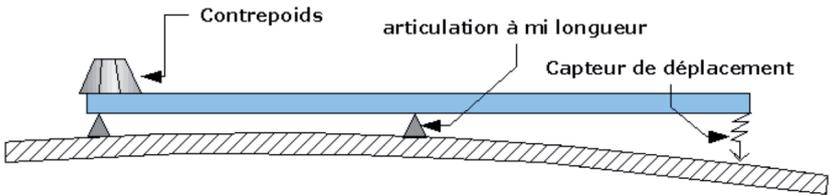
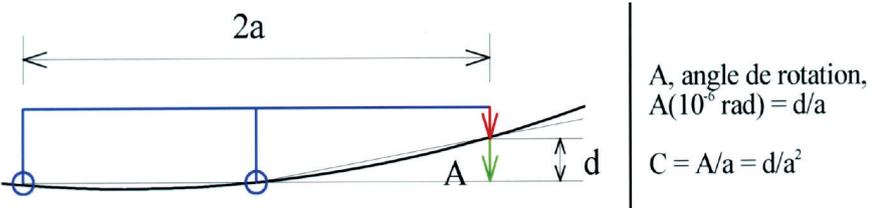


COURBUREMÉTRIE

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE

<p>OBJECTIF</p>	<p>Détermination de la variation de courbure d'un élément (dalle précontrainte, poutre, etc.) afin de vérifier son comportement mécanique.</p> <p>Cette méthode est susceptible de détecter, localiser voire quantifier des endommagements structurels (fissurations) à partir de la mesure des variations de courbure causées par des variations contrôlées de moment fléchissant.</p>
<p>PRINCIPE</p>	<p>Le courburemètre est un profilé métallique de longueur L posé sur 2 appuis fixes dont une partie est en porte-à-faux. Il est équilibré par un contrepoids. Des bras « télescopiques » et démontables facilitent le transport et permettent le réglage à l'envergure désirée.</p> <p>Le soulèvement vertical est empêché à une extrémité grâce au contrepoids. L'autre extrémité libre du bras en console supporte un capteur de déplacement (de type inductif).</p>  <p>Schéma de principe du courburemètre (Cerema)</p> <p>Le courburemètre intègre les variations de courbure sur une distance égale à son envergure totale (de 2 à 6 mètres en général).</p>  <p>Principe de calcul de la courburemètre (Cerema)</p> <p>La variation de courbure est évaluée par la relation suivante :</p> $\Delta C = d / a^2$ <p>avec $a = L/2$ et (d) égal à la valeur du déplacement du capteur.</p> <p>Comme (d) est très petit par rapport à la demi-longueur du courburemètre (a), la valeur (d/a) représente la variation de l'angle de rotation de la section d'un élément suite à la variation de sollicitation appliquée à celui-ci.</p>
<p>CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE</p>	<p>Non destructif</p>
<p>MATURITÉ</p>	<p>La courburemètre est employée depuis une dizaine d'années.</p>

<p>MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ</p>	<ul style="list-style-type: none"> - un capteur électrique de déplacement type « LVDT » (résolution 1 micromètre), associé à une chaîne de mesure ; - un profilé métallique de longueur connue (entre 2 et 6 m) ; - un contrepois ; - une chaîne de mesure ; - un tunnel de protection thermique (pour se protéger de l'ensoleillement ou de la chaleur dégagée par les moteurs des camions).  <p>Exemple d'une installation comportant 4 courburemètres positionnés deux à deux et têtes bèches. (Cerema)</p>
------------------------------------	---

MODALITÉS D'APPLICATIONS

<p>DOMAINE D'APPLICATION</p>	<p>La mesure par courburemètrie peut être utilisée lors :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'essais de chargement de structures pathologiques ; - de vérification du fonctionnement après réparation ; - de passage de convois exceptionnels ; - suivi de découpe de câbles de précontrainte ; - d'un complément à des épreuves de réception d'ouvrage. - etc.  <p>Utilisation de courburemètres avec leur tunnel de protection lors d'un essai de réception (Cerema)</p>
------------------------------	--

