



Les mesures de nivellement du faîte du tunnel ou d'autres points de l'intrados du tunnel et les mesures des convergences de la coque du tunnel sont devenues les méthodes de mesure les plus pratiquées dans la construction moderne de tunnels.

Pour installer une section de mesure de convergence, des boulons de convergence sont positionnés aussi près que possible derrière la retraite dans l'intrados du tunnel (bétonnés ou soudés à l'arc). A côté tunnel des boulons de convergence il y a un filet avec arrêt pour appliquer le dispositif de mesure (décamètre en acier ou fil d'invar). Un ressort précontraint définit le décamètre avec l'instrument de convergence, qui est aussi fixé à un boulon de convergence de l'autre côté. Le changement de longueur entre les points de référence est lu d'une montre-compteur mécanique sur l'instrument de convergence.

Pour réduire les gênes pendant les travaux de construction des mesures géodésiques s'imposent de plus en plus pour enregistrer des convergences. Au lieu du boulon de convergence un boulon de mesure avec diode lumineuse ou signal réfléchissant est bétonné, dont la dislocation est mesurée par un tachéomètre. Une précision de mesure de +/- 1 mm est possible, qui satisfait au contrôle de stabilité du tunnel. L'avantage de cette méthode comparée aux mesures relatives entre deux points mobiles avec l'instrument de convergence, c'est que la dislocation absolue de la coque du tunnel est mesurée. Si les mesures de convergences sont faites par un instrument de convergence, ce n'est possible qu'en relation d'au moins une détermination géodésique de position.

Pour faire des mesures de convergences continues nous avons développé un système électro-optique. A l'aide d'un laser il permet des mesures de convergences automatiques à n'importe quelle intervalle de temps. Cette méthode de mesure de convergences est idéale pour le monitoring de longue durée des tunnels existants de longue date.

