



Le dilatomètre rigide diamétral d'Ettlingen (ESDS) est une sonde de forage qui utilise deux plaques de charge cylindriques circulaires avec lesquelles la roche en place est sujet à une charge uniaxiale en direction verticale à l'axe de forage. Il y a deux versions du dilatomètre pour l'utilisation dans des forages d'un diamètre minimum de 146 mm ou de 101 mm. L'instrument ESDS I/146 est un perfectionnement technique du dilatomètre rigide diamétral de Stuttgart; la seule caractéristique inchangée est la géométrie des plaques de charge cylindriques circulaires.

L'instrument ESDS I/146 se compose de deux segments de coque cylindriques circulaires (fig 1) avec une largeur de projection de 126 mm et une longueur de 195 mm, c'est-à-dire que chaque segment a une surface de charge projetée de 0,02457 m<sup>2</sup>. Les coques de charge sont logées flexiblement (elles ont des paliers articulés) et peuvent être écartées hydrauliquement jusqu'à 50 mm à l'aide de deux vérins.



Fig 1 Dilatomètre rigide diamétral d'Ettlingen ESDS I/146:  
Coques de charge, vérin et capteur de déplacement



L'instrument ESDS I/146 peut exercer une pression de plus de 6 MN/m<sup>2</sup>, c'est plus qu'il n'en faut pour tester le module de déformation des sols et des roches peu résistantes. Un capteur électrique mesure le déplacement des plaques de charge à leur axe central comme déplacement total relatif des deux coques de charge. Les raccordements pour les câbles électroniques et hydrauliques sont placés au-dessus de la tête de la sonde dans un tube de 540 mm de long. Ce tube est raccordé en direction en haut à un tube de puisard de 1200 mm de long avec dispositif de fixation pour des tiges de dressage et un œillet pour accrocher un câble d'acier (fig 2).



Fig 2 Dilatometre rigide diamétral d'Ettlingen ESDS I/146 avec tube de puisard

Le dilatometre rigide diamétral d'un diamètre de max. 144 mm si rétracté est inséré dans le forage d'un diamètre de 146 mm à l'aide d'un treuil à câble et, si demandé, positionné en direction de profondeur et d'opération en utilisant des tiges d'orientation fixées à la sonde.



La longueur de l'instrument ESDS I/146 est tenue de propos délibéré de juste 195 mm pour pouvoir examiner les éléments de couche souvent de faible épaisseur qu'on trouve dans des sols et des roches tendres (SMOLTCZYK et SEEGER, 1980). Dans des séries de roches de même nature par contre il y a un avantage d'utiliser des plaques de charge théoriquement au mieux si elles sont infiniment hautes. Pour ne pas devoir renoncer à cet avantage nous fournissons aussi le dilatomètre rigide diamétral d'Ettlingen aux longueurs de plaque de 490 mm (ESDS II/146) (voir fig 3). Cette variation est possible parce que la charge sur les plaques est générée par des modules de vérins qui sont attachés à la sonde de 195 mm de haut et qu'on ne replace que les plaques de charge de la longueur désirée.

La surface de charge projetée de l'instrument ESDS II/146 