ESSAIS DYNAMIQUES SUR LES PONTS

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE

OBJECTIF	Les essais dynamiques visent à effectuer des mesures de grandeurs physiques comme des accélérations, des déplacements, des vitesses, des déformations variant rapidement au cours du temps afin d'évaluer l'état de santé d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage : – vérifier la performance structurale en phase de construction, de réception, ou de service ; – apprécier l'aptitude au service (comportement structural, confort, etc.) ; – détecter des endommagements ; – déterminer les caractéristiques vibratoires pour calibrer un modèle numérique. Le type d'essais dynamiques à mettre en œuvre dépend fortement des objectifs recherchés. Il n'existe pas d'essai-type et l'on peut se servir du tableau VII du guide technique du LCPC « Investigations et évaluations dynamiques des ponts » pour s'orienter vers les bons essais en relation avec la source d'excitation prévue et le type d'analyse envisagé.
PRINCIPE	La méthode consiste à équiper la structure à l'aide d'instruments de mesures tels que des accéléromètres, des vélocimètres (géophones), des capteurs de déplacement, des jauges de déformation et des inclinomètres, à acquérir les mesures, puis à analyser les signaux bruts ou opérer des analyses temps-fréquence ou effectuer une identification modale. L'analyse des signaux bruts consiste à évaluer les amplitudes maximales, l'énergie, la puissance moyenne ou les densités spectrales de puissance, ou encore les dépassements de niveaux et les rainflows, etc. Les analyses temps-fréquence consistent à établir des spectrogrammes (décomposition temps-fréquence principalement basée sur la transformée de Fourier du signal enregistré), ou à effectuer des analyses en ondelettes (ondelette = vibration la plus courte envisageable dans une plage de fréquence donnée). L'identification modale consiste à identifier les caractéristiques modales (fréquences propres, coefficients d'amortissement, déformées modales propres). Elle permet de détecter des endommagements de la structure ou des modifications de ses conditions d'appui. Il existe plusieurs indicateurs d'endommagement. L'excitation de la structure peut être ambiante (vibration naturelle sous l'effet du trafic, du vent, de la houle, etc) ou contrôlée (passage de poids lourds, utilisation de balourds ou d'actionneurs dynamiques, recours à des personnes, etc). La mise en œuvre d'essais vibratoires doit être précédée : – du choix des conditions d'essais, notamment de la source d'excitation ; – du choix des données à acquérir sur une bande de fréquence donnée ; – de la définition du nombre et de la localisation des capteurs ; – de la préparation de la chaîne d'acquisition et de traitement des données. Le choix des grandeurs à mesurer peut reposer sur la règle de platitude qui consiste à retenir le paramètre pour lequel le spectre est le plus uniforme. A titre d'exemple, le guide technique du LCPC propose quelques critères : – accélération : pour les analyses de force ; – vitesse : pour les analyses de vibrations en corrélation avec un bruit acoustique et pour les analyses de vibrations dont le spectre est plus uniforme que pour le déplacement ou l'accélération ; – déplacement : amplitude importante du déplacement, déplacement donnant une indication sur les niveaux de contrainte, analyse de mouvements relatifs ; – déformation : variation significative des contraintes, notamment pour les études en fatigue.
CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE	Non destructif

