MESURE DE DÉFORMATION PAR FIBRE OPTIQUE (extensomètre à réseaux de Bragg)

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE

OBJECTIF	Mesurer la déformation locale d'un élément de structure à l'aide d'un capteur à fibre optique.
PRINCIPE	Un réseau de Bragg est une microstructure gravée dans le cœur d'une fibre monomode par exposition de la fibre placée dans un champ d'interférences de deux faisceaux issus d'un laser UV. L'alternance de franges sombres et brillantes ainsi produite modifie les caractéristiques optiques du guide de lumière en créant une variation périodique de l'indice de réfraction du cœur de la fibre. Cette variation d'indice se comporte comme un réflecteur très sélectif accordé sur la longueur d'onde selon la loi de Bragg : $\lambda_n = 2\ n\ p$ où λ_n est la longueur d'onde de Bragg n est l'indice optique (environ 1,5 pour la silice) p est le pas de la période des franges. Lorsque la fibre optique subit une déformation, le pas du réseau change et la réflexion de la lumière s'en trouve modifiée.

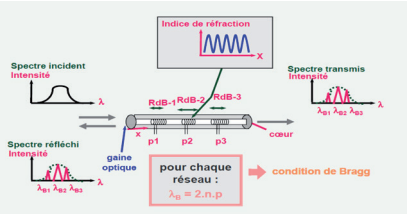


Schéma de principe (IFSTTAR)

L'inscription d'une série de réseaux (1,…,N) sur une même fibre optique présentant des accords en longueurs d'onde différents (λ_{B1},…, λ_{BN}) est possible. Cela permet alors d'effectuer une série de mesures en plusieurs points du guide optique qui peuvent être multiplexés et démultiplexés aisément. Le gravage de réseaux de pas différents le long de la fibre permet de mesurer plusieurs déformations locales le long d'une même fibre.

Le pas du réseau peut être modifié par les déformations longitudinales, la température et la pression. Il convient donc de décorréler ces variables lorsque celles-ci sont toutes actives. Généralement, pour ce faire, des réseaux « témoin » sont gravés sur la même fibre et localisés sur des zones de la fibre non sollicitées.

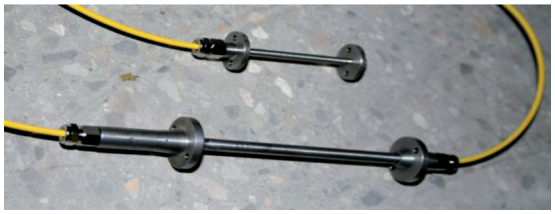
La même fibre optique effectue les mesures ponctuelles et assure la liaison avec le système d'acquisition.

Ce type de technologie est adapté aux mesures de déformations ponctuelles en différents lieux de la fibre sur des longueurs assez grandes, typiquement 10 points de mesure sur 50 m, soit un point de mesure tous les 5 m. Néanmoins, le nombre de points de mesure peut être nettement supérieur (bien que non courantes, des expériences à 100 points de mesure par fibre ont déjà été réalisées). De même, la distance qui sépare deux réseaux successifs gravés sur une même fibre qui est variable selon les fabricants et le besoin de l'utilisateur, présente une limite inférieure de l'ordre de 50 cm.

Elle offre des possibilités de multiplexage des voies de mesure.

L'étendue de mesure est variable en fonction du type de capteur et vaut +/- 1 500 micro-déformations (µdef) pour une base de mesure de 10 à 20 cm pour les capteurs à fibre collée, et à +/– 5 000 µdef de cette même base pour les capteurs à fibre tendue. Elle dépend du nombre de réseaux gravés et peut atteindre jusqu'à 20 000 µdef pour des capteurs de base 50 cm.

Nota : il est cependant utile d'apporter une précision sur ce que l'on entend par base de mesure : en effet, la longueur des réseaux gravés excède rarement le centimètre et est plutôt de quelques millimètres ; en revanche, la base de mesure est déterminée par la distance entre deux points consécutifs d'ancrage de la fibre. Mais si la fibre est continuellement fixée à la structure et s'il y a plusieurs points de mesure le long de la fibre, alors la base de mesure est constituée par la distance entre deux réseaux de bragg successifs.

