

# IMAGERIE ULTRASONORE DANS LES BÉTONS

## ULTRASONIC IMAGING IN CONCRETE

O. Paris\*, G. Ribay\*, J. M. Rambach, \*\*O. ROY\*\*\*

\* CEA-LIST – CEA Saclay, Bâtiment 611, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex  
Tél : 01 69 08 55 78 - Fax : 01 69 08 75 97  
[olivia.paris@cea.fr](mailto:olivia.paris@cea.fr)

\*\* IRSN, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, IRSN/DSR/SAMS/BAGCS  
Fontenay aux roses, France  
Tél : 01 58 35 80 28  
[mathieu.rambach@irsn.fr](mailto:mathieu.rambach@irsn.fr)

\*\*\*société M2M, 91940 LES ULIS, FRANCE  
Tél : 01 60 92 39 65 - Fax : 01 60 92 57 31  
[o.roy@m2m-ndt.com](mailto:o.roy@m2m-ndt.com)

### Résumé

L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) collabore avec le CEA sur le développement de moyens d'évaluation de l'état de santé des enceintes de confinement des réacteurs à eau pressurisée. Un des objectifs est de caractériser de façon non destructive par ultrasons des fissures dans le béton des enceintes. Compte tenu de la structure fortement hétérogène du béton, les inspections ultrasonores sont limitées à des fréquences basses (<300kHz) et pénalisées par un faisceau peu directif, large et un faible rapport signal sur bruit. Afin d'améliorer les performances du contrôle, une instrumentation basse fréquence multi-éléments dédiée à l'inspection du béton jusqu'à des profondeurs de 1.2 m a été développée.

Nous présentons les résultats d'une étude expérimentale réalisée avec un réseau de 16 capteurs basse fréquence sur une maquette de béton ferrailée représentative des premières épaisseurs du béton d'enceinte. Cette étude démontre que malgré la présence du ferrailage, des défauts localisés jusqu'à des profondeurs de 500mm peuvent être détectés. Ces résultats sont issus d'une méthode de contrôle et de reconstruction, particulièrement performante, qui est décrite.

### Abstract

*The third and final protection barrier confining nuclear reactors is usually a concrete containment structure. Monitoring the structural integrity of these barriers is critical in ensuring the safety of nuclear power plants. The Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN) in France collaborates with the French Atomic commission (CEA/LIST) to develop an ultrasonic phased-array technique capable of inspecting 1.2m-thick concrete walls. The NDT method must be able to detect cracks and bulk defects. The inspection is difficult since concrete granular structure severely attenuates and scatters the ultrasonic waves and so limits the useful frequency range. Previous studies have proved the potential of ultrasound techniques in plain concrete through appropriate ultrasonic beam focusing and steering. In this paper we present an experimental study performed with up to 16 transducers on a reinforced mock-up representative of the first layers of wall containment. This shows that in spite of the reinforcement, artificial defects deep as half a meter can be detected.*

## INTRODUCTION

L'étude supportée par l'IRSN est consacrée à l'état de santé du béton des enceintes de confinement et porte en particulier sur l'état de fissuration. Les enceintes de confinement des réacteurs à eau pressurisée constituent la troisième et dernière barrière de protection du bâtiment réacteur. Ces structures en béton armé et précontraint subissent diverses formes de vieillissement préjudiciables pour les fonctions de l'ouvrage. La dégradation du béton par divers phénomènes [1] favorise la création de défauts de volume ou de surface, des fissures et des délaminages. Il est donc très important de détecter de façon non destructive ces défauts dans le béton afin de maintenir l'intégrité de la structure des enceintes. L'apport des techniques ultrasonores pour l'inspection de bétons épais a déjà été démontré par des études antérieures [2, 3].

L'objectif de cette étude est de développer une méthode d'évaluation non destructive utilisant des techniques ultrasonores multi éléments afin de détecter et de caractériser des défauts dans le volume des bétons d'enceinte. Compte tenu de l'hétérogénéité du matériau nous utiliserons des capteurs de fréquence relativement basse, autour de 200 kHz et de petit diamètre (34mm) afin de pouvoir dévier le faisceau ultrasonore en minimisant les lobes de réseau. Les résultats expérimentaux sur un bloc comportant un défaut artificiel montrent une bonne détection des facettes orientées constituant le défaut. Nous présentons également les résultats d'une étude similaire sur une maquette ferrillée représentative des premières épaisseurs des bétons d'enceinte.