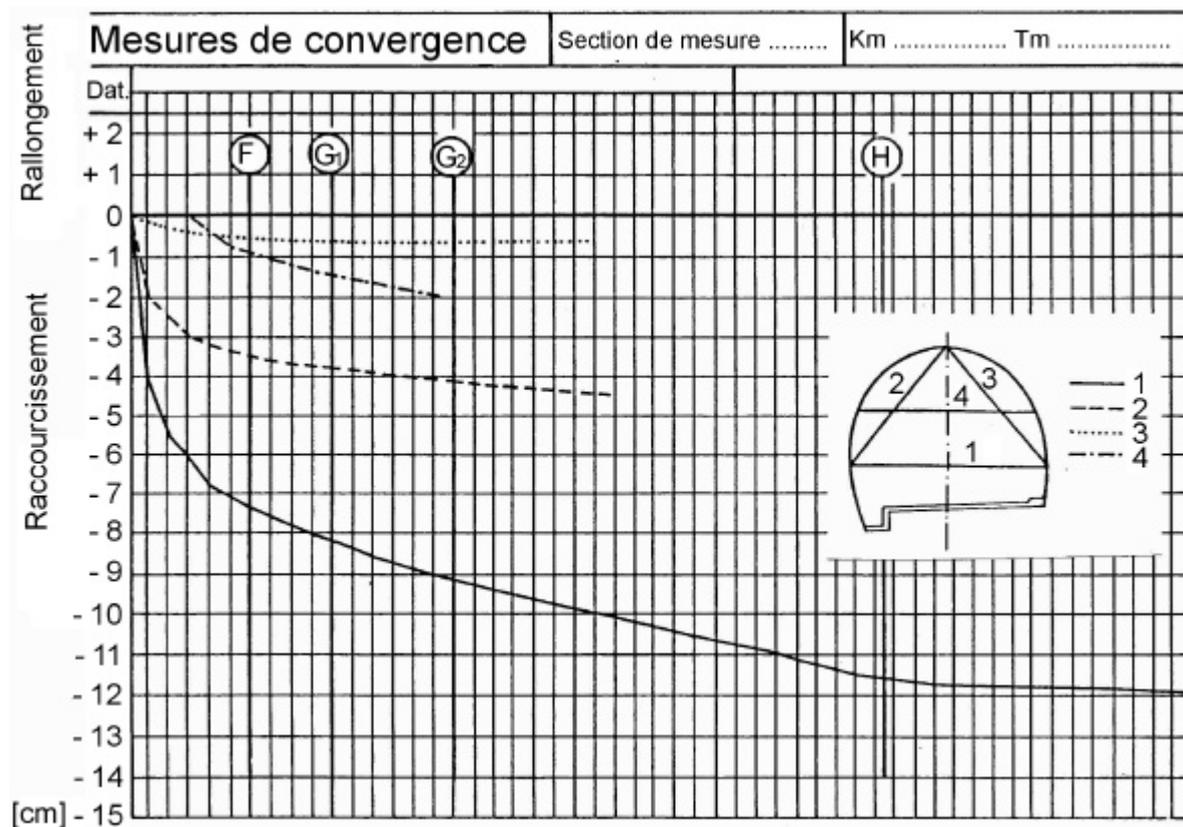


Fig 1 Exemple d'une mesure de convergence. F: Re-ancrage des culées; G1: Ancres de pied; G2: Doublement des ancrs de pied; H: Fin de mur

Les mesures de nivellement et de convergences sont les mesures fondamentales pour la construction des tunnels. Elles sont exécutées normalement en sections de mesure standards ou principales. Fig 1 montre le résultat d'une mesure typique en dessin schématique.



La mesure de convergence sans contact, se fondant sur la mesure optique trigonométrique de repères de visée comme diodes lumineuses ou signaux réfléchissants, est exécutée avec un tachéomètre électronique, équipé d'un instrument de mesure de distance coaxial intégré. Les dislocations mesurées à l'aide du tachéomètre sont mises en mémoire sur un support de données dans le tachéomètre et peuvent être transférées à un ordinateur personnel quand les travaux de mesure sont terminés. Pour obtenir une précision de mesure de la convergence de tunnel de +/- 1 mm le tachéomètre doit rendre possible des mesures de direction d'une précision d'au moins +/- 0,3 mgon et des mesures de distance d'une précision d'au moins +/- 0,5 mm.

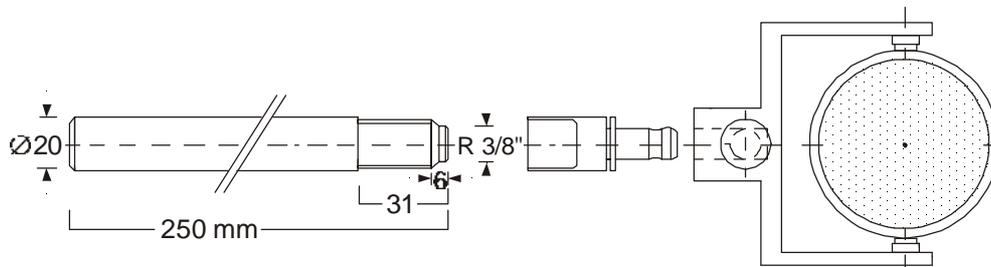


Fig 1 Signal de mesure de convergence sans contact, se composant d'un boulon de convergence, d'un adaptateur destiné à la rupture et d'un repère de visée à réflexion double

Pour signaler les points de mesure un boulon de convergence est bétonné dans le support du tunnel, et un repère de visée à réflexion double est fixé par un adaptateur destiné à la rupture en C.P.V., pour faire tourner le repère (voir fig 1). On utilise ce type de signal pour toutes les mesures prises d'une distance entre env. 15 et 50 m. Il est très facile à viser le repère avec le tachéomètre, si le réflecteur est illuminé par une lampe. Si le point de mesure est touché par une machine pendant les travaux de tunnel, le repère de visée à réflexion double est rompu au point destiné à cet effet mais normalement le boulon de convergence n'est pas déformé. Le repère peut être remplacé à sa position initiale (avant l'endommagement) après avoir vissé un autre adaptateur destiné à la rupture.

