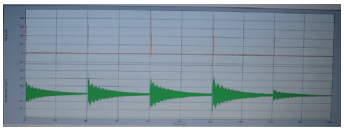
ESTIMATION DE LA TENSION DES CÂBLES PAR MÉTHODE VIBRATOIRE

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE

OBJECTIF	La méthode permet d'évaluer la tension de câbles accessibles.
PRINCIPE	La fréquence de vibration d'un câble est liée à sa tension. En assimilant la vibration du câble à celle d'une corde vibrante, la relation entre ces deux grandeurs est donnée par la formule suivante : $$f_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$ avec : f_n : fréquence du nième mode de vibration (en Hz) n : ordre du mode de vibration L : longueur libre du câble (en m) T : tension du câble (en N) μ : masse linéique (en kg/m) La tension est évaluée sur la base de la fréquence fondamentale f_0 de vibration du câble en appliquant la formule : $$T = 4 f_0^2 L^2 \mu$$ Pour qu'un câble fonctionne comme une corde vibrante, son inertie EI doit être négligeable par rapport à TL^2. Un test préliminaire permet de s'en assurer en vérifiant la proportionnalité des fréquences propres mesurées jusqu'au septième mode. La fréquence fondamentale est alors égale à $f_0 = \frac{f_n}{n}$, $n \leq n_0$ Le câble est équipé d'un accéléromètre, puis mis en vibration soit par secousse manuelle, soit par choc avec un marteau, soit par le biais d'une corde attachée au câble ; l'analyse du signal spectral fournit la valeur de la fréquence fondamentale qui fournit à son tour la tension. La longueur et/ou la tension d'une suspente et d'un hauban sont influencés par son état thermique.
CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE	Non destructif
MATURITÉ	Méthode éprouvée depuis longtemps
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	Accéléromètre de bande passante comprise entre 0,5 Hz et 500 Hz Amplificateur pour l'accéléromètre Analyseur en temps réel de fréquence permettant de donner immédiatement la transformée de Fourier du signal délivré par l'amplificateur.


Système d'acquisition (IFSTTAR)


Accéléromètre fixée sur un hauban et choc par marteau (IFSTTAR)


Signaux vibratoires obtenus (IFSTTAR)

MODALITÉS D'APPLICATIONS	
DOMAINE D'APPLICATION	La méthode s'applique aux : – haubans (elle sert de réglage de la tension au moment de la construction) ; – câbles de pont suspendus (pourvu que ceux-ci aient un faible diamètre et soient suffisamment tendus) et aux suspentes de longueur supérieure à 2 mètres et avec des conditions aux limites connues ; – tronçons de câbles de précontrainte extérieure à condition que la distance entre deux déviateurs successifs soit suffisante (de l'ordre de la dizaine de mètres). Il est parfaitement possible de mesurer la tension de câbles de précontrainte ou de haubans injectés au coulis de ciment.
SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION	L'accéléromètre est fixé sur le câble avec un collier. Son axe principal de sensibilité doit être orienté dans le plan de vibration du câble. Si l'excitation se fait à l'aide d'une corde celle ci doit être attachée approximativement en son milieu de façon à exciter le mode fondamental.
LIMITES D'UTILISATION	La détermination de la longueur réelle du câble ou de sa masse linéique peut parfois poser problème ; la méthode d'essai LPC n°35 donne quelques conseils et valeurs d'incertitude. La méthode ne permet pas de mesurer la tension de câbles placés à l'intérieur de gaines non injectées ou injectées avec un produit souple qui ne permet pas une masse linéique constante le long du câble. La méthode peut s'appliquer à des barres tendues, mais avec difficulté, car il faut modifier la formule des cordes vibrantes en prenant en compte l'inertie de la barre, et il faut surtout bien connaître les conditions d'encastrement de la barre à ses extrémités.
PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ	La sensibilité de l'accéléromètre doit être supérieure à 10 mV/g. Les fréquences des modes de vibration doivent être mesurées avec une précision de 1%. La connaissance de F, μ et L à 1% près permet d'évaluer la tension à 5 % près.
PERSONNEL ET COMPÉTENCES	Chargé d'investigation. Une bonne expérience est nécessaire dans les cas d'interprétation difficile.
CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES	
ACCÈS À 1 OU 2 FACES	Le câble doit être accessible et libre de vibrer
COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES	Restriction de la circulation nécessaire (selon le cas) pour éviter la vibration des câbles ou la variation de charge dans les suspentes et haubans pendant la mesure.
RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	3 à 4 mesures par heure en cas d'accès facile au câble
DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	Validation et première interprétation sur site, exploitation complète faite à *posteriori*
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	Oui dans un certain nombre de cas. (câbles de précontrainte extérieure peu concernés par les perturbations dues au trafic)
PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	Le vent ne change pas les résultats de mesure, mais peut rendre l'accès aux câbles difficiles (nécessité d'une nacelle).
RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	Pas de problème de sécurité
ENCOMBREMENT – POIDS	Matériel portable et léger
AVANTAGES – INCONVÉNIENTS	
AVANTAGES	Rapidité de mesure (en temps réel) Peu de moyen matériels nécessaires

INCONVÉNIENTS	Interprétation délicate lorsque le câble ne fonctionne pas comme une corde vibrante. Nécessité de démonter les systèmes anti-vibratoires des câbles de précontrainte extérieure et de haubans lorsqu'ils existent.
DISPONIBILITÉ – COÛT	
DISPONIBILITÉ	Courante
COÛT	Moyen
RÉFÉRENCES	
NORMES – MODES OPÉRATOIRES – ARTICLES	Mesure de la tension des câbles par vibration – Méthode d'essai des LPC n°35, LCPC, Janvier 1993. Gourmelon J.P., Robert J.L. – Méthodologie d'auscultation et de surveillance des câbles de pont suspendus – Bulletin de liaison LPC 139, Sept-Oct 1985, pp 85-92. Robert J.L. et al. – Mesure de la tension des câbles par méthode vibratoire. – Bull. liaison des LPC 173, Mai-Juin 1991, pp 109-114.