR LA VITESSE DU SON DANS LE BÉTON

**EFFECT OF THE ACCURACY OF THE TESTS AND STRESS STATE
ON THE ULTRASONIC VELOCITY IN CONCRETE**

B. KEBAILI^(a), B. REDJEL^(b)

a, b. Laboratoire de Génie Civil Université Badji Mokhtar Annaba Algérie.

* B. Kebaili : bachir.kebaili@univ-annaba.dz

RÉSUMÉ

Lorsque nous devons évaluer les caractéristiques des bétons dans des structures réelles, il est nécessaire de savoir que contrairement aux laboratoires, le béton est sous un état de contrainte existant, aussi avec des dimensions importantes. Dans ce travail, nous avons étudié l'effet de la variation de la charge axiale ainsi que l'effet de la précision des essais sur la vitesse ultrasonique. Dans les matériaux homogènes, quand ils sont soumis à une charge axiale une diminution du volume apparaît, donnant des matériaux plus compacts avec théoriquement un accroissement de la vitesse du son. Contrairement à ce que nous avons constaté dans des bétons soumis à des contraintes axiales progressives où une diminution de la vitesse des ondes ultrasonores apparaît, ce phénomène est plus compliqué d'autant que l'interaction entre le ciment et les agrégats est plus complexe. L'interface entre ces constituants reste la clé de la compréhension de ces effets. On sait que lorsque le béton est soumis à des charges axiales élevées une propagation de fissure importante apparaît à l'interface. Pour des taux de contraintes de l'ordre de 60% de celle de rupture elle est suivie d'une diminution de la vitesse ultrasonique d'environ 10%. Cette chute est plus accentuée atteignant 50% à 90% de la résistance à la rupture. Les erreurs commises au niveau de la disposition des sondes ont montré que leur effet devient non négligeable à

partir d'un certain seuil, ce qui nous a permis de conclure que cette méthode non destructive peut être utilisée sans une très grande précision au niveau des essais et permet de vérifier la qualité du béton *in situ* sans tenir compte des contraintes axiales aussi de suivre l'évolution des dommages causés par la propagation des fissures.

ABSTRACT

When we must assess the characteristics of concretes in real structures, it is necessary to know that, contrary to laboratories, concrete is under an existing state of stress, also with significant dimensions. In this work, we have studied the effect of the variation of the axial load as well as the effect of the accuracy of tests on the ultrasonic velocity. In homogeneous materials, when they were submitted to axial load, the volume decrease thus means the materials are more compact and the velocity may increase too. Contrary to what we have seen in concrete, the velocity of ultrasonic wave decrease when the load rises, this phenomenon is more complicated as a result of interaction between cement and aggregate which is more complex. The interface between these components remains the key of this effect. It is known that when the concrete is subjected to high axial loads a large crack spread appears in the interface, for stress rate about 60% of failure the ultrasonic



velocity decrease around 10%, this reduction was more pronounced at 90% of the strength, up to 50%. The errors committed on the position of the transducers shown that their effects become significant beyond a particular limit, allowing us to conclude that non-destructive method can be used without a high accuracy, and also to check the quality of the concrete in situ without considering the axial stresses, also to follow the evolution of damage caused by the spread of crack.

Mots-clés : ultrasonique, béton, contrôle, non destructif.