<p>SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION</p>	<p>Une opération de mesure de courburemètrie nécessite une préparation minutieuse. Les cas de chargement doivent être définis au préalable et la position des camions bien tracée sur l'ouvrage. Un tunnel de protection doit être employé.</p>
---	---

<p>LIMITES D'UTILISATION</p>	<p>N'est pas adapté lorsque l'ouvrage est soumis à de fortes vibrations</p>
------------------------------	---

<p>PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ</p>	<p>La précision et la sensibilité sont intrinsèques au capteur (résolution typique du capteur 1 micromètre). La longueur du courburemètre influence la précision (une longueur du courburemètre supérieure à 5 m est préconisée). L'incertitude sur le résultat est estimée à 1,6 %.</p>
------------------------------------	--

<p>PERSONNEL ET COMPÉTENCES</p>	<p>Un chargé d'investigations pour la réalisation des mesures et un chargé d'études spécialiste en structure pour leur interprétation.</p>
---------------------------------	--

CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES

<p>ACCÈS À 1 OU 2 FACES</p>	<p>Accès par le dessus du tablier et plus rarement par le côté des poutres lorsque les courburemètres sont installés sur l'âme des poutres.</p>
-----------------------------	---

<p>COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES</p>	<p>Une interruption de la circulation est nécessaire lors de l'essai de chargement.</p>
--	---

RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	Un essai de chargement avec courburemétrie peut prendre de une à plusieurs heures
DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	Une première interprétation peut être faite sur site. L'analyse complète des résultats s'effectue en différé.
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	La méthode nécessite d'interrompre le trafic lors des essais de chargement
PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	L'ensoleillement et la chaleur dégagée par les moteurs des camions peuvent perturber les mesures ; le tunnel de protection permet de les diminuer significativement.
RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	Néant

ENCOMBREMENT - POIDS	Encombrement relativement important (jusqu'à 6 m de long) Poids : De l'ordre d'une dizaine de kilos
----------------------	--

AVANTAGES - INCONVÉNIENTS

AVANTAGES	Facilité de mise en œuvre (par rapport à la pose de jauges d'extensométrie). Les courburemètres sont simplement posés sur la chaussée de la travée testée, et supportent de côtoyer les camions, ou d'être chevauchés par eux, lors des épreuves de chargement. Possibilité de traitement instantané des mesures. Évaluation semi-globale de l'état de la structure. Contrairement à la mesure de flèche qui donne des déformations de la travée entière, la courburemétrie permet de détecter une perte de rigidité localisée
-----------	---

INCONVÉNIENTS	Le courburemètre est très sensible aux gradients thermiques. Il convient donc de l'utiliser, de jour comme de nuit, couvert d'un « tunnel » de protection qui limite les variations différentielles de température dues aux divers rayonnements ambiants. Le courburemètre réalise une mesure « locale » ; on doit donc en utiliser plusieurs si l'on souhaite « couvrir » une zone suffisamment étendue, par exemple : le 1/3 central d'une travée de VIPP. Il y a lieu de les installer avec un recouvrement minimal.
---------------	--

DISPONIBILITÉ - COÛT

DISPONIBILITÉ	Moyenne
COÛT	Faible

RÉFÉRENCES

NORMES - MODES OPÉRATOIRES - ARTICLES	TONNOIR B., Brioist J.J., GODART B. - Évaluation mécanique des ouvrages d'art par la courburemétrie : Méthode d'essai n°82. Collin B. ; Tonnoir B., (2000) - Mesures de courbure sur ouvrages d'art : Application au cas du pont du Luzancy. - Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 224, janvier - février 2000, - LCPC, pp 59-71. Collin B. ; Tonnoir B., (2001) - Évaluation mécanique d'une dalle précontrainte par mesure de la courbure. - Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 231, mars-avril 2001, - LCPC, pp 69-78.
---------------------------------------	--