MESURE DE DÉFORMATION PAR JAUGES

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE

OBJECTIF

Les extensomètres à fils résistants ou jauges de déformation (*strain gauge*) ont pour objectif de mesurer la déformation d'un élément d'ouvrage en la traduisant en variation de résistance électrique. La déformation étant définie comme le rapport de la variation de sa longueur divisée par sa longueur initiale.

PRINCIPE

Les jauges sont constituées par un fil plié en accordéon et sont généralement fabriquées à partir d'une mince feuille métallique (quelques µm d'épaisseur) et d'un isolant, que l'on traite comme un circuit imprimé (par lithographie ou par attaque à l'acide).

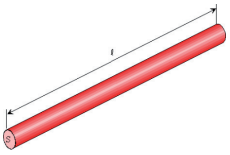
La jauge de déformation (souvent improprement appelée jauge de contrainte) repose sur le principe de l'allongement ou du raccourcissement d'un fil résistif solidaire du support qui se déforme.

Lorsque le champ de déformation est relativement uniforme et uniaxial, la jauge est placée suivant l'orientation principale de ce champ. Lorsque le champ de déformation est surfacique (sans orientation préférentielle), il est nécessaire de placer au moins trois jauges (rosettes) pour mesurer les composantes principales des déformations, ainsi que leur orientation.

En agissant par traction ou compression sur le fil, celui-ci s'allonge ou se rétrécit. Cette variation de longueur modifie sa résistance électrique. On mesure alors cette variation de résistance entre l'état de repos et l'état sous contrainte. Le fil est agencé en spires de manière à ce que la déformation agisse en même temps sur plusieurs tronçons du fil pour amplifier la variation de résistance électrique.

La résistance d 'un conducteur de section S et de longueur l est égale à :

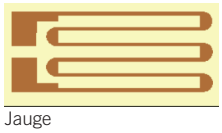
$$R = \frac{\rho l}{S}$$



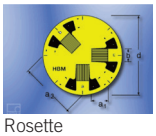
Une variation de longueur provoque une variation de résistance selon la formule essentielle de l'extensométrie :

$$\frac{\Delta R}{R} = k\,\varepsilon$$

K est le facteur de jauge dont la valeur est voisine de 2.



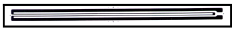
Jauge



Rosette



Pont de Wheatstone



Jauge pour béton

Les jauges sont souvent collées et parfois soudées (sur métal).

Il est nécessaire de connaître le module d'élasticité du matériau en déformation uniaxiale, et le coefficient de Poisson en déformation surfacique. Cette détermination est aisée pour le métal car le module est bien défini (200 000 à 210 000 MPa). Cela est beaucoup plus difficile pour le béton car le module varie entre 25 000 (béton bas de gamme) et 50 000 MPa (béton THP).

Il est possible de répartir des jauges sur la hauteur d'une section pour évaluer sa courbure (Diagramme de Navier).

Il existe une jauge dite « Pain de sucre » pour les inclusions dans le béton.

Il existe des chaînettes de jauges pour mesurer les déformations dans des zones de concentration de contraintes.

Le même principe des jauges peut être adapté pour détecter l'apparition d'une fissure et suivre sa propagation. L'adaptation consiste à utiliser la rupture progressive de fils lors de la propagation d'une fissure.

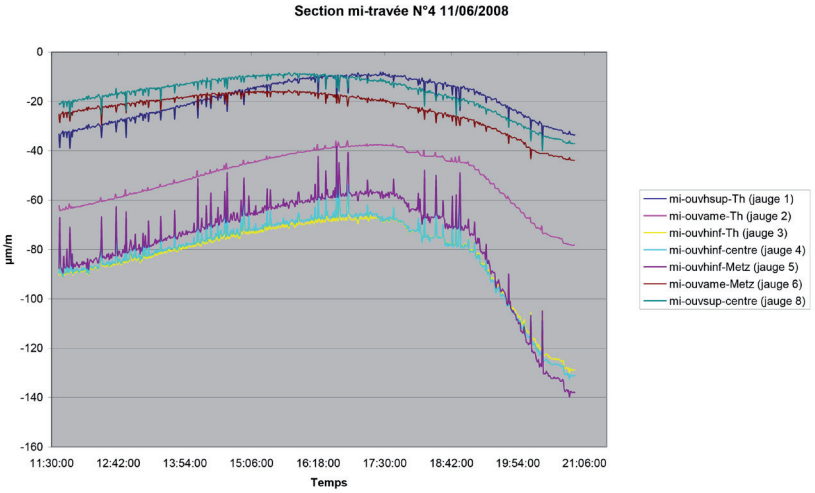


Jauge de détection de fissure

CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE	Non
MATURITÉ	Méthode éprouvée depuis plusieurs décennies.
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	Sur béton comportant des granulats de dimension maximale 20 à 25 mm, il est recommandé d'utiliser des jauges de longueur minimale 10 cm. Sur métal, on peut utiliser des jauges de longueur comprise entre quelques millimètres et un centimètre (2 mm pour le collage sur des fils de précontrainte). 