## MAQUETTES ETUDIEES

### Maquette sans ferrillage

Le béton étudié a une composition représentative de celle des bétons d'enceintes, la taille maximale des agrégats est de 25 mm. La maquette de dimensions 800x800x600mm<sup>3</sup> comporte un défaut multi-facettes simulant la présence d'une fissure (Fig.1). Ce défaut est constitué de facettes de 40x70mm<sup>2</sup> inclinées entre 10° et 20° par rapport au plan horizontal. La profondeur des facettes est comprise entre 200 et 500 mm sous la surface d'inspection.

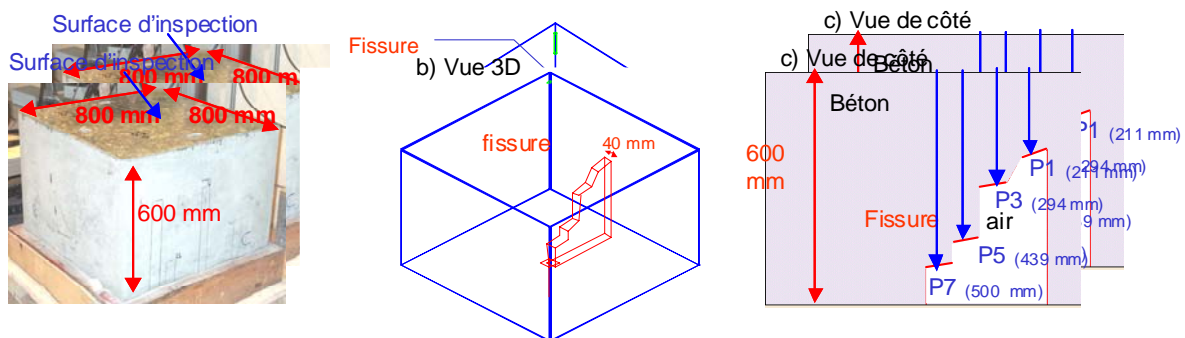


Fig. 1: a) Maquette b) Vue 3D du bloc de béton avec défaut multi-facettes c) Vue de côté

### Maquette ferrillée

Nous évaluerons l'effet du ferrillage sur la détection de défauts plans dans une maquette du même béton. La maquette (Fig.2) comprend une nappe de ferrillage à maille carrée de 250mm de côté composée de barres cylindriques de 25 mm de diamètre et située à 90 mm sous la surface d'inspection. Sept défauts plans artificiels à section carrée de 70mm de côté situés à des profondeurs variables (entre 300 et 500 mm) et inclinés (de 0° à 20°) ont été placés soit directement sous les barres de fer soit au centre des mailles.