1. INTRODUCTION

En Algérie les bétons sont généralement fabriqués sur le site des ouvrages en utilisant des moyens simples, à savoir des brouettes et des bétonnières classiques, selon des compositions volumiques, avec des dosages en ciment de l'ordre de 350kg/m³. Ceci est en général acceptable par le maître de l'ouvrage ainsi que la réglementation Algérienne si la contrainte des bétons est supérieure à 20MPa. Le contrôle des bétons par les essais non destructifs devient une exigence dans l'expertise des ouvrages en béton armé. L'analyse des bétons par CND est systématique, elle est pratiquée par les organismes de contrôles in situ et exigé par les maîtres d'ouvrages pour le payement des travaux. Dans les matériaux homogènes élastiques l'application de contrainte conduit à une compacité plus importante avec un module de déformation constant. Le matériau ne subit aucun changement dans sa structure. Par contre dans le cas du béton ce comportement est beaucoup plus délicat, c'est un matériau hétérogène et non linéaire. L'interface ciment-granulat joue un rôle très important. Le module de déformation du béton est variable en fonction de l'état de contrainte régnant. Ceci rend l'analyse par CND plus compliquée et moins précise, aussi avec un effet de l'état de contrainte qui est à l'origine de l'endommagement du matériau béton, influant directement sur la valeur de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques [1], [2].

L'analyse par ultrason permet de suivre très bien le matériau béton sous l'effet de plusieurs facteurs tels que l'existence ou l'apparition de fissures [3]. L'état de contrainte reste aussi un facteur important dans la détermination de la vitesse du son étant donné le caractère hétérogène du matériau béton, ceci permet d'anticiper la ruine de ce matériau fragile [4]. Contrairement aux essais en laboratoire l'utilisation des CND est confrontée à quelques aspects qui méritent d'être traités. L'effet dimensionnel qui est plus important dans la réalité, ce qui pose le problème des erreurs au niveau de l'application de cette technique et l'effet des contraintes auxquelles l'ouvrage est soumis dont les influences doivent être analysées lors du contrôle des bétons par CND.

2. EXPÉRIMENTATIONS

Des analyses en transparence ont été faites à l'aide d'un appareil à ultrason « Ultrasonic concrete tester E46 » de fréquence 54KHz sur des éprouvettes cubiques (10x10x10) cm³ en béton, dosées à 350kg/m³ à 28 jours de durcissement. Des erreurs de disposition ont été prémeditées et qui consiste à reproduire l'essai 4 fois de suite avec un décalage axial entre les sondes de 0, 20, 45mm et aléatoire, afin de déterminer l'incidence de cette erreur sur la vitesse du son mesurée à travers le béton. Ces éprouvettes ont été ensuite soumises à des essais d'écrasement en compression axiale, afin de déterminer leur résistance en compression, tout en mesurant l'évolution de la vitesse de propagation du son dès le début du chargement, et ce jusqu'à la ruine.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Précision des essais

Les vitesses obtenues pour des décalages des sondes axiaux de 0mm, 20mm 40mm et aléatoire sont présentées pour les 09 éprouvettes sur la figure 1. Pour des erreurs

