

Préambule

Les efforts de recherche et développement dans le domaine du contrôle non destructif des ouvrages de génie civil sont malheureusement nettement moins importants que ceux consacrés aux installations industrielles. Les progrès réalisés sont davantage qualitatifs que quantitatifs. Ces progrès concernent : (a) une meilleure compréhension des possibilités et des limites de la détection des dégradations grâce à la performance accrue des outils de simulations numériques et du traitement des données et, (b) les équipements de mesure et de transmission des données. Les deux bulletins à venir seront consacrés à des techniques ultrasoniques innovantes ayant fait l'objet d'expérimentations intensives ces dernières années. Ce bulletin traite de l'un des principaux progrès dans l'instrumentation : la technologie des transducteurs à couplage dans l'air.

L'inspection ultrasonore conventionnelle

De façon générale, le contrôle de l'état du béton par ultrasons (essai sonique) consiste à transmettre une onde ultrasonore dans le béton sous investigation et à détecter et analyser les modifications de cette onde après avoir interagit avec le matériau. La transmission et la détection s'effectuent traditionnellement à l'aide de transducteurs piézoélectriques (émetteurs et receveurs). Ceux-ci sont mis en contact avec le béton via un agent de couplage (ex. vaseline) dont le rôle est d'assurer la transmission des ondes entre les transducteurs et le béton et vice versa. Cet agent de couplage est essentiel car un mince film d'air entre les transducteurs et le béton rend l'essai sonique irréalisable. Malheureusement, le contact physique entre les transducteurs et le béton a une incidence non négligeable sur la rapidité des essais. Il en résulte que le contrôle ultrasonore d'éléments de béton de grandes dimensions telles que les dalles est généralement exclue lorsqu'il s'agit de couvrir convenablement toute la surface.

Les transducteurs à couplage dans l'air

L'inspection par ultrasons au moyen de transducteurs à couplage dans l'air est apparue dans l'aéronautique au cours des années 70 [Réf. 1]. Dans cette inspection, l'air ambiant est utilisé comme couplant entre les transducteurs et le matériau inspecté. Cette procédure est très avantageuse mais devait initialement s'affranchir de la très grande différence d'impédance acoustique spécifique entre les transducteurs et l'air ; l'impédance étant le produit de la densité du matériau par la vitesse de propagation des ultrasons dans ce matériau.

Dans un système utilisant des transducteurs conventionnels pour l'émission et la réception dans l'air, l'amplitude du signal reçu sera quasi nulle à cause de la réflexion très importante de l'énergie du signal émis lors de sa transmission via l'interface transducteur-air, comme indiqué sur la Figure 1a. Cette perte peut atteindre 160 dB et est causée par le fort contraste entre l'impédance acoustique de l'air ($0,0004 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}^{-1}$) et celle du transducteur ($30 \cdot 10^6 \text{ kgm}^2\text{s}^{-1}$). La résolution de ce problème consiste notamment à intercaler entre le transducteur et l'air (Figure 2b) un matériau dont l'impédance acoustique est intermédiaire entre celle de l'air et celle du transducteur afin que le changement d'impédance soit progressif [Réf. 2].