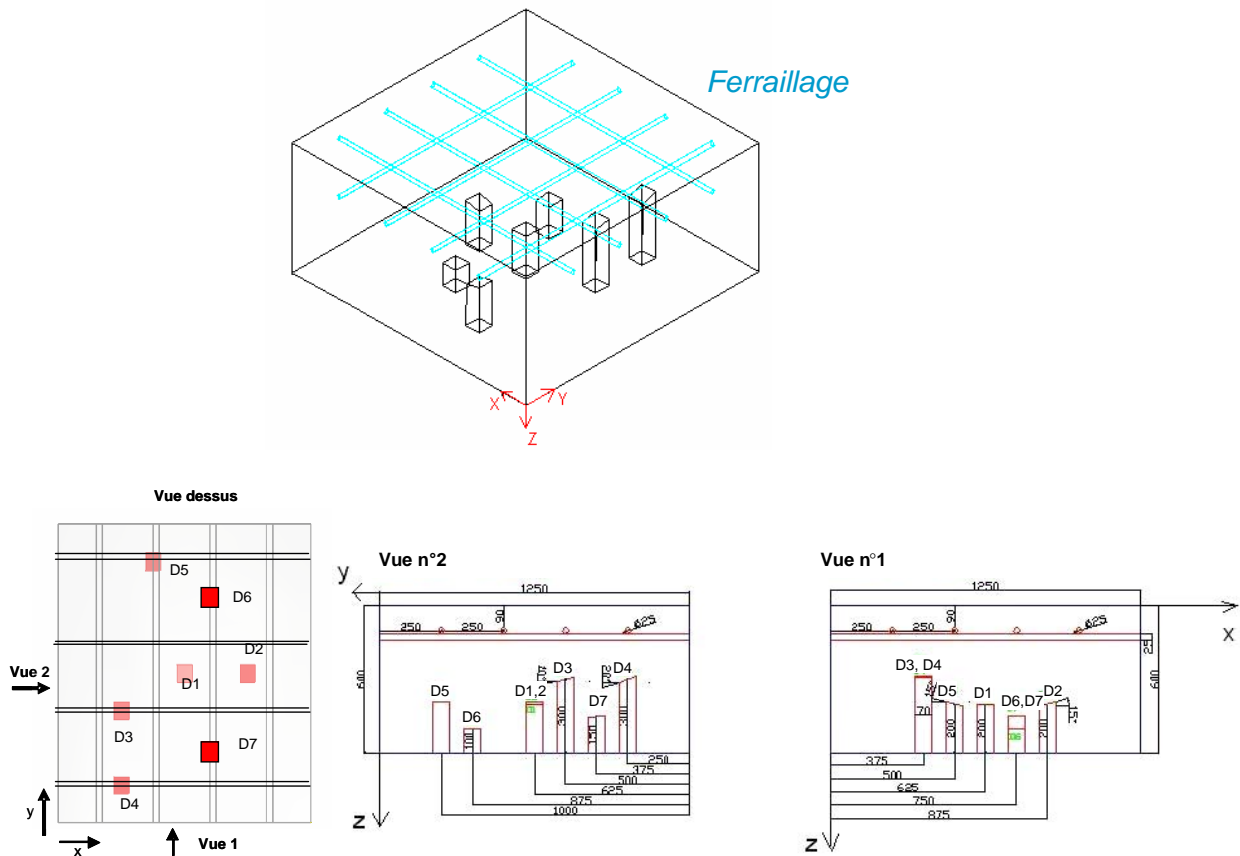


Fig. 2 : Bloc ferrillé, position des défauts, dimensions du bloc et définition des axes.

## RESULTATS EXPERIMENTAUX

### Equipement ultrasonore

Des capteurs large bande (~100%) fonctionnant à 200 kHz en pulse echo, sont positionnés en réseau carré de 3x3 ou 4x4 éléments puis déplacés mécaniquement grâce à un système d'axes motorisés qui permet de scanner les zones à inspecter.

Les essais ont été réalisés avec une chaîne d'acquisition ultrasonore basse fréquence développée par la société M2M. La chaîne permet de piloter jusqu'à 32 capteurs simultanément et de leur appliquer des lois de retards ou d'amplitude pour piloter électroniquement le faisceau. La bande passante du système permet d'exciter des capteurs très amortis de fréquences centrales comprises entre 50 kHz et 5MkHz. Le signal d'excitation utilisé est une impulsion de 70 V. La profondeur de numérisation du système permet d'inspecter en une seule acquisition jusqu'à 1 mètre de béton en pulse écho.

### Résultats sur maquette non ferrillée

Des mesures sont réalisées afin de détecter le trou à fond plat de 50mm de côté, situé le plus profondément à 500mm. Les lois de retard appliquées aux éléments du réseau sont calculées, pour un milieu isotrope équivalent au béton, pour focaliser à la profondeur du défaut en ondes longitudinales orientées à 0°. Le logiciel d'expertise en CND CIVA, développé au CEA, permet de reconstruire une image (figure 3) de la zone inspectée à partir des données ultrasonores acquises avec le système d'acquisition M2M.

Avec un réseau de 9 capteurs, le rapport signal à bruit (RSB) de l'écho de défaut est faible et la résolution spatiale est nettement insuffisante pour pouvoir dimensionner le défaut en

largeur. Le champ simulé avec CIVA dans un milieu homogène atténuant équivalent au béton montre que la taille du faisceau rayonné par le réseau de 9 capteurs est bien supérieure à la taille du défaut (50mm de côté). Avec un réseau étendu à 16 capteurs le rapport signal à bruit du signal est légèrement amélioré mais la résolution spatiale reste faible.