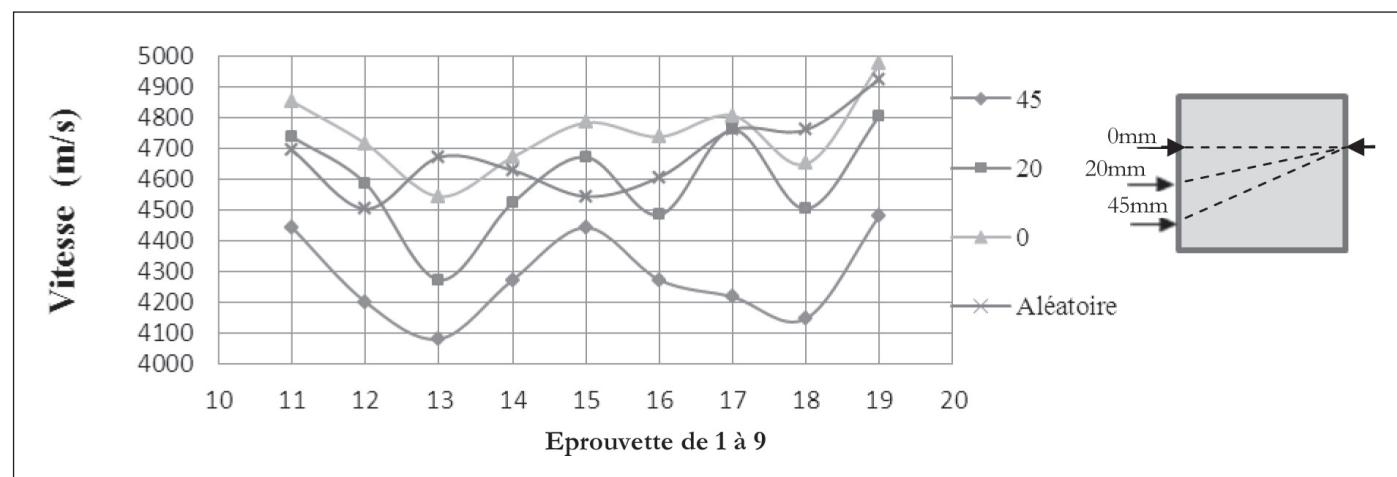


Figure 1 : Effet du décalage axial des transducteurs sur la vitesse de propagation des ondes.

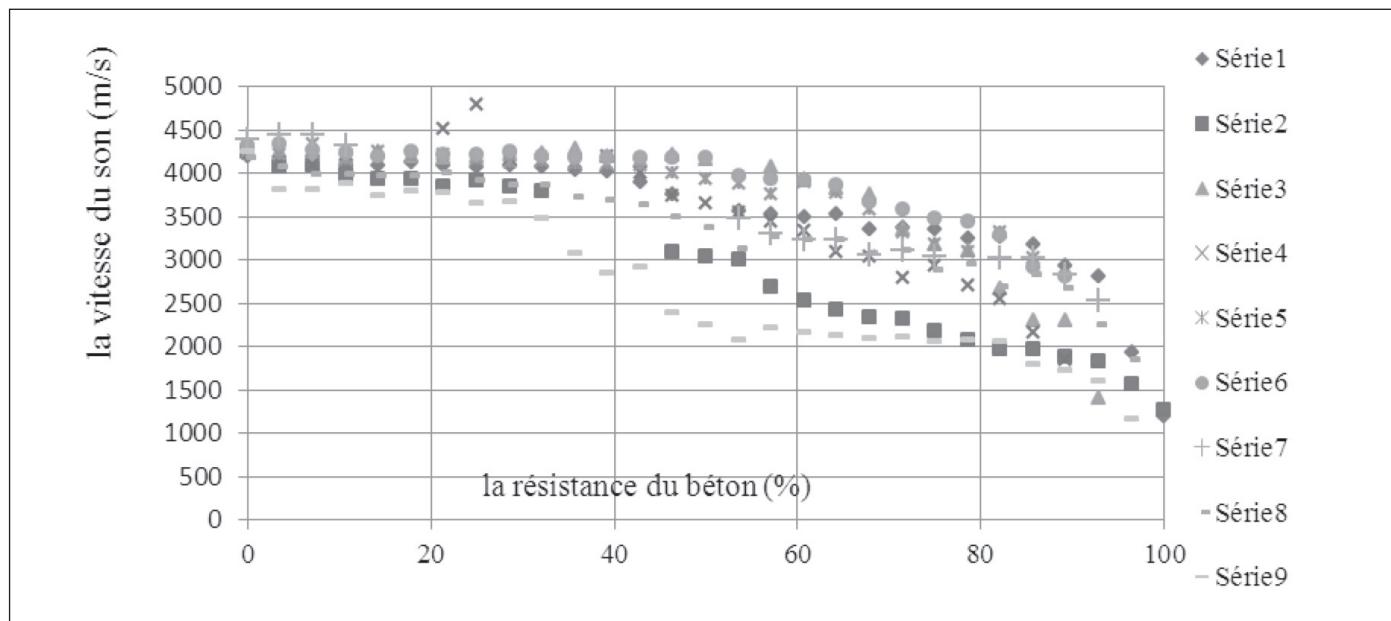


Figure 2 : Effet de la contrainte axiale sur la vitesse de propagation des ondes.

axiales de 20mm et 45mm la vitesse varie respectivement de 6% et 10%, ce qui est considéré comme important en termes de résistances, par contre dans le cas de mesure aléatoire elle n'est que de 2.8%. De ce fait nous pouvons conclure que cette technique d'auscultation ne nécessite pas une grande précision lors de son application sur site, mais doit se faire avec attention. Il suffit que les sondes soient disposées uniquement visuellement de manière qu'elles soient dans le prolongement l'une de l'autre.

