IMPACT ÉCHO

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE

OBJECTIFS

La méthode permet de répondre aux deux objectifs suivants :

Cas 1 :

– Évaluation de l'épaisseur d'éléments de structure en béton (poutres, plaques, etc.),
– Recherche de vides, de fissures quasi-parallèles au parement, de délaminages,
– Recherche des vides dans les conduits métalliques internes au béton et en particulier les conduits de précontrainte.

Cas 2 :

– Évaluation du module d'Young dynamique du béton.

PRINCIPE

La méthode est basée sur l'analyse fréquentielle de la réponse d'une structure (semi-infinie avec 2 faces parallèles) soumise à un choc mécanique. La fréquence de résonance f_{S1} observable sur le spectre correspond au premier mode symétrique stationnaire d'une onde de Lamb. Si on connait l'épaisseur, on peut en déduire la vitesse des ondes de compression c_P et inversement. La fréquence de résonance est donnée par la formule suivante :

$$f_{S1} = \beta \frac{C_P}{2e}$$

Le coefficient β est fonction de la géométrie de l'élément et du coefficient de Poisson du béton. Dans le cas d'une poutre et d'un coefficient de Poisson ν de 0,2, le coefficient β est égal à 0,95.

Cas 1 : La réalisation de mesures de fréquence en quelques points où l'on connait déjà l'épaisseur permet d'étalonner la vitesse puis d'en déduire l'épaisseur pour les autres points de mesure par Impact Echo.

En présence d'un vide significatif, la fréquence de résonance se décale vers les hautes fréquences et l'épaisseur mesurée est réduite à la profondeur du défaut. La recherche de vides ou de délaminages dans le béton se fait de manière comparative ou bien en étudiant les perturbations de la fréquence de résonance, liées aux discontinuités mécaniques à l'intérieur du matériau. Il en est de même pour la recherche de vides dans les conduits des gaines de précontrainte.

Cas 2 : Si l'épaisseur est connue, la vitesse des ondes de compression peut être calculée. Si on connait en outre la densité du béton E_{dyn}, on en déduit alors le module d'Young dynamique Edyn. La vitesse des ultrasons dans le béton dépend de sa porosité et de son degré de saturation, donc de sa formulation et de son état. C'est pourquoi une calibration sur carottes est nécessaire pour obtenir une bonne précision dans l'évaluation des épaisseurs, des vitesses ou des modules dynamiques pour un élément d'ouvrage donné.

$$E_{dyn} = \rho . {C_P}^2 \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)}$$

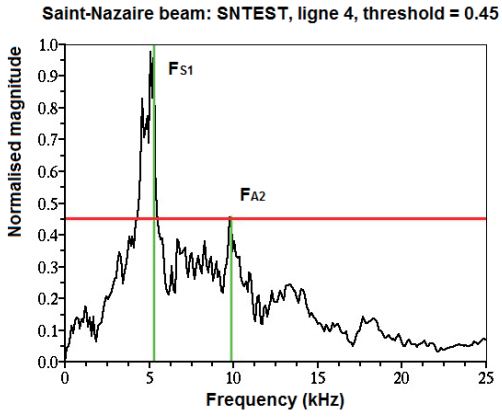


Schéma de principe avec les 2 pics fréquentiels f_{S1} et f_{A2} [Villain et *al.* 2012]

CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE	Non
MATURITÉ	**Cas 1 :** Méthode relativement récente (une vingtaine d'années), parfaitement maîtrisée pour l'évaluation de l"épaisseur et la détection de vides ou de délaminages, sous réserve qu'ils soient assez importants et parallèles à la surface d'auscultation. Méthode en cours de développement pour la recherche des hétérogénéités dans le béton et les vides de coulis de ciment dans les conduits de précontrainte. **Cas 2 :** Méthode en cours de développement pour l'évaluation du module d'Young dynamique et du coefficient de Poisson dynamique (ce dernier sous réserve que le pic f_{A2} soit mesurable).
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	Le matériel d'impact écho est diffusé par plusieurs sociétés.  Exemple de matériel impact-écho mis en œuvre sur un parement vertical (IFSTTAR). Il est constitué d'un capteur piézo-électrique relié à une carte d'acquisition et d'un logiciel de traitement de données, spécifique au problème posé. Pour générer l'impact, on peut utiliser soit un impacteur par électro-aimant synchronisé avec le récepteur mais qui présente l'inconvénient d'être de faible puissance, soit un jeu de billes d'acier de différents diamètres à choisir en fonction de l'épaisseur de la structure. Les mesures sont stockées et traitées sur ordinateur portable ou stockées dans le système portatif et traitées *a posteriori*.
MODALITÉS D'APPLICATIONS	
DOMAINE D'APPLICATION	Toute structure en béton, béton armé ou béton précontraint se présentant sous forme de plaque planes ou à faible courbure (comme les parois de tunnels). Les poutres de hauteur bien supérieure à leur épaisseur peuvent également être auscultées. Les possibilités d'application sur les éléments de type poteau ou colonne en béton et sur la maçonnerie, évoquées dans la littérature scientifique, n'ont pas encore été validées sur des cas réels.
SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION	Le matériel est portatif et autonome en énergie. L'accès à la face à ausculter doit être dégagé pour plaquer le récepteur et effectuer l'impact à proximité immédiate. (NB : L'analyse n'est valable que si le point d'impact est très proche du point de réception). Le parement de béton ne doit pas comporter de défaut de surface trop important (bulles, dépôts de laitance, etc.). Une couche de poussière importante amortit le choc, la surface doit donc être nettoyée par brossage. Pour améliorer la précision des évaluations, il est conseillé de réaliser plusieurs mesures autour du même point. Dans le cas d'une utilisation pour la mesure d'épaisseur ou le calcul de module, il est nécessaire de procéder à un calibrage de la vitesse et donc d'accéder à la mesure de l'épaisseur en un point de l'élément par un autre moyen. À noter que la mesure par impact-écho est fonction du degré de saturation du milieu, au même titre que les mesures de résistance et de module.