MODALITÉS D'APPLICATIONS

DOMAINE D'APPLICATION	Le collage de jauges se fait d'une manière générale sur tout matériau relativement homogène (acier, béton, bois, composites, aluminium, etc.) avec des jauges adaptées au type de matériau. Dans le cas des ouvrages en béton, possibilité de collage sur les armatures passives et actives du béton. La détermination de contraintes est possible à condition de connaître le module de déformation du matériau et dans certains cas son coefficient de Poisson. Exemples d'application : – Comportement sous chargement / vérification en fatigue (structures métalliques et précontraintes) / suivi de structures ; – Détermination du diagramme des déformations ; – Détermination du module de déformation d'une éprouvette de béton ou de métal sous presse ; – Vérification du fonctionnement de sections critiques (sous charges contrôlées ou sous trafic) ; – Détection de fissures sur métal et sur béton, dans le cas des fissures de béton précontraint en association avec un capteur de déplacement (notion de couple Jauge/capteur) ; – Libération de contrainte sur métal et sur béton.

SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION	Une grande minutie est nécessaire à la préparation au collage. Le collage sur une structure en métal est plus simple. L'implantation de jauges sur les structures en béton est compliquée : préparation de la surface, (il ne faut pas de microfissure existante), rebouchage des pores, ponçage, etc. Le soudage doit être réalisé par du personnel spécialisé. Il existe plusieurs montages : ¼ pont, ½ pont, pont complet et il existe des câblages à 2 fils, 3 fils ou 4 fils, etc. Pour minimiser l'influence de la température, on peut utiliser une jauge de compensation thermique. Sur une structure en béton armé, il est nécessaire de coller les jauges sur armatures tendues exactement au droit des fissures pour pouvoir interpréter les mesures.
LIMITES D'UTILISATION	Gamme de déformations comprise entre 2 et 20%. La durée de vie en fatigue est comprise entre 10^6 à 10^8 cycles (difficulté de faire du suivi à long terme sur béton pour cause de dégradation du collage par l'humidité interne du béton). Sensible à la longueur des fils de liaison entre la jauge et le conditionneur suivant le type de montage, et à tout problème d'isolation électrique.
PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ	De l'ordre du µm/m Dépend du type de jauges Très sensible à la température
PERSONNEL ET COMPÉTENCES	Un chargé d'investigation L'équipe d'intervention est constituée de personnel ayant reçu une formation sur l'instrumentation des ouvrages d'art et sur les techniques de collage des jauges.
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 de nombreux paramètres (état du support, type de jauge, durée du collage, nombre de jauges, etc.)
DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	Immédiat sur l'écran de l'ordinateur portable relié à la centrale d'acquisition, ou sur la lecture manuelle du pont de Wheastone.  Exemple d'une instrumentation avec jauges de déformation pour un suivi de mise en tension de câbles de précontrainte
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	Les vibrations liées au trafic peuvent engendrer des difficultés pour le collage des jauges.
PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	Lorsque la température extérieure est très faible, il est nécessaire de réchauffer la structure sur laquelle la jauge doit être collée ou d'isoler thermiquement la zone instrumentée.

RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	Précautions à prendre pour le collage des jauges lors de la manipulation de produits dangereux (solvants, colle, Fer à souder, etc.)
ENCOMBREMENT – POIDS	Dépend essentiellement du câblage et de la centrale. (Possibilité d'utiliser des modules de multiplexage simplifiant le câblage).
AVANTAGES – INCONVÉNIENTS	
AVANTAGES	Visualisation en temps réel avec un ordinateur portable Enregistrement de températures sur une période donnée avec une fréquence d'acquisition déterminée
INCONVÉNIENTS	Ces capteurs sont longs à mettre en œuvre (préparation et nettoyage de la surface instrumentée, collage de la jauge, soudage, protection de la jauge, etc.) Les jauges sur le béton permettent des mesures de déformation assez grandes dans les zones comprimées mais elles ont une capacité de déformation limitée dans les zones de béton tendu (maxi 100 à 200 µm/m) en raison des fissures qui s 'y développent. La fiabilité des indications à long terme est faible (fluage et vieillissement du joint de colle, baisse de l'isolation électrique, etc.) La correction des effets dus aux variations de température est indispensable. La centrale d'acquisition nécessite d'être protégée pour des enregistrements de longue durée. Les jauges ne sont pas récupérables.
DISPONIBILITÉ – COÛT	
DISPONIBILITÉ	Courante
COÛT	Élevé (amortissement de la centrale et coût de la main d'oeuvre)
RÉFÉRENCES	
NORMES – MODES OPÉRATOIRES – ARTICLES	Chatelain J. (1969), L'extensométrie par jauges à fil résistant – Supplément au Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 39, août, 111 pages. Avril J., Brule J.C. (1984) – Encyclopédie d'analyse des contraintes – Malakoff, Vishay Micromesures.