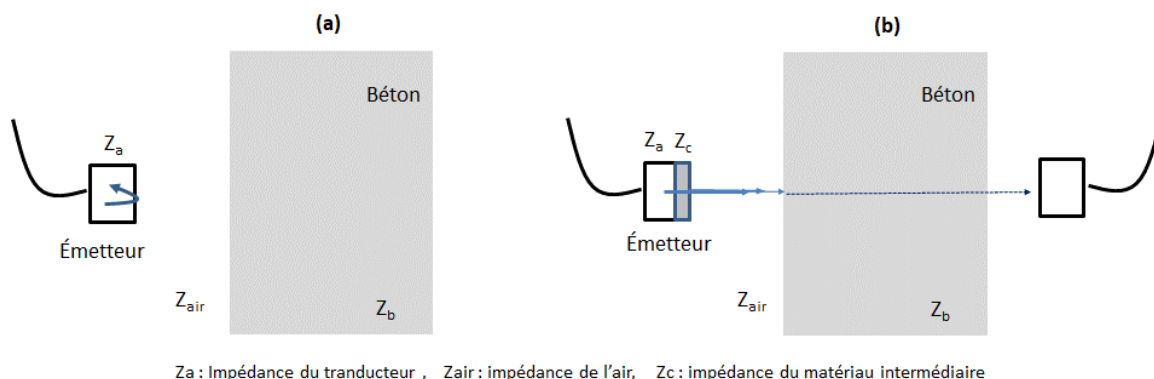


Figure 1 : Transmission transducteur-air

Par ailleurs, l'absorption des ondes ultrasonores durant leur propagation dans l'air entre le transducteur et le béton est un autre principal obstacle à l'utilisation du contrôle ultrasonore par des transducteurs à couplage dans l'air. Cette absorption croît exponentiellement avec la fréquence des ondes et atteint des niveaux très importants pour des ondes de fréquences supérieures à 1 MHz (Figure 4). À titre indicatif, l'absorption dans l'air est de 1.7 dB/cm, alors qu'elle est de 0,5 dB/cm et 0,01 dB/cm dans le béton et l'acier respectivement. Pour cette raison, la fréquence des transducteurs piézoélectriques à couplage dans l'air est généralement inférieure à 500 KHz

Application aux ouvrages de béton

Deux configurations de mesure sont principalement utilisées dans le cas de l'auscultation du béton par des transducteurs à couplage dans l'air : l'une se limite à la détection par ces transducteurs, et l'autre emploie ces transducteurs pour l'émission et la réception.

a) Configuration de la réception

Cette configuration concerne l'essai d'impact-echo (IE) décrit dans la norme *ASTM C1383-15 "Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method"*. Cette technique s'appuie sur la transmission des ondes dans l'élément de béton ausculté par un impact mécanique (ex. marteau) et la détection de sa réponse par un capteur en contact avec sa surface (Figure 2a). L'impact-echo est appropriée pour la détection de la délamination dans le béton, mais le contact capteur-béton rend son utilisation sur les dalles des tabliers de ponts coûteuses. Les recherches menées principalement aux États-Unis depuis plus d'une dizaine d'années indiquent que l'utilisation de microphones pour la détection des ondes est une alternative très intéressante. Ainsi, des systèmes d'IE utilisant des microphones pour la

détection ont été développés essentiellement dans les milieux académiques (Figure 2b), [Réf. 3]. Un tel système pouvant être fixé derrière un véhicule mobile est montré à la figure 3 [Réf. 4]. Il consiste en plusieurs émetteurs-microphones dispensés en série de manière à couvrir toute une largeur de voie.

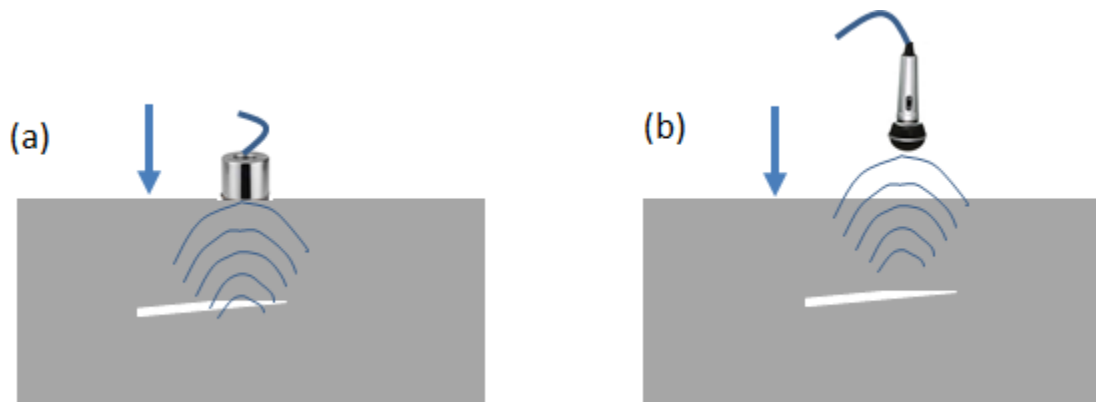


Figure 2 : Détection par contact (a) et par un microphone (b)



Figure 3 : Système d'IE multicanaux (Réf. 4)

b) Configuration de l'émission-réception

Cette configuration concerne l'essai sonique (*émission et réception de part et d'autre de l'élément ausculté*) et l'essai du pulse-echo (*émission et réception du même côté*).