MATURITÉ	Méthode utilisée depuis une quarantaine d'années, mais fortement améliorée au cours des dix dernières années grâce aux progrès de l'électronique et de l'informatique.
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	Les essais dynamiques font appel à de nombreux types de capteurs et/ou sondes dont les plus courants sont : – les jauges de déformation, et plus récemment les fibres optiques – les capteurs de déplacement (LVDT, capteurs inductifs, potentiomètres, capteurs capacitifs) – les inclinomètres – les capteurs optiques (lumière naturelle, laser, caméras, etc.) – les accéléromètres (piézoélectriques, capacitifs, asservis) – les vélocimètres Système d'acquisition permettant le transfert d'une grande quantité d'informations et système de stockage des mesures de grande capacité : ceci est généralement résolu par un micro-ordinateur interfacé à des cartes d'acquisition multivoies. Eventuellement : actionneurs à masse excentrée (balourds), actionneurs électrodynamiques, actionneurs hydrauliques, charges explosives, passage de camions, foule de piétons, etc.  Géophone (vélocimètre) (IFSTTAR)  Accéléromètre (IFSTTAR)
MODALITÉS D'APPLICATIONS	
DOMAINE D'APPLICATION	Elle s'applique à des ponts en maçonnerie, en béton, en métal, en bois. La méthode s'applique aux ouvrages en service pour l'évaluation des coefficients de majoration dynamique, l'étude de la fatigue, la détection d'endommagements, le suivi d'ouvrages à proximité de tirs d'explosifs, et aux ouvrages soumis à des chocs, etc. Bien qu'elle soit particulièrement utile en surveillance, elle s'applique également à des ouvrages en construction (vérification des hypothèses de conception pour des ponts en zone sismique, pour des fondations sur pieu, pour des piles sujettes à des risques de flambement, etc.) et à des ouvrages à réceptionner (vérification du comportement dynamique d'un tablier, de la tension dans les haubans, etc.) Elle s'applique également à d'autres structures que les ponts : bâtiments, cheminées, cathédrales, etc.
SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION	Une connaissance des modes propres de la structure est recommandée avant d'instrumenter l'ouvrage. Une connaissance de l'amplitude maximale des vibrations attendues est également nécessaire avant de choisir les instruments de mesure (surtout pour les accéléromètres). Il convient d'éviter de placer des capteurs aux nœuds de vibration. La température ayant une influence importante sur le comportement dynamique d'un pont, il convient de l'équiper de sondes de températures.
LIMITES D'UTILISATION	Néant
PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ	À étudier et à définir en fonction du type de problème à traiter
PERSONNEL ET COMPÉTENCES	Chargé d'investigation ayant une grande expérience de la méthode et chargé d'études
CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES	
ACCÈS À 1 OU 2 FACES	Sans objet
COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES	Une fermeture de l'ouvrage au trafic est nécessaire si ce dernier est perturbant pour les essais, notamment si l'on souhaite appliquer une excitation contrôlée.
RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	Une campagne de mesures s'étend sur 1 à plusieurs jours suivant la dimension de l'ouvrage et le recours à plusieurs phases d'instrumentations.

DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	Immédiat pour les réponses et les déformées modales. Différé pour le rapport d'interprétation.
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	Il faut éviter de mesurer des phénomènes de couplage entre ouvrage et trafic, ou des excitations imposées (ex passage de train).
PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	Forte influence des conditions thermiques dont il faut se corriger, et influence de l'amortissement et de la rigidité aérodynamiques sur les très grands ouvrages (ponts suspendus, ponts haubanés).
RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	Néant
ENCOMBREMENT – POIDS	Matériels relativement légers, sauf pour les balourds et actionneurs.
AVANTAGES – INCONVÉNIENTS	
AVANTAGES	Essai de chargement en vraie grandeur Méthode fournissant des paramètres globaux de comportement dynamique
INCONVÉNIENTS	Essai à mener avec prudence pour éviter d'endommager l'ouvrage (risque de résonance avec l'emploi des actionneurs, etc.) Interprétation difficile faisant appel à un expert en dynamique des structures.
DISPONIBILITÉ – COÛT	
DISPONIBILITÉ	Rare (seuls quelques laboratoires ou sociétés les pratiquent)
COÛT	Élevé à très élevé (selon le problème à traiter)
RÉFÉRENCES	
NORMES – MODES OPÉRATOIRES – ARTICLES	NF ISO 14963 : Vibrations mécaniques et chocs, lignes directrices pour les essais dynamiques des ponts et viaducs. ISO 14964 : Mechanical vibration and shock, vibration of stationary structures, specific requirements for quality management in measurement and evaluation of vibration. ISO 18649 : Mechanical vibration and shock, evaluation of measurements results from dynamic tests and investigations on bridges. Investigations et évaluations dynamiques des ponts. - Guide Technique, LCPC, 124 pages, février 2009. Cremona C. – Évaluation dynamique des ponts : Rapport de synthèse de l'opération de recherche (2000-2003). – Les collections du LCPC, Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées OA47 - 210 p - 2004.