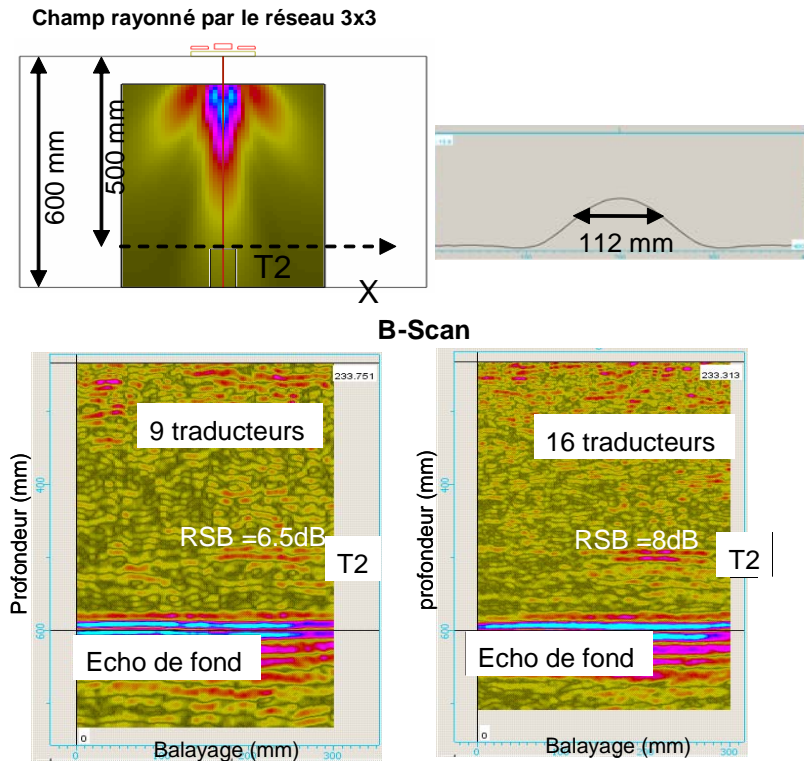


Fig. 3 : Champ simulé avec le réseau 3x3 et images Bscan du trou à fond plat détecté par deux réseaux.

Afin d'améliorer la détection du trou à fond plat, nous réalisons à partir du réseau des 9 capteurs un balayage mécanique selon l'axe x, en chaque position du balayage mécanique un balayage angulaire compris entre  $-15^\circ$  et  $+15^\circ$  par pas de  $1^\circ$  est appliqué en focalisant à la profondeur du défaut (500mm). Le principe du contrôle est présenté figure 4.

Un post-traitement appliqué aux données ultrasonores permet ensuite de repositionner l'écho de défaut dans la pièce.

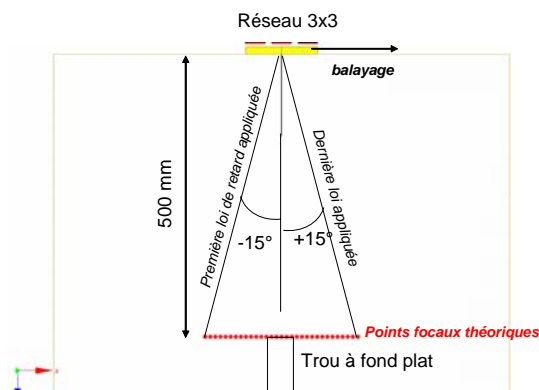


Fig. 4 : Principe du contrôle : balayage mécanique et angulaire sur 31 angles d'incidence.

La figure 5 montre deux images Bscan reconstruites. La figure 5.a présente une reconstruction dans CIVA du Bscan angulaire en une position du capteur sur l'axe x à

l'aplomb du défaut.

L'image Bscan reconstruite figure 5.b est issue du post traitement de l'ensemble des données ultrasonores acquises combinant le balayage mécanique et angulaire. Les résultats sont nettement améliorés : on observe une augmentation du RSB de 5 dB et une amélioration significative de la résolution spatiale de la méthode.

a) Bscan angulaire reconstruit en une position X      b) Bscan reconstruit : post traitement des données UT