LIMITES D'UTILISATION	La face opposée, parallèle à la face d'auscultation ne doit pas présenter de variations brusques de géométrie (réflexion parasite des ondes et risque de non réflexion). Des mesures d'épaisseur ont été réalisées jusqu'à 1 m de béton ; au-delà, nous n'avons pas de connaissance sur la limite d'épaisseur auscultable. Cela dépend des systèmes de mesure qui peuvent présenter de fortes perturbations du spectre à basse fréquence. La présence des armatures perturbe l'analyse et la précision de l'évaluation. Il est préférable de réaliser la mesure au centre d'une maille localisée au préalable (par radar par exemple). Pour la recherche des vides dans les conduits de précontrainte, un décollement du béton par rapport au conduit donne la même information qu'un vide à l'intérieur de celui-ci. L'ampleur des vides n'est pas caractérisable à ce stade du développement de la méthode. Il n'est pas possible de discriminer un défaut dans un groupe de gaines proches les unes des autres. Les vides dans les conduits ne peuvent être détectés que dans un élément de structure de type plaque.
PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ	**Cas 1 :** Pour les mesures d'épaisseur : 0,5 cm si les conditions de calibration sont bonnes (matériau globalement homogène et possibilité de vérifier localement une épaisseur). Non précisé à l'heure actuelle pour la recherche des vides dans les conduits de précontrainte. **Cas 2 :** La précision est inférieure à 1 GPa en cas de calibration sur carotte avec des capteurs ultrasonores de même gamme de fréquence.
PERSONNEL ET COMPÉTENCES	Un chargé d'investigations ou un chargé d'études pour les applications en cours de développement de la méthode.
CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES	
ACCÈS À 1 OU 2 FACES	1 face
COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES	Non
RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	Dans de bonnes conditions d'accès, plusieurs centaines de mesures sont réalisables dans une journée. **Cas 1 :** Pour les évaluations d'épaisseur et la recherche de discontinuités planes, travail par point ou suivant des lignes ou un maillage de dimensions quelconques, de préférence choisi en tenant compte des mailles d'armatures. Pour la recherche des vides dans les conduits de précontrainte interne au béton, travail suivant des lignes interceptant leur tracé. **Cas 2 :** Les mesures sont réalisées au centre des mailles d'armatures.
DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	**Cas 1 :** Lecture directe ou non (selon le dispositif utilisé) en temps réel pour les mesures d'épaisseur à condition d'avoir calibré en vitesse. Nécessité d'une exploitation et d'une présentation des résultats en différé pour la recherche des vides dans les conduits. **Cas 2 :** Exploitation en différé préférable.
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	Non
PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	Peut craindre les perturbations par vibration de la structure dans certains domaines fréquentiels (dans une gamme de 3 à 25 kHz environ).
RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	Non
ENCOMBREMENT – POIDS	Faible encombrement – Léger

AVANTAGES – INCONVÉNIENTS	
AVANTAGES	Méthode non destructive, non contraignante pour l'environnement. **Cas 1 :** Évaluation facile d'épaisseur de plaques en béton. Méthode très partiellement alternative à la gammagraphie pour la recherche des vides dans les conduits. Cette méthode pourrait être utilisée en préalable à la gammagraphie pour en limiter l'utilisation à la quantification des défauts. **Cas 2 :** Évaluation possible du module d'Young dynamique sous réserve de la connaissance de l'épaisseur et de la densité du béton, obtenue par des mesures de calibration.
INCONVÉNIENTS	**Cas 1 :** Ne permet pas, à ce jour, de quantifier l'ampleur des vides dans le béton. **Cas 2 :** Très peu de structures (poutre, murs et balcons) ont été auscultées à ce jour.
DISPONIBILITÉ – COÛT	
DISPONIBILITÉ	Faible
COÛT	Moyen
RÉFÉRENCES	
NORMES – MODES OPÉRATOIRES – ARTICLES	Norme ASTM C 1383 – Standard Test Method for Measuring P-Waves Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact Echo Method Sansalone M. and Carino N.J. - "Impact-echo method," Concrete International, 1988, pp. 38-46. Gibson A., Popovics J., "Lamb wave basis for Impact-Echo method analysis", Journal of Engineering Mechanics, April 2005, pp.438-443. Abraham O., Leonard C., Côte Ph. and Piwakowski B., "Time frequency analysis of impact-echo signals: Numerical modeling and experimental validation," ACI Materials Journal, 2000, pp. 612-624. Abraham O., Côte, Ph. - Méthode impact-écho basse fréquence pour la détection de vide dans les gaines de précontrainte. - Bulletin des LPC, n°239, juillet-août 2002, LCPC , pp 41-50. Villain G., Le Marrec L., Rakotomanana L., "Determination of the bulk elastic moduli of various concretes by resonance frequency analysis of slabs submitted to impact echo", European Journal of Environmental and Civil Engineering, Vol. 15(4), 2011, pp. 601-617. Villain G, Sbartaï Z M, Dérobert X, Garnier V, Balayssac J-P, "Durability diagnosis of a concrete structure in a tidal zone by combining NDT methods: laboratory tests and case study", Construction and Building Materials, 2012; Vol. 37, pp.893–903. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.03.014