Pour signaler des points de mesures d'une distance de moins de 15 m et des points fixes on utilise des prismes triples au lieu de repères de visée à réflexion double.



Le distomètre ISETH est un instrument de précision pour mesurer des longueurs à l'aide d'un fil d'invar. Avant tout il sert à déterminer exactement les changements de distance et de longueur en cas de mesures de dislocation et de déformation. Il a été construit à l'Institut für Straßen-, Eisenbahn- und Felsbau der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ISETH = institut pour constructions routières, de chemins de fer et de roches à l'université technique Zurich).

L'équipement de mesure est entièrement composé d'éléments mécaniques. Pour cette raison il est extrêmement éprouvé et peut être utilisé indépendamment d'autres outillages. Les mesures peuvent être exécutées très rapidement et avec peu de personnel.

Le fil d'invar a une longueur d'entre 1 et 50 m. La gamme de mesure pour le changement de longueur est 100 mm. La précision d'une mesure en cas de longueurs de fil jusqu'à 10 m est de $\pm 0,02$ mm, en cas de longueur de fil plus grande d'env. $\pm 2 \cdot 10^{-6}$ de la distance (erreur moyenne).

L'équipement pour mesurer les longueurs à l'aide d'un fil d'invar se compose de trois pièces essentielles: le capteur de force, le capteur de longueur et le fil d'invar. Le distomètre ISETH rassemble le capteur de force et le capteur de longueur dans un seul appareil maniable (voir fig 1).

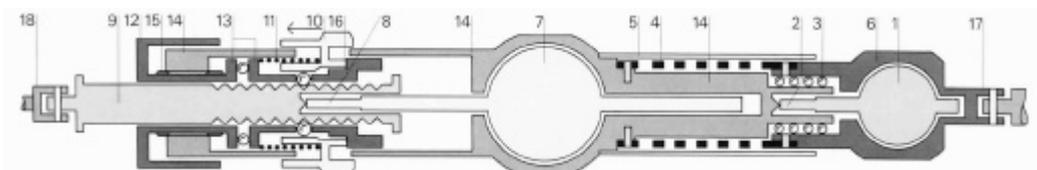


Fig 1 Schéma du distomètre: **1** Montre-compteur pour mesurer l'allongement du ressort; **2** Palpeur de mesure; **3** Roulement à billes axial; **4** Ressort d'acier de précision; **5** Tube protecteur; **6** Raccord entre montre-compteur et ressort d'acier de précision; **7** Montre-compteur pour mesurer les longueurs; **8** Palpeur de mesure; **9** Barre de traction avec encoches pour le mouvement rapide; **10** Anneau pour desserrer l'encoche; **11** Ressort de pression pour plaquer l'anneau 10 contre l'encoche 16; **12** Anneau tournant pour le mouvement lent de la barre de traction; **13** Roulement à billes; **14** Corps de l'appareil; **15** Erou tendeur; **16** Encoche; **17, 18** Dispositifs d'accouplement



Le capteur de force maintient la contrainte demandée du fil d'invar pendant la mesure. Il se compose principalement d'un ressort d'acier de précision, dont l'allongement est le degré pour la contrainte influe sur le fil d'invar. L'allongement du ressort peut être ajusté à une valeur désirée à l'aide d'une montre-compteur.

Une deuxième montre-compteur sert de capteur de longueur, qui donne la valeur mesurée. Elle mesure la distance entre le distomètre et l'extrémité du fil d'invar y fixée.

Le fil d'invar a une longueur constante et considérablement indépendante de la température en cas d'une précontrainte constante. Le fil est muni des dispositifs d'accouplement de précision qui permettent une connexion parfaite entre une extrémité et le distomètre et entre l'autre extrémité et le point de mesure.

