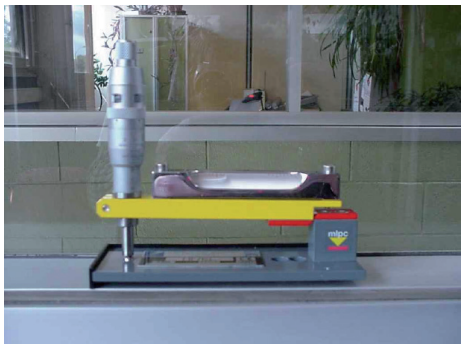
MESURES DES ROTATIONS PAR NIVELLES ET INCLINOMÈTRES (OU CLINOMÈTRES)

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE

OBJECTIF	Mesures des rotations d'éléments de structure ou de sections sous cas de chargement connus lors d'épreuves de chargement dans le cadre de la réception d'ouvrages ou dans le cadre d'expertises sur le fonctionnement d'un ouvrage. Elles ont pour objet : – d'apprécier l'aptitude au service de l'ouvrage ; – de vérifier la conformité du modèle de calcul et du bon fonctionnement mécanique de l'ouvrage ; – d'établir un point zéro de référence et/ou d'apprécier l'évolution du comportement de l'ouvrage dans le temps. Les mesures de rotations des parties d'ouvrages ou des sections dans le cadre de la surveillance permettent d'apprécier l'évolution dans le temps d'un phénomène anormal tel que les renversements et basculements (appuis, murs, avant ou arrière bec, garde-grève, etc.). Les mesures de rotations peuvent également être nécessaires pour corriger les mesures des déformations apparentes dans le cas où les instruments (niveau, théodolite, émetteur LASER) sont disposés au droit de sections de l'ouvrage sollicitées en flexion.
PRINCIPE	**Mesure mécanique de la rotation avec la nivelle MLPC :** La nivelle MLPC permet de mesurer l'inclinaison d'une base de mesure et de suivre l'évolution éventuelle de cette dernière sous la forme de rotation en fonction du temps. La mesure est réalisée à l'aide d'une butée micrométrique d'une résolution de 1 µm montée sur un bras articulé équipé d'une nivelle de précision. La mesure d'inclinaison est donnée par ajustement au centre à l'aide de la butée micrométrique de la bulle de la nivelle correspondant à la position horizontale du bras qui constitue la référence. **Mesure de rotation avec un inclinomètre mécanique :** La mesure est réalisée au moyen d'un inclinomètre constitué d'une nivelle sphérique équipée d'un dispositif d'observation indirect à miroir couplé et d'une vis micrométrique graduée en 10^{-4} grade (soit 1,5 10^{-6} radian). L'inclinomètre est positionné sur une embase en acier horizontale permettant de réaliser des mesures dans deux directions à 90 degrés sur des plots distants de 100 mm. Cette embase est scellée ou fixée sur une cornière à la partie d'ouvrage. **Mesure de rotation par inclinomètre électrique :** Différents principes sont utilisés pour concevoir des inclinomètres électriques. De nombreux inclinomètres électriques reposent sur la mesure de l'inclinaison d'un pendule métallique par mesure de résistance électrique ou d'accélération. Ils sont disposés sur le même type d'embase que l'inclinomètre mécanique.
CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE	Non destructif
MATURITÉ	Grande
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	 Photo WBH (CEREMA) Inclinomètre laser à 2 axes

MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ



Nivelle MLPC :

L'appareil constitué d'un socle en acier qui vient se positionner sur des bases en acier cadmié rectangulaires de 120x50 collées ou scellées au droit du point de mesure.

La fidélité du positionnement est assurée par deux butées de guidages perpendiculaires fixées sur les flancs du socle et prenant appui sur les faces latérales des bases de mesure.

La longueur de la base de mesure est matérialisée sur le socle par des ergots en acier inoxydable distant de 100 mm.

L'inclinaison de la platine est calculée à partir de la différence de hauteur entre deux mesures A et B réalisées par retournement de l'appareil correspondant aux deux extrémités de la base de mesure. Cette pente est ramenée à l'axe supposé de la rotation soit (A-B)/2 en supposant que la dénivelée est répartie côté mesures A et B

Les rotations sont calculées directement par différence des dénivelées en mm ramenée à une base de 100 mm soit

$$r = \left(\frac{A_2 - B_2}{2} - \frac{A_1 - B_1}{2}\right) / 100$$

(rd)



Inclinomètre électrique à alimentation autonome disposé sur une embase

(Photo Huggenberger)

MODALITÉS D'APPLICATIONS

DOMAINE D'APPLICATION

Nivelle MLPC : mesure des rotations pour la surveillance des renversements ou basculement de parties d'ouvrage davantage liés à des problèmes de sols.

Inclinomètres mécaniques et électriques : mesure des rotations dans le cadre des épreuves de chargement des ouvrages ou dans le cadre de la surveillance de tous types de structures.

SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION

Nécessite une fixation robuste sur les parties d'ouvrage à instrumenter.

LIMITES D'UTILISATION

Limites liées à l'étendue de mesure de chaque appareil et à la qualité du réglage de l'inclinaison de l'appareil à la pose.

Nivelle MLPC	Inclinomètre mécanique	Inclinomètre électrique
0,1 rd	0,01 rd	De 0,002 rd à 0,2 rd

PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ

	Nivelle MLPC	Inclinomètre mécanique	Inclinomètre électrique
Résolution	10^{-5} rd	1,5 10^{-6} rd	De 1 10^{-4} rd à 1 10^{-6} rd
Incertitude	10^{-4} rd	5 10^{-6} rd	De 5 10^{-4} rd à 5 10^{-6} rd

PERSONNEL ET COMPÉTENCES

Chargé d'investigation

CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES	
ACCÈS À 1 OU 2 FACES	Sans objet
COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES	Sans objet
RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	Appareil mécanique : mesure d'une base en 5 à 10 minutes Appareil électrique sans objet
DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	Immédiat
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	De préférence les mesures doivent être réalisées hors circulation pour éviter le bruitage et réduire les incertitudes.
PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	Sans objet
RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	RAS
ENCOMBREMENT – POIDS	Faible encombrement et poids des appareils et des supports ou embases
AVANTAGES – INCONVÉNIENTS	
AVANTAGES	Robustesse et fiabilité pour les appareils mécaniques Appareil mécanique ou électrique pouvant être utilisés sur plusieurs bases Appareils électriques permettant une centralisation et une télétransmission des mesures.
INCONVÉNIENTS	Réglages délicats avec nécessité d'orienter les rotations
DISPONIBILITÉ – COÛT	
DISPONIBILITÉ	Courante pour les nivelles Moyenne pour les inclinomètres
COÛT	Faible et variable selon la précision des inclinomètres
RÉFÉRENCES	
NORMES – MODES OPÉRATOIRES – ARTICLES	Épreuves de chargement des ponts routes et passerelles piétonnes – Guide technique – Sétra (Cerema), octobre 2003.