PRINCIPE	L'appareil peut être compensé ou non en température, selon le type de capteur (le capteur de température est désolidarisé mécaniquement de la structure). A noter que ce principe est également utilisé pour fabriquer des capteurs de pression et de température.
CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE	Non destructif
MATURITÉ	Méthode de mesure éprouvée depuis seulement quelques années.
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	Les capteurs actuels ont besoin d'être connectés à un conditionneur de signal adapté à la technologie du capteur. Les capteurs à fibre optique à réseau de Bragg peuvent être interrogés en transmission ou en réflexion. Cette dernière sera en général préférée car les signaux sont plus facilement identifiables. Ces matériels ne sont vendus que par quelques fabricants spécialisés.  Capteurs MicroLux M60 (en haut) et MicroLux M110T (en bas) de la société CEMENTYS (10 capteurs de ce type peuvent être placés le long d'un seul câble). L'étendue de mesure en déformation des capteurs ci-dessus est de +/- 5 000 10-6, avec une étendue de mesure en température de -20 °C / +80 °C ; ces étendues sont réglables en fonction du multiplexage.
MODALITÉS D'APPLICATIONS	
DOMAINE D'APPLICATION	Ces capteurs peuvent être noyés dans le béton, ou fixés sur le parement de structures en béton, en maçonnerie, en bois, en métal (dans ce dernier cas, le soudage est souvent interdit et il convient d'utiliser des boulons ou éventuellement de la colle, etc.). Ils permettent de : – mesurer le comportement sous chargement et de surveiller les structures sur de grandes longueurs, en mesurant des déformations ponctuelles distribuées sur une grande longueur ; – de vérifier le fonctionnement de sections critiques (sous charges contrôlées ou sous trafic) ; – de détecter des fissurations.
SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION	La fixation de ces capteurs optiques se fait par collage le long de la fibre ou par fixations intermédiaires, etc. Ils peuvent être mis à l'intérieur des coffrages (de préférence collés sur les armatures), en prenant les précautions nécessaires pour qu'ils ne bougent pas lors du bétonnage et qu'ils ne soient pas endommagés par la vibration du béton. Il convient d'éviter les rayons de courbure inférieurs à 20 mm.
LIMITES D'UTILISATION	Néant
PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ	La résolution peut atteindre +/- 0,5 10^{-6} Précision de l'ordre de la micro-déformation.
PERSONNEL ET COMPÉTENCES	Un chargé d'investigation avec une équipe d'intervention constituée de personnel ayant reçu une formation sur l'instrumentation des ouvrages d'art.
CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES	
ACCÈS À 1 OU 2 FACES	Dépend du type d'ouvrage
COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES	Non

RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	Dépend du nombre points de mesures sur une même fibre et du nombre de voies de la centrale d'acquisition.
DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	Immédiat sur l'écran de l'ordinateur portable relié à la centrale d'acquisition
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	Néant
PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	Il faut tenir compte des corrections thermiques.
RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	Aucune précaution particulière
ENCOMBREMENT – POIDS	Dépend essentiellement du câblage et du convertisseur Poids du capteur très faible
AVANTAGES – INCONVÉNIENTS	
AVANTAGES	Grand nombre de points de mesures localisés sur un même capteur. Robuste, étanche à l'eau, et a priori fiable sur le long terme. Insensible aux perturbations électromagnétiques. Mesure absolue ne nécessitant aucun calibrage. Insensible à la variation de longueur du câble optique de raccordement (celui-ci peut faire plusieurs km). Fonctionne en dynamique (fréquence d'échantillonnage pouvant aller jusqu'à 1 kHz).
INCONVÉNIENTS	Manque de recul sur la longévité. Produits ne figurant pas sur étagère (capteurs fabriqués à la demande,etc.).
DISPONIBILITÉ – COÛT	
DISPONIBILITÉ	Assez courante (on passe progressivement au stade industriel)
COÛT	Élevé (surtout à cause du conditionneur opto-électronique)
RÉFÉRENCES	
NORMES – MODES OPÉRATOIRES – ARTICLES	Dupont J. - Comportements de Capteurs à Fibres Optiques, noyés ou fixés en surface d'ouvrages en béton. - Thèse ENPC, 27 mars 2002. FERDINAND P. (1992), Capteurs à fibres optiques et réseaux associés, Technique & Documentation – Lavoisier, Paris, ISBN 2-85206-781-1, 251 p. FERDINAND P. (1999), Capteurs à fibres optiques à réseaux de Bragg, Techniques de l'Ingénieur – Traité Mesures et Contrôle – Volume R7 : Optique : Optique – Référence R6735, 28 p.

Nota : Il s'agit de fiches informatives dont le contenu relève d'éléments recueillis auprès des constructeurs de matériel. L'Ifsttar dégage donc toute responsabilité sur la validité ou non de ces informations.