L'équipement est complété par des touches mobiles à l'objet de mesure ainsi que par deux articulations de raccordement qui sont mises aussi bien entre les touches et le fil d'invar qu'entre les touches et le distomètre (fig 2).

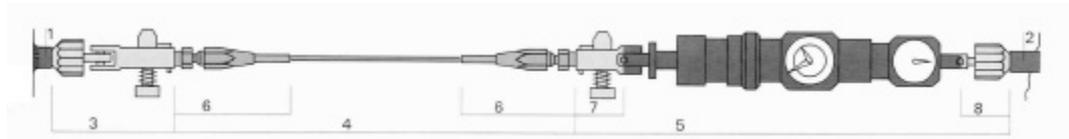


Fig 2 Equipement du distomètre prêt à mesurer: **1** Touche mobile, soudée; **2** Touche mobile, bétonnée; **3** Articulation de raccordement avec appui pour dispositif d'accouplement du fil; **4** Fil d'invar; **5** Distomètre ISETH; **6** Dispositif d'accouplement du fil; **7** Appui pour dispositif d'accouplement du fil au distomètre; **8** Articulation de raccordement au distomètre

Pour chaque distance à mesurer le fil d'invar est coupé sur place à la longueur nécessaire et muni d'un dispositif d'accouplement à chaque extrémité.



Les fils particuliers sont enroulés sur un anneau métallique pour mesures suivantes. Un compensateur pour fils retient l'extrémité libre du fil de mesure sur l'anneau métallique. Dans une boîte de transport en bois on peut garder quinze anneaux métalliques.

La qualité des valeurs de mesure dépend de l'indication des montres-compteurs dans le capteur de force et dans le capteur de longueur du distomètre. Pour les vérifier, calibrer et ajuster on utilise la jauge-étalon. Elle est constituée de deux plaques terminales qui sont connectées par trois bâtons d'invar. Ces bâtons leur donne la distance constante, nécessaire pour le calibrage des longueurs.

Pour calibrer le capteur de force on utilise une matrice-étalon qui est attachée au distomètre, suspendu verticalement dans la jauge-étalon. On peut corriger une indication dérivante du zéro en tournant le cadran de la montre-compteur. Par cela on peut contrôler la maturation du ressort en tout temps et corriger une dérive du zéro habituelle.

Pour calibrer le capteur de longueur on place le distomètre entre les deux plaques terminales de la jauge-étalon à l'aide des articulations de raccordement. Après avoir ajusté la force de traction nécessaire au capteur de force, le capteur de longueur indique la valeur de calibrage du distomètre. Numériquement ou en tournant le cadran on peut tenir compte d'un changement éventuel.

La comparabilité des valeurs de mesure dépend de la longueur constante des fils d'invar ainsi que du calibrage du distomètre. C'est pourquoi il est nécessaire de calibrer avant et après chaque mesure.

Nous réalisons des mesures par distomètre, livrons et installons des touches mobiles et nous faisons des fils d'invar sur commande. Si désiré nous évaluons les résultats des mesures et formulons des avis géotechniques.

**Informations Commerciales**

- 2.2.2.1 Fil d'invar, d = 1,0 mm
- 2.2.2.2 Fil d'invar, d = 1,65 mm
- 2.2.2.3 Compensateur pour fil
- 2.2.2.4 Couronne de fil, d = 330 mm
- 2.2.2.5 Coupleur pour fil d'invar, d = 1 mm
- 2.2.2.6 Coupleur pour fil d'invar, d = 1,65 mm
- 2.2.2.7 Touche mobile, laiton, longueur 75 mm,
pour cimentage
- 2.2.2.8 Boîte de transport pour 15 couronnes de fil,
d = 330 mm
- 2.2.2.9 Distomètre avec dispositif de calibrage
et boîte de transport