



Comme son nom l'indique, la fonction d'un extensomètre est la mesure d'extensions à l'axe longitudinal de l'instrument (voir MÜLLER, 1963, page 594). Le moyen de mesure est un fil ou une barre, dont la dimension et la qualité est recommandée par le ISRM et le DGEG, ou une sonde qui explore des marques de mesure fixées dans le forage. Selon le moyen de mesure (fig 1) on distingue

- Extensomètres à fil
- Extensomètres à barre
- Extensomètres à sonde

A part du moyen de mesure les extensomètres à fil et à barre sont constitués d'une tête de mesure et d'une ancre.

La tête de mesure resp. l'arrêt de mesure doit être dessiné si bien qu'il est largement protégé contre un endommagement. Une lecture mécanique est désirable (spécialement pour des observations de longue durée), mais pour rendre possible une observation continue des dislocations des capteurs électriques de déplacement ou des potentiomètres rotatifs sont aussi utilisés.

Il y a une multitude de types d'ancres. Les types les plus fréquents sont des barres striées ou des douilles en acier, qui sont engagées dans la roche par injection de ciment. Dans des roches très fissurées il est préférable d'envelopper les ancres d'un matelas de fibres pour éviter une infiltration du matériau d'injection. On utilise aussi des ancres à serrage mécaniques, mais en ce cas une adhérence durable dans la roche doit être assurée.

L'extensomètre est dessiné pour des roches et des ouvrages de maçonnerie, qui sont normalement soumis à l'extension. Les mesures d'extensomètres sont simples et sûres, elles sont des éléments fondamentaux dans la plupart des programmes de mesure pour contrôler le comportement des fondations et des ouvrages. En général on utilise des extensomètres à barre avec une précision des mesures de  $\pm 1 \times 10^{-6}$  (i. e.  $\pm 0,01$  mm/10 m).



Souvent on utilise des extensomètres pour l'observation de tassements des remblais ou sous des ouvrages. Des tels instruments sont nommés logiquement compressomètres. Ils sont destinés à observer la compression du sol (déformation sous pression). En 1930 déjà TERZAGHI les a décrit comme jauges de fondation. Aujourd'hui on parle de jauges de tassement.

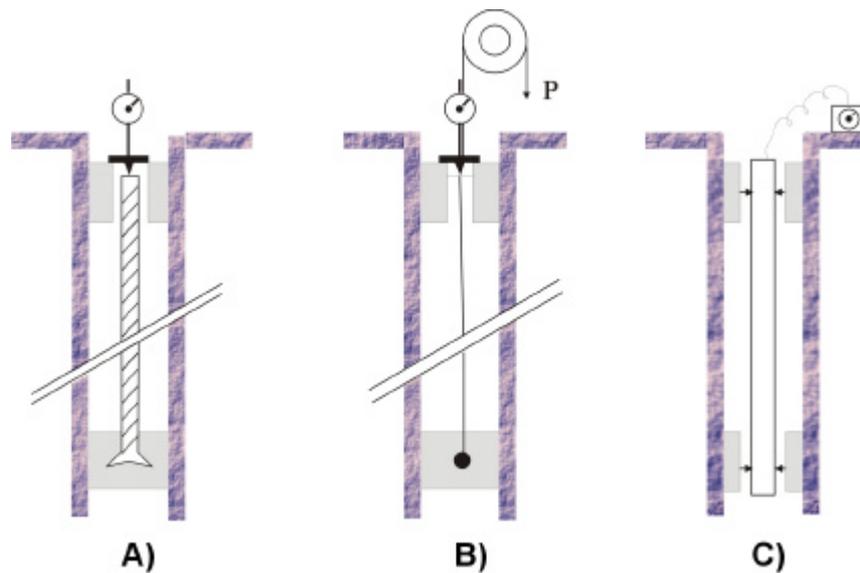


Fig 1 Principes de mesure d'extensomètre (d'après PAUL et GARTUNG, 1991)  
A) Extensomètre à barre, B) Extensomètre à fil, C) Extensomètre à sonde

En considérant le rayon d'action on peut s'attendre à la compression dans des remblais et fondations dans les roches (parfois accompagnée par l'extension, i. e. dans des argiles capables de gonflement ou au pied des remblais) et à l'extension dans tunnels, puits, galeries et glissements de terrains.