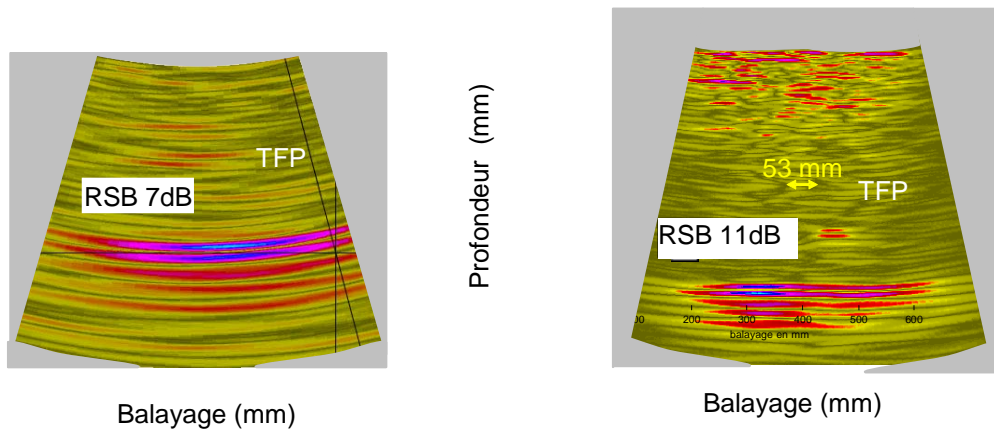


Fig. 5 :a) Bscan angulaire reconstruit montrant l'écho du trou à fond plat b) Bscan 'global' reconstruit

Le même contrôle est réalisé pour la détection du défaut multi-facettes. En chaque position du traducteur, des lois de retard sont appliquées pour réaliser un balayage angulaire compris entre  $-10^\circ$  et  $20^\circ$ . Le résultat est présenté figure 6. Toutes les facettes sont détectées avec un rapport signal à bruit supérieur à 11 dB.

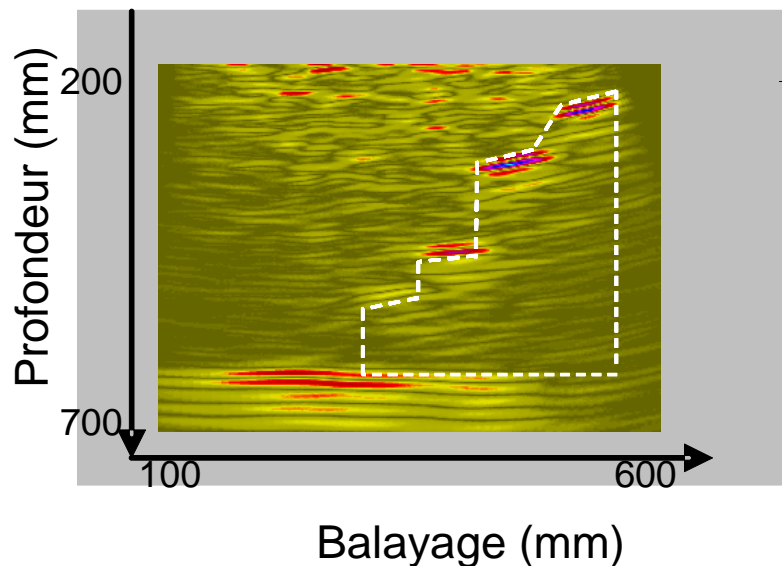


Fig. 6 : Bscan reconstruit du défaut multi facettes avec le réseau de 9 capteurs

### Influence du ferrailage

Afin d'étudier l'effet du ferrailage sur la détection de défauts dans le béton, des essais ont été menés sur la maquette ferrailée. Les 9 capteurs sont utilisés en pulse echo et les lois de retard sont calculées pour orienter le faisceau ultrasonore perpendiculairement aux plans des défauts.

Nous avons étudié deux défauts équivalents, D2 et D5 de la maquette ferrailée, situés à 400mm de profondeur et orientés tous les deux à  $15^\circ$ . D2 est localisé au centre d'une maille

de fers et D5 sous une barre de fer. La détection, figure 7, par le réseau de 9 capteurs montre que le défaut D5 écranté par le ferrailage est détecté avec un rapport signal à bruit inférieur de 3.5 dB à celui de D2 qui est localisé hors ferrailage.

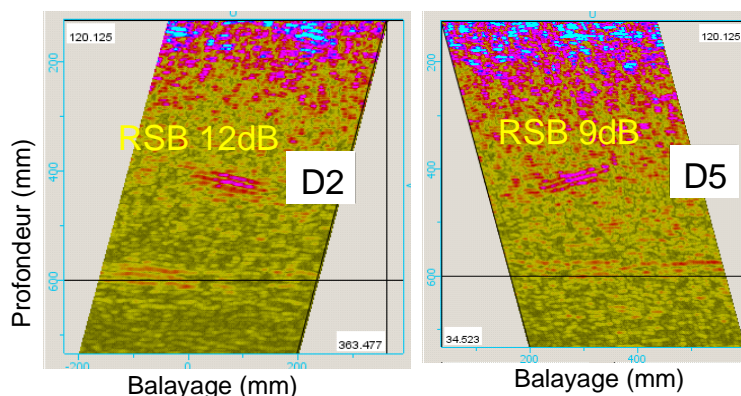


Fig. 6 : Détection de défauts plans orientés dans la maquette ferrillée, pour D2 et D5 loi L15P400mm