3.2. Effet de la contrainte axiale sur la propagation des ondes.

Lors de l'expertise du béton in situ, contrairement aux essais en laboratoire le béton est soumis à des contraintes de compressions, l'effet de l'état de contrainte sur la vitesse ultrasonique est ainsi analysé par la mise en charge des éprouvettes de béton de différentes résistances et ce jusqu'à la ruine figure 2.

Les vitesses mesurées le long des essais ont montré une influence négligeable jusqu'à une valeur de l'ordre de 60% de la charge de ruine, cette faible variation est tout à fait logique étant donné que le matériau béton a un module de déformation variable en fonction de la contrainte régnante sachant que c'est un matériau ayant un comportement non linéaire. Les modes de ruptures ne présentant pas la résistance réelle du matériau sont décelés par la variation de la vitesse ultrasonique pour des contraintes faibles comme on peut le voir sur les séries 2 et 9 avec une rupture précoce. Dans le cas de rupture normale et à partir de 60% de la contrainte de ruine une nette régression de la vitesse est remarquée, et ce jusqu'à la ruine, sans pour autant que cette vitesse ne décroît en deçà de 2000 m/s à la ruine. Cette diminution progressive de la vitesse est essentiellement due à la propagation de la microfissuration du béton par endommagement. Ceci est tout à fait en corrélation avec les théories du béton, dont la compression à l'état limite de service est limitée à 60% de la contrainte caractéristique du béton en compression, et ceci afin d'éviter la rupture du béton par fatigue sous l'effet de la propagation de la microfissuration. De ce fait et sachant que dans les structures cette contrainte n'est pas atteinte, les essais non destructifs reflètent les caractéristiques réelles du matériau et peuvent permettre aussi d'estimer le degré d'endommagement, si cette mesure avait été faite auparavant.

téristique du béton en compression, et ceci afin d'éviter la rupture du béton par fatigue sous l'effet de la propagation de la microfissuration. De ce fait et sachant que dans les structures cette contrainte n'est pas atteinte, les essais non destructifs reflètent les caractéristiques réelles du matériau et peuvent permettre aussi d'estimer le degré d'endommagement, si cette mesure avait été faite auparavant.

4. CONCLUSIONS

Il est important de prêter une attention lors du contrôle du béton in situ par ultrason, sans pour autant être très précis dans la mise en place des sondes de transmission et de réception.

L'effet de la contrainte axiale n'est pas vraiment important lors du contrôle des structures étant donné que la charge de service ne peut aller au delà de 60% de la charge de ruine, aussi le contrôle des bétons par cette technique pourrait permettre de détecter des anomalies et suivre l'évolution de l'endommagement du béton si des mesures de vitesses ont été prise auparavant.

RÉFÉRENCES

- [1] Ivan Lillamand, Jean-Francois Chaix, Marie-Aude Ploix, Vincent Garnier, Acoustoelastic effect in concrete material under uni-axial compressive loading, NDT&E International 43, (2010), 655–660.
- [2] Shkolnik IE, Effect of nonlinear response of concrete on its elastic modulus and strength, Cement and Concrete Composites, 2005, 27, 747–57.
- [3] Stauffer DJ, Woodward C, White KR, Nonlinear ultrasonic testing with resonant and pulse velocity parameters for early damage in concrete, ACI, Mater J, 2005, 102, (2), 118–21.
- [4] Hisham Y. Qasrawi*, Iqbal A, The use of USPV to anticipate failure in concrete under compression, Cement and Concrete Research 33 (2003) 2017–2021