Si une seule section mesurée est installée dans le forage, on parle d'un extensomètre à un point, s'il y a plusieurs points de mesure le long du forage, on parle d'un extensomètre à multiples points (fig 2). Les longueurs des éléments de raccordement (barre, fil) varient. Avec l'extensomètre à sonde on mesure les changements de distance entre les points de mesure voisins placés à distances presque égales.

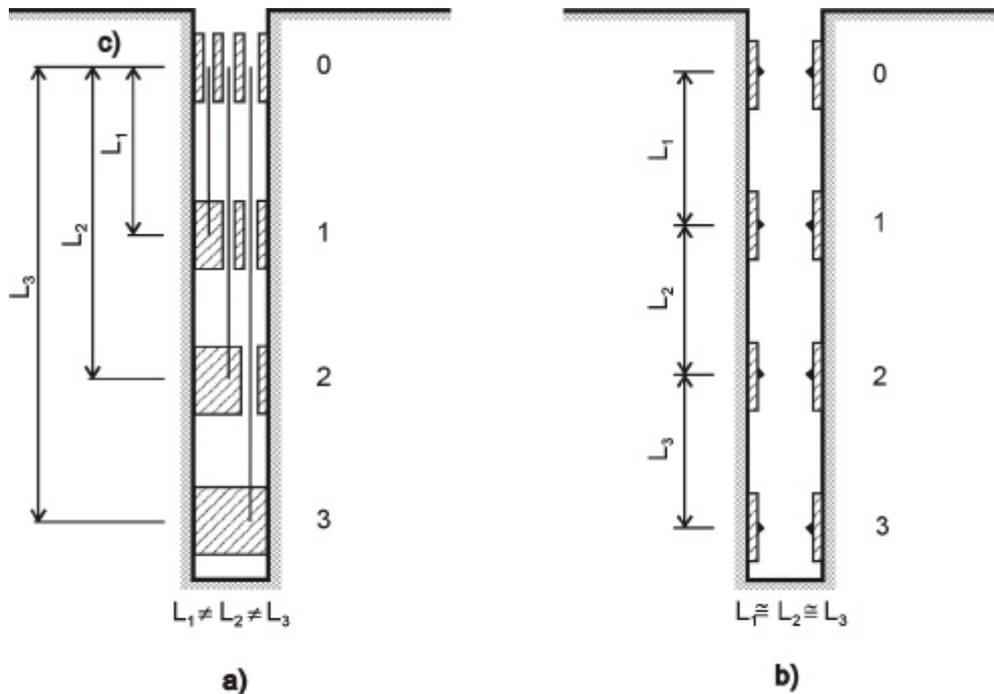


Fig 2 Exemples schématiques d'extensomètres à multiples points (d'après PAUL et GARTUNG, 1991)  
 a), b) Extensomètre à barre à trois points, c) Tête d'extensomètre  
 0, 1, 2, 3 = Points de mesure

Le rayon d'action des extensomètres demande une construction spéciale. Les extensomètres utilisés pendant les travaux de l'avancement du tunnel doivent être dessinés pour l'installation dans un forage de 46 mm au maximum (mini-extensomètres). En outre ces instruments doivent être livrés au chantier plus ou moins prêts à être montés et ancrés mécaniquement pour satisfaire aux exigences des travaux de l'avancement du tunnel (forage avec les outillages utilisés pendant l'avancement, pas d'injections au-dessus de la tête, possibilité de mesurer au prochain cycle d'avancement déjà).

La longueur totale de cet extensomètre à multiples points peut être limitée à un diamètre de tunnel (i. e. 10 - 12 m; cette profondeur peut être atteinte en utilisant les outillages de l'avancement).



Au génie minier, spécialement dans les mines de charbon, il y a des coups de grisou. Il faut considérer ça en choisissant le matériel pour produire les extensomètres (pas de plastique, pas d'aluminium).

Si les extensomètres sont utilisés dans d'autres endroits que décrites ci-dessus, une préfabrication complète n'est pas absolument nécessaire, qui tente de faire faire l'installation par des non-spécialistes courant le risque que les instruments soient installés incorrectement.

ISRM a publié des directives pour la précision et la gamme de mesure. Elles peuvent être testées lors d'un essai comme proposé par PEKKART et STILLBORG (1982).