Afin d'améliorer la détection de défauts ainsi pénalisés par la présence du ferrailage, nous étudions le défaut D6 orienté à 0° et localisé sous une barre de fer à 500mm de profondeur. Il est particulièrement difficile à détecter car localisé à grande profondeur et à l'aplomb d'un fer ce qui perturbe la détection de l'écho spéculaire.

La détection du défaut D6 avec un faisceau à 0° est présentée figure 7.a En appliquant la méthode de reconstruction exploitant des données ultrasonores acquises au cours d'un balayage mécanique selon l'axe x couplé à un balayage angulaire entre -15° et 15°, on améliore le rapport signal à bruit de 8 dB et la résolution spatiale, présentés figure 7b.

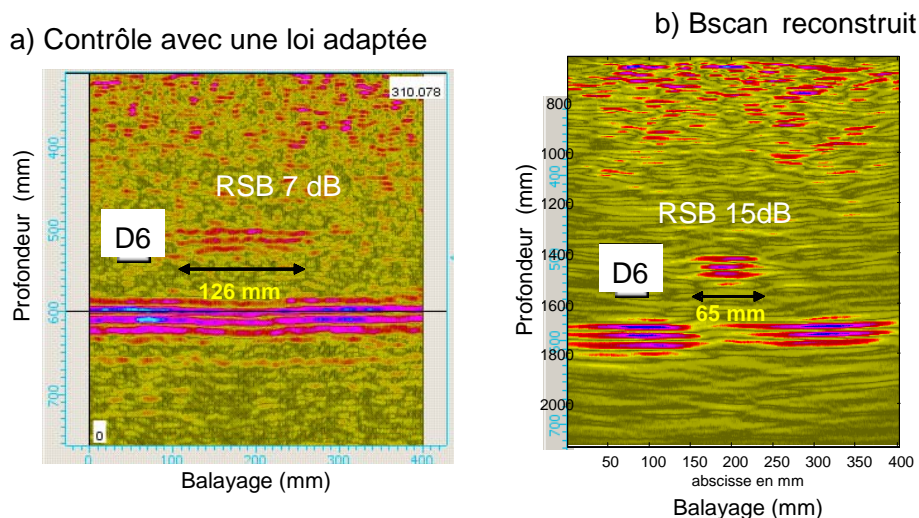


Fig. 7 : Détection d'un défaut sous ferrailage avec loi adaptée et reconstruction du bscan

## CONCLUSION

Une méthode ultrasonore multi-éléments, basse fréquence, a été développée et validée pour détecter des défauts dans le béton d'enceinte.

Des résultats expérimentaux ont validé l'application de cette méthode à la détection de défauts situés sous une nappe de ferrailage représentative de celle des enceintes de confinement. Néanmoins, on observe que la première nappe de ferrailage peut diminuer, l'amplitude de détection de défauts profonds selon l'orientation des défauts (perte de 3 dB à 400mm pour un défaut de 15°).

Afin d'améliorer la détection de défauts dans le béton, une méthode de reconstruction

fondée sur un post traitement de données acquises au cours d'un balayage mécanique couplé à un balayage angulaire a été proposée. Les essais réalisés avec un réseau de 9 capteurs ont démontré l'amélioration des performances en terme de rapport signal sur bruit et de résolution spatiale.

Les méthodes évaluées jusqu'à présent en laboratoire semblent donc présenter un potentiel intéressant pour des applications in situ sur les ouvrages en béton du nucléaire ou du génie civil.

## **REFERENCES**

[1] Refai T. M (1992): "Review of NPP concrete degradation factors and assessment methods", Processing of structures congress, Texas.

[2] Shickert M. (1995): "Towards SAFT imaging in ultrasonic inspection of concrete", International Symposium Non Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE) 411-148 September 1995.

[2] Paris O., Ph. Brédif, O. Roy (2003): "Study of phased array techniques for cracks characterization in concrete structures", International Symposium Non Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE) 411-148.