



## MESURE DU MODULE D'YOUNG DYNAMIQUE DES BÉTONS

### PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE

<p>OBJECTIF</p>	<p>Estimer l'altération des caractéristiques mécaniques d'échantillons de bétons prélevés dans un carottage cylindrique <i>in situ</i>.</p> <p>La dégradation du béton (lors d'un incendie, d'une explosion, d'un choc, sous l'effet du gel-dégel, etc.) affecte diverses propriétés mécaniques, telles que les caractéristiques élastiques et les contraintes à rupture. Le niveau de dégradation peut être appréhendé en première instance par l'appréciation de la dégradation d'une de ces caractéristiques, comme le module d'Young.</p>
<p>PRINCIPE</p>	<p>Le principe de la mesure repose sur la détermination du module d'élasticité (module d'Young) à partir de la fréquence propre de vibration de disques extraits par sciage en tranches successives dans une carotte prélevée dans l'ouvrage. Ces mesures, effectuées pour des disques situés à différentes profondeurs le long de la carotte, permettent de dresser un profil du module d'Young selon la profondeur, du parement jusqu'au cœur de la structure.</p> <p>Cette méthode comporte donc trois étapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le prélèvement des carottes <i>in situ</i> ;</li> <li>- le découpage de disques dans les carottes, qui s'accompagne d'un levé précis des caractéristiques pondérales et dimensionnelles des pièces découpées après rinçage, étiquetage et séchage ;</li> <li>- la mesure de la fréquence de résonance des disques.</li> </ul> <p>La fréquence propre de résonance est corrélée théoriquement au module d'Young du matériau par la formule :</p> $E_{dyn} = 1,3 \cdot 10^{-9} \cdot m \cdot d^2 \cdot N^2 / e^3$ <p>avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>E_{dyn}</math> : module d'Young « dynamique » en GPa</li> <li>m : masse du disque en grammes (à 0,1 g près)</li> <li>d : diamètre du disque en mm (à 0,1 mm près)</li> <li>e : épaisseur du disque en mm (à 0,1 mm près)</li> <li>N : fréquence propre en Hz</li> </ul> <p>Les dimensions des disques sciés sont typiquement <math>d \times e = 95 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}</math>.</p> <p><span style="background-color: #e67e22; padding: 2px;"> </span> Nota : La méthode peut également être appliquée sur des éprouvettes prismatiques ou cylindriques non découpées en adaptant la formule précédente.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Découpage de la carotte en disques de 12 mm d'épaisseur (CEREMA)</p>
<p>CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE</p>	<p>Essai destructif</p>

MATURITÉ	Méthode éprouvée depuis longtemps
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	<p>Une scie à béton de précision pour la confection des disques : il s'agit d'une machine équipée d'une lame diamantée à jante continue d'une capacité de coupe adaptée aux éléments à découper (découpe en une passe). Le porte-échantillon est muni d'un dispositif de bridage qui doit assurer le maintien strict des carottes, ainsi que d'une butée amovible permettant le positionnement toujours identique de la carotte par rapport à la lame pour chaque coupe.</p> <p>Une balance de précision 0,1 g.</p> <p>Un pied à coulisse d'au moins 250 mm de course et précis au 1/20<sup>e</sup> de mm.</p> <p>Un analyseur de fréquence de type Grindo-sonic, ou un analyseur de spectre adapté.</p> <p>Un support d'échantillon en mousse et un marteau de mise en vibration des disques.</p>
	 <p>Mise en vibration d'un disque et mesure de la fréquence (CEREMA)</p>

### MODALITÉS D'APPLICATIONS

DOMAINE D'APPLICATION	La méthode de mise en résonance s'applique à tous les solides élastiques isotropes cohérents mais présente surtout un intérêt pour l'expertise des bétons anciens.
SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION	Les sujétions sont celles du carottage proprement dit.
LIMITES D'UTILISATION	Nécessité de purger la partie visuellement dégradée des carottes dans le cas de béton incendié. Problèmes possibles liés aux inclusions éventuelles : on retiendra comme règle que le D des plus gros granulats rencontrés dans l'échantillon ne doit pas excéder le 1/5 <sup>e</sup> du diamètre du disque.
PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ	La méthodologie employée permet d'afficher une précision de l'ordre de 3% sur le module d'Young. Sur des parties apparemment intactes de bétons incendiés, on observe des variations de modules maximales de l'ordre de 10 à 20 % en plus ou en moins.
PERSONNEL ET COMPÉTENCES	1 Chargé d'étude (pour l'interprétation) + 1 technicien de laboratoire (pour scier l'échantillon en fines lamelles)

### CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES

ACCÈS À 1 OU 2 FACES	Accès à au moins 1 face pour le carottage
COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES	Non
RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	Il faut environ 1 heure pour découper 8 échantillons en extrémité d'une carotte. La durée des autres opérations (qui peut se faire en temps masqué dans le cas de plusieurs carottes) est négligeable.
DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	Demande quelques jours pour le sciage, et la rédaction du rapport d'interprétation.
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	Non

PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	Néant
RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	Pas de danger particulier
ENCOMBREMENT - POIDS	Matériels de laboratoire (relativement lourd pour le sciage)
<b>AVANTAGES - INCONVÉNIENTS</b>	
AVANTAGES	Méthode simple quant à l'exploitation des résultats. Information relativement précise sur l'endommagement non visible de la micro-structure d'un béton.
INCONVÉNIENTS	Inapplicable sur des éprouvettes présentant des fissures significatives
<b>DISPONIBILITÉ - COÛT</b>	
DISPONIBILITÉ	Faible
COÛT	Faible
<b>RÉFÉRENCES</b>	
NORMES - MODES OPÉRATOIRES - ARTICLES	<p>P. Fasseu - Incendie du tunnel sous la Manche : expertise des désordres et contrôle de la réparation. Monographie d'études et recherches 1996-97, LCPC, Paris, 1996.</p> <p>P. Fasseu - Détermination du profil de module d'élasticité dans du béton durci par la méthode de fréquence de résonance, in Techniques et méthodes des LPC, n°62, pp.55-60. LCPC Paris, 2005.</p> <p>M. Mamillan - L'hétérogénéité du béton mise en évidence par la vitesse du son, Annales de l'ITBTP, n° 309-310, pp. 35-38 (1973).</p>