### **Fondation antigel de la tête d'extensomètre**

Si une tête d'extensomètre est exposée au gel il est souvent désirable de pouvoir distinguer les levées et les abaissements de la tête par suite des cycles de geler/dégeler des dislocations relatives au bâtiment. Pour ce propos il y a deux modèles:

1. La solution la plus simple et moins chère c'est le placement additionnelle d'une barre d'extensomètre, descendant à 1,25 m dans la fondation et dont les mouvements sont soustraits des dislocations plus profondes. Si ce n'est pas désirable car il y a déjà des dislocations relatives au bâtiment dans de moindres profondeurs, on procède comme suit:
2. Avant de creuser le forage d'extensomètre on extrait la terre pour un puits au lieu de mesure d'après fig 3a), on y place un tube en plastique et remplit l'espace annulaire de béton. Après le forage est creusé et l'extensomètre est installé.



La tête d'extensomètre peut être couverte d'après la fig 3b). D'abord deux tuyaux de drainage sont posés, après un bouchon ovale de fonte est mis, un encaissement par gravier est établi dans lequel les tuyaux de drainage s'achèvent, et le reste du déblai est rempli de béton. Le bouchon doit être conforme aux principes de contrôle d'après DIN 3580 et doit être muni d'un couvercle rivé. A la place du bouchon il est possible d'installer un anneau de puits en béton d'après DIN 4052-5b (diamètre intérieur 450 mm) et un couvercle de fonte d'après DIN 1229.

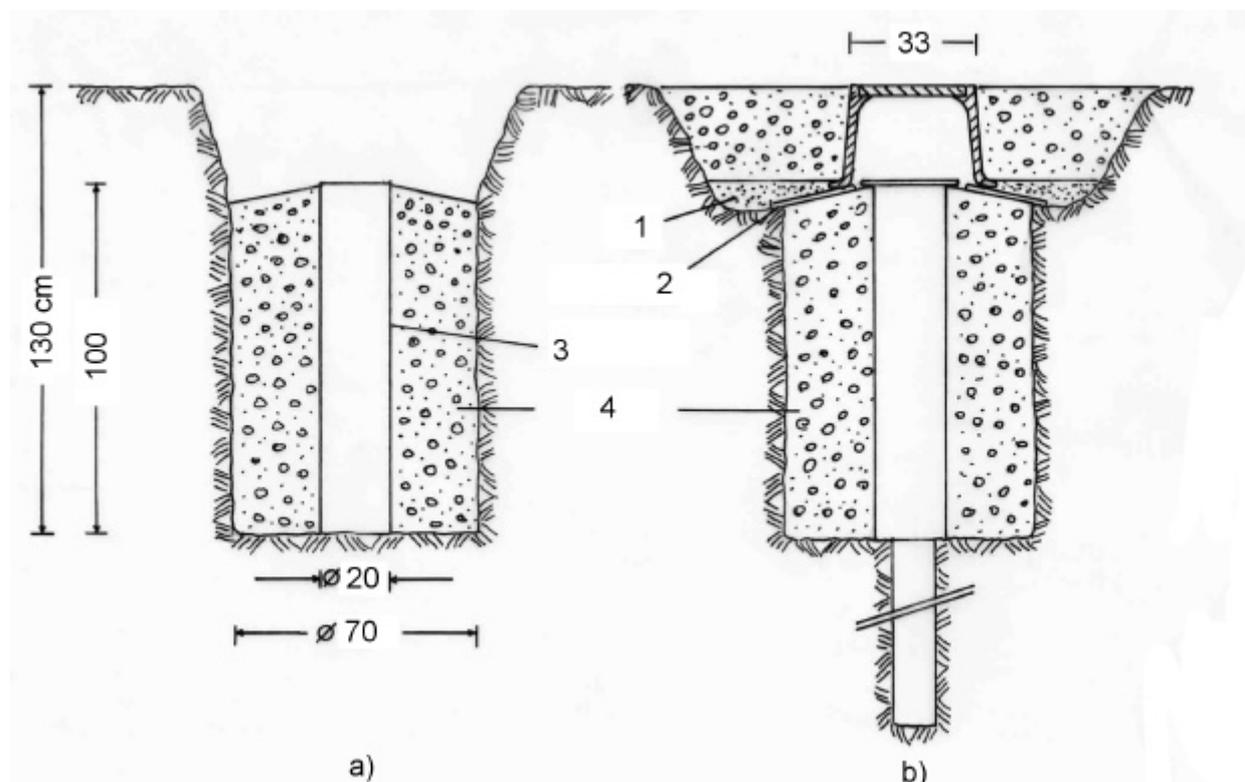


Fig 3 Formation d'une tête d'extensomètre avec fondation antigel

a) Préparation du forage

b) Formation du couvercle de la tête et du drainage

1 Gravier, 2 Tuyau de drainage, 3 Tuyau vide, 4 Béton



Le micromètre de cisaillement développé à l'Institut für Straßen-, Eisenbahn- und Felsbau (ISETH = institut pour constructions routières, de chemins de fer et de roches) à l'Université Technique de Zurich, Suisse, est un extensomètre à sonde de haute précision. L'instrument est utilisé pour déterminer continuellement des composants de dislocation axiaux le long de forages dans la roche, le béton ou le sol. La base de la haute précision du micromètre de cisaillement est le gauchissement de la sonde mobile dans des marques de mesure respectives reposant sur le principe boule - cône.

Des marques de mesure métalliques, reliées les unes avec les autres par un tube protecteur en plastique, sont ancrées par injection dans un forage d'un diamètre de 100 mm au minimum ou dans un évidement dans le béton. Avant l'injection il est recommandé de contrôler l'installation convenable des tubes protecteurs par une mesure de micromètre de cisaillement.

La sonde d'un poids d'env. 3 kg est descendue pas à pas dans le tube protecteur à des tiges de commande aux marques de mesure éloignées de 1 m l'une de l'autre. Après chaque mètre les deux têtes de mesure sphériques placées aux extrémités de la sonde et munies d'évidements passent les marques de mesure munies aussi d'évidements (position de cisaillement). En tournant par 45 ° et tirant les tiges de commande la sonde avec les deux têtes de mesure est gauchie dans deux marques voisines (position de mesure).

Un capteur inductif de déplacement dans la sonde détermine les valeurs de mesure et les transmet par un câble à un appareil de lecture digitale avec une mémoire d'informations interne.

En cas de tubes de mesure verticaux ou fortement inclinés jusqu'à une profondeur de 50 m au maximum la sonde peut être positionnée et gauchie à l'aide des tiges de commande seules. En cas de profondeurs de plus de 40 à 50 m la sonde est descendu et gauchie à l'aide d'un treuil par un câble électrique résistant à la déchirure. La sonde est positionnée à l'aide des tiges de commande. En cas de tubes horizontaux ou légèrement inclinés on peut mesurer les distances jusqu'à une longueur de 100 m sans treuil.

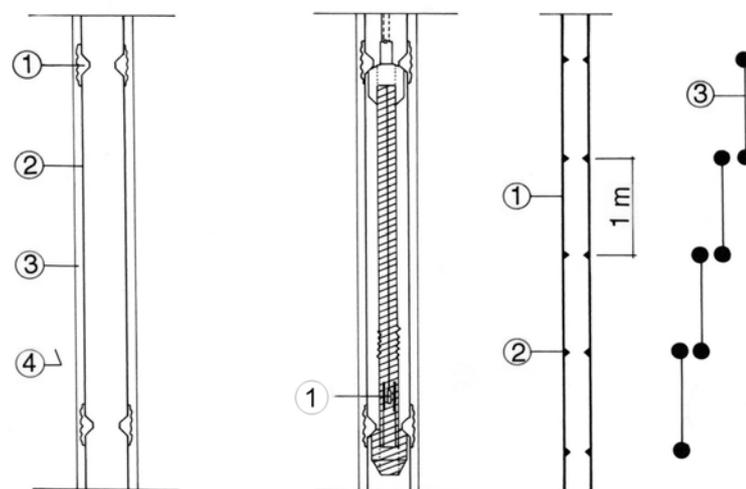


Fig 1 Micromètre de cisaillement ISETH (d'après THUT, 1985).

- a) Tube de mesure cimenté dans le forage  
1 Marques de mesure coniques, 2 Tubage HPVC, 3 Injection, 4 Roche ou béton
- b) Micromètre de cisaillement à position de mesure
- c) Méthode de mesure pour micromètre de cisaillement et Trivec  
1 Tubage, 2 Marques de mesure, 3 Positionnement pas à pas de la sonde

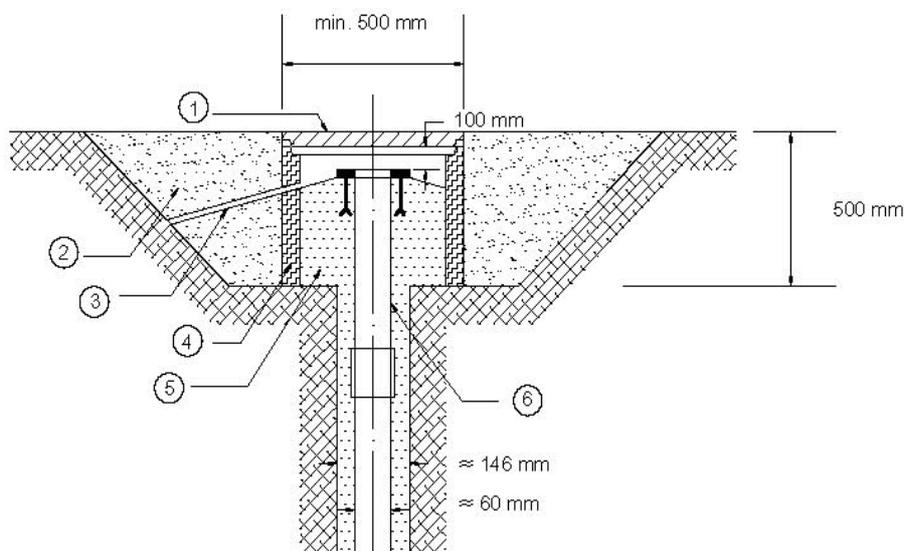


Fig 2 Puits de fermeture pour micromètre de cisaillement et Trivec

- |   |           |   |   |
|---|-----------|---|---|
| 1 | Couvercle | 2 | Remplissage                                     |
| 3 | Drainage  | 4 | Puits au ciment                                 |
| 5 | Mortier   | 6 | Tube de micromètre de cisaillement ou de Trivec |



La très haute précision de  $\pm 1\mu\text{m}$  dans le dispositif de calibrage et de  $\pm 2\mu\text{m}$  dans le tube de mesure in situ est atteinte par le principe boule - cône très précis à la définition de position des deux têtes de mesure. Exprimé en allongement l'instrument a une sensibilité de mesure de  $1 \cdot 10^{-6}$ , la gamme de mesure est de 10 mm. La sonde et le dispositif de calibrage sont munis d'un élément de mesure de température pour pouvoir compenser les changements de longueur de la distance mesurée influencés par la température.

Nous réalisons des mesures par micromètre de cisaillement et nous installons le tubage protecteur sur commande. Si désiré nous évaluons les résultats des mesures aussi en forme graphique et formulons des avis géotechniques.

### Informations Commerciales

- 2.4.1.1 Tubes de mesure pour micromètre de cisaillement  
longueur de base 1,0 m en HPVC  
diamètre extérieur 60 mm,  
diamètre intérieur 50 mm  
avec dispositif d'accouplement télescopique  
et arrêt de précision conique
- 2.4.1.2 Fermeture de tube de mesure en HPVC en bas  
avec dispositif d'accouplement télescopique  
et 0,5 m tube de mesure
- 2.4.1.3 Fermeture de tube de mesure en HPVC en haut  
avec bride  $d = 150$  mm pour la fixation du  
treuil de câble et 0,5 m tube de mesure



Le déformètre de cisaillement est un extensomètre à arrêts de mesure mécanique, qui sont mis dans le tube de mesure à une distance de 1 m. Pendant la mesure la distance  $M_0$  entre la tête de mesure d'en haut et la marque de mesure d'en haut est mesurée d'après la fig 1. La valeur  $M_0$  est mesurée avec un capteur électrique dans la sonde et transférée par câble à un indicateur. Une mesure analogue plus tard donnera la valeur de mesure changée  $M_1$  si une déformation a eu lieu. De la différence des valeurs  $M_1 - M_0$  on peut calculer le changement de la distance  $\Delta L$ . Les valeurs particulières donnent des explications sur la distribution de la déformation mètre par mètre et l'addition sur la déformation totale le long de l'axe de mesure.

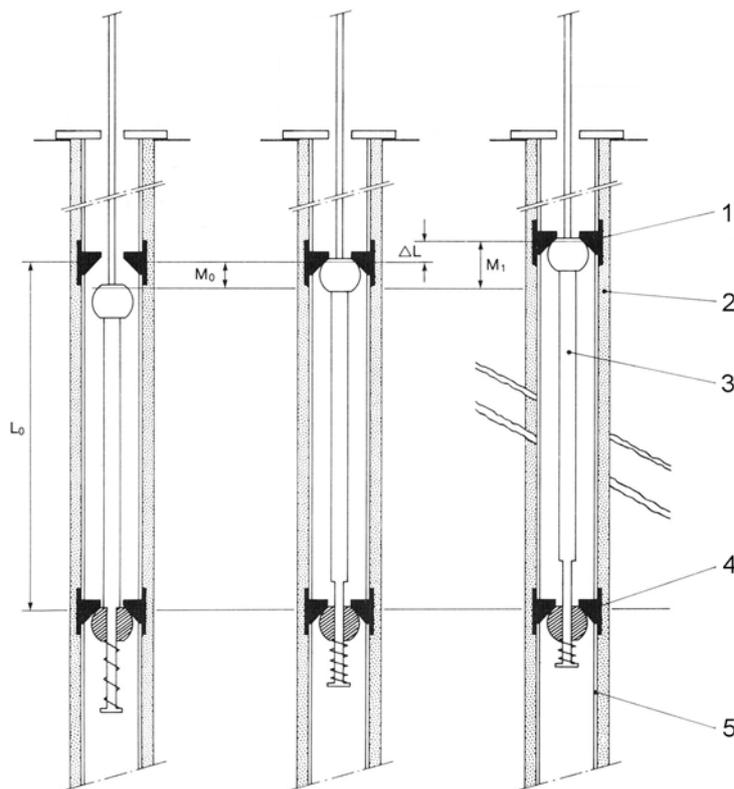


Fig 1 Principes de mesure de déformètre de cisaillement



La gamme de mesure de la sonde est de  $\pm 22,5$  mm pour une longueur de base de 1000 mm. La résolution du système de mesure de déplacement fait 0,01 mm, la précision des mesures du système total est inférieure  $\pm 0,03$  mm par mètre.

Dans les forages prévus pour l'extensomètre à sonde on peut installer différentes sortes de tubes de mesure et les relier avec la roche par cimentation:

- 2.4.2.1 Tube de mesure de déformètre de cisaillement, longueur de base 1,0 m, en HPVC, diamètre extérieur 60 mm, diamètre intérieur 50 mm, avec dispositif d'accouplement télescopique en ABS (styrène-acrylo-nitrile-butadiène), diamètre extérieur 67 mm et matériel de montage (vis IMBUS du type M 4 x 8 avec pointe et bande adhésive), poids 1,02 kg par pièce montée.
- 2.4.2.2 Tube de mesure pour mesure combinée par déformètre de cisaillement et inclinomètre, longueur de base 1,0 m, en HPVC, diamètre extérieur 63 mm, diamètre intérieur 51 mm, avec 4 rainures dans l'enveloppe intérieure pour prendre la sonde d'inclinomètre, avec dispositif d'accouplement télescopique en ABS (styrène-acrylo-nitrile-butadiène), diamètre extérieur 67 mm et matériel de montage (vis IMBUS M 4 x 8 avec ajustement cylindrique et bande adhésive), poids 1,34 kg par pièce montée.



Dans le fond du trou il faut terminer avec un tube de mesure en HPVC d'une longueur de 0,5 m:

2.4.2.3 convenable au tube de mesure en HPVC, diamètre 60/50 mm, avec dispositif d'accouplement télescopique (2.4.2.1)

2.4.2.4 convenable au tube de mesure en HPVC; diamètre 63/51 mm avec 4 rainures en longueur pour la combinaison des mesures par inclinomètre (2.4.2.2)

Au bout du forage les tubes de mesures sont fermés par une couvercle en HPVC (diamètre 150 mm). Le couvercle sert en même temps de fixation pour visser le treuil de câble:

2.4.2.5 convenable au tube de mesure en HPVC, diamètre 60/50 mm (2.4.2.1)

2.4.2.6 convenable au tube de mesure en HPVC, diamètre 63/51 mm avec 4 rainures en longueur pour la combinaison des mesures par inclinomètre (2.4.2.2)



L'extensomètre à tige plastique du type Glötzl GKSE 16 est le perfectionnement technique des extensomètres à tige traditionnels.

**Construction:**

Pour l'essentiel l'extensomètre à tige est constitué de:

- Tête de mesure avec arrêt de mesure ajustable
- Tiges de mesure se composant d'un élément en fibre de verre avec enveloppe plastique et d'un tube de protection PVC
- Point d'ancrage en acier tore



Fig 1 Extensomètre à un point GKSE 16

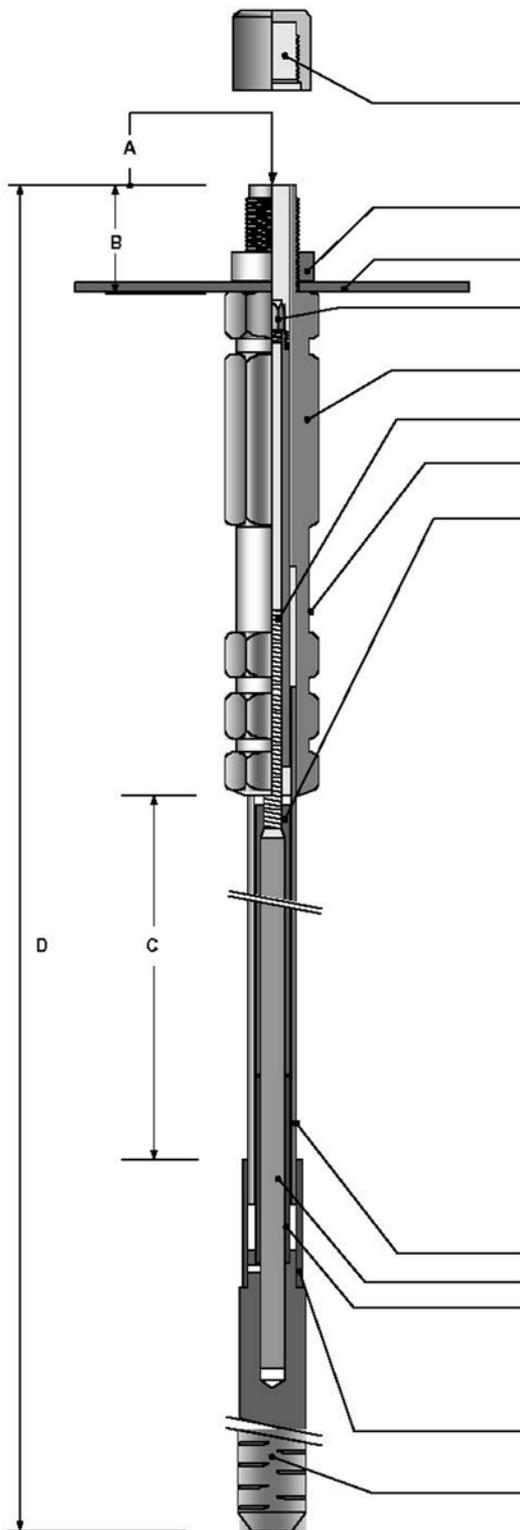
**Avantages:**

Livraison en état pré-monté (voir fig 2)

- Pas de travaux de montage à l'extensomètre même sur le chantier
- Peu de frais d'installation
- Pas de problèmes de transport
- Haute précision des mesures
- Tête de mesure introduite dans le forage
- Prolongation et raccourcissement possible
- Peu de poids



Fig 2 Extensomètre en état emballé, prêt pour l'installation, enroulé sur une bobine d'un diamètre de 1,2 m



Couvercle  $\varnothing$  26 mm

#### Tête de mesure

1. Contre-écrou
2. Plaque de montage pour têtes à 1 point et à multipoints
3. Arrêt de mesure ajustable  $\pm 60$  mm avec douille ajustable
4. Tête d'extensomètre, hexagonale SW 27 mm
5. Tige filetée
6. Gorge tournée pour l'adhérence dans le béton
7. Douille de connection

#### A. Point de mesure manuelle

1. Jauge de profondeur avec vernier  $\pm 1/10$  mm
2. Montre-compteur mécanique  $\pm 1/100$  mm
3. Capteur électrique de déplacement avec affichage numérique