Un des premiers systèmes d'essais soniques utilisant des émetteurs-récepteurs dans l'air a été développé en Allemagne par le Dr. Hillger [Réf. 5]. Ce système comporte un émetteur (E) et un récepteur (R) de part et d'autre de l'élément de béton contrôlé (Figure 4). Ces transducteurs sont déplacés simultanément par un dispositif robotisé pendant l'acquisition des données. La détection des défauts est basée sur l'analyse des signaux détectés par le récepteur : un signal de faible amplitude est révélateur d'anomalies dans le béton (ex. nids d'abeille). Ce dispositif est tout à fait adapté pour l'auscultation des poutres et des colonnes.

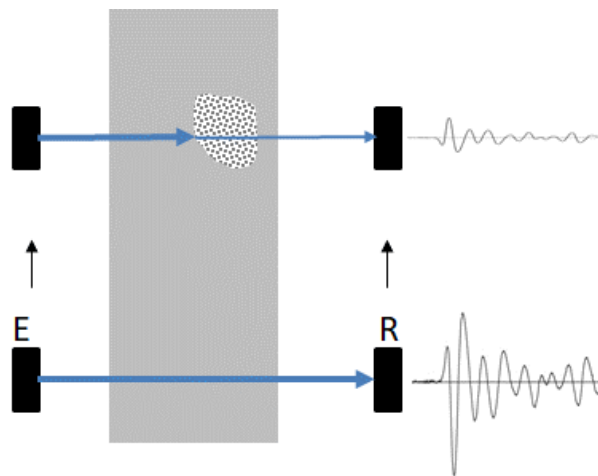


Figure 4 : Système émission-réception en transmission

Les transducteurs avec couplage dans l'air sont également exploités dans la technique du pulse-echo (Figure 5). Ainsi, un système d'auscultation des chaussées comportant ces transducteurs a été mis au point en Europe pour la détection des dégradations. Les données de ces transducteurs sont

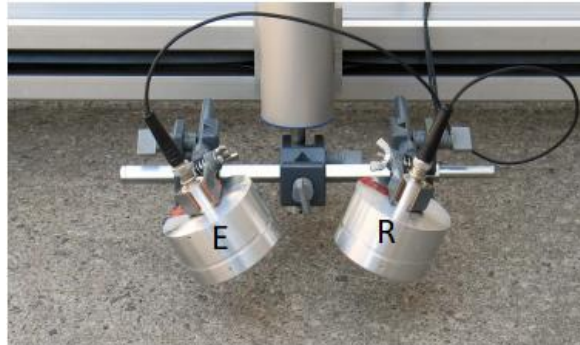


Figure 5 : Pulse-echo avec des transducteurs dans l'air
(Ref. <https://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/P20.pdf>)

couplées aux données complémentaires d'un Géoradar, d'une caméra de thermographie infrarouge et d'une caméra visible de manière à collecter des informations aussi bien sur l'état de surface de la chaussée que sur ses couches internes [Réf. 6].



Figure 6 : Système d'auscultation des chaussées intégrant le pulse-echo [Réf. 6]

Conclusion

Les transducteurs à couplage dans l'air offrent une solution durable au problème de la mise en œuvre de l'auscultation des ouvrages par ondes ultrasonores. Il est souhaitable que les ingénieurs de génie civil prennent en considération tous ces développements dont l'objectif est de leur permettre une meilleure évaluation de l'état des ouvrages.

Références

1. Grandia, W.A., and Fortunko, C.M. *NDE Applications of Air-Coupled Ultrasonic Transducers*. 1995 IEEE International Ultrasonic Symposium, Seattle, Washington, Proceedings, Vol 1, pp. 697-709, ISSN 1051-0117
2. Vivek T. Rathod, *A Review of Electric Impedance Matching Techniques for Piezoelectric Sensors, Actuators and Transducers*, *Electronics* 2019, 8, 169
3. J. Zhu and J. S. Popovics, "Air-Coupled Impact-Echo Method for NDT of Concrete", AIP Conference Proceedings, Vol. 820(1), pp. 1351-1357, 2006.
4. Brian A. Mazzeo, Jacob Larsen, Joseph McElderry, and W. Spencer Guthrie. *Rapid Multichannel Impact-Echo Scanning of Concrete Bridge Decks from a Continuously Moving Platform*. AIP Conference Proceedings, 2017
5. Wolfgang HILLGER, Lutz BÜHLING, Detlef ILSE. *Air-coupled Ultrasonic Testing-Method, System and practical Applications*. 11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014), October 6-10, 2014, Prague, Czech Republic
6. <https://blogs.city.ac.uk/fp7-rpbhealtec/>