#### Mesure à distance

4. Mesure électrique à distance avec capteur de déplacement

#### B. Gamme de mesure

ajustable avec tige filetée  $\pm 60$  mm

#### C. Tiges de mesure

Elément en fibre de verre et tube de protection PVC, diamètre sur enroulement 1 m

#### D. Dimensions

Longueur totale = Longueur de mesurage

Longueur minimale 1 m

Longueur maximale 100 m

#### Tiges de mesure

1. Tube de protection PVC  $\varnothing$  16 mm
2. Élément en fibre de verre  $\varnothing$  9 mm
3. Enveloppe de protection  $\varnothing$  11 mm

#### Point d'ancrage

1. Connection élastique du tube de protection de l'ancrage
2. Élément d'ancrage  $\varnothing$  22 mm, longueur 500 mm en acier tore



Pour la formation des extensomètres à multipoints plusieurs extensomètres à un point sont fixés sur une plaque de montage avec un contre-écrou. Les têtes de mesure sont enfoncées pour la plus grande partie dans le forage pour éviter d'être endommagées pendant les travaux de construction.



Fig 3 Extensomètre à 6 points avec plaque de montage et fixation en plastique. Pour une mesure à distance des capteurs de déplacement sont vissés directement sur la tête de mesure.

Des plaques de montage dessinées pour l'enfoncement dans le forage sont disponibles pour l'installation des extensomètres dans les forages. Ainsi il est possible d'introduire les têtes à un point et à multipoints complètement dans le forage et d'éviter d'être endommagées pendant les travaux de construction, p. ex. par explosions.



Fig 4 Extensomètres à 6 points du type GKSE 6/16 B, se composant de plusieurs extensomètres à 1 point avec plaque de montage pour installation noyée dans les forages



### Caractéristiques techniques

Tiges d'extensomètres: Noyau en fibre de verre  $\varnothing$  11 mm avec enveloppe en plastique  
 Tube de protection: PVC 16 x 2 mm

Longueur de mesurage standard: min. 1 m  
 max. 100 m

Gamme d'ajustage pour l'arrêt de mesure:  $\pm$  60 mm

Précision de transmission: 1 - 20 m  $\pm$  0,02 mm  
 jusqu'à 50 m  $\pm$  0,010 mm  
 jusqu'à 100 m  $\pm$  0,30 mm

Tête d'extensomètre: hexagonale SW 27 mm

Plaques de montage: 1 - 13 points pour être enfoncés ou posés

Diamètre de forage nécessaire (diamètre d'installation intérieur) sans considération des câbles d'injection et d'aération:

1	2 - 3	4	5 - 7	8 - 13 points
35	60	76	86	131 $\varnothing$ mm

Poids: Tiges d'extensomètre, tube de protection PVC et noyau en fibre de verre  
 1 m: 0,3 kg

Montre-compteur mécanique: Gamme de mesure 30 mm  
 Résolution  $\pm$  0,01 mm

Accessoires: Etalon de mesure, clé pour contre-écrou, outil pour ajuster l'arrêt de mesure, coffre de transport

Indicateur numérique: Gamme de mesure 50 mm  
 Résolution  $\pm$  0,01 mm

Accessoires: Etalon de mesure, clé pour contre-écrou, outil pour ajuster l'arrêt de mesure, coffre de transport

**Informations Commerciales**

- 2.4.3.1 Tiges d'extensomètre  $d = 16$  mm,  
se composant d'un tube de protection  
et d'un élément en fibre de verre
- 2.4.3.2 Tête d'extensomètre pour 2.4.3.1 avec arrêt  
de mesure (140 mm) et point d'ancrage  
longueur 0,5 m
- 2.4.3.3 Tiges d'extensomètre  $d = 12$  mm,  
se composant d'un tube de protection  
et d'un élément en fibre de verre
- 2.4.3.4 Tête d'extensomètre pour 2.4.3.3 avec arrêt  
de mesure (140 mm) et point d'ancrage  
longueur 0,5 m
- 2.4.3.5.1 Plaque de montage pour  
extensomètres à 1 - 3 points
- 2.4.3.5.2 extensomètres à 4 - 6 points
- 2.4.3.5.3 extensomètres à 7 - 9 points
- 2.4.3.6 Appareillage de mesure se composant d'une  
montre-compteur mécanique, résolution 1/100 mm,  
gamme de mesure +/- 15 mm, dispositif de  
calibrage, outil d'ajustage et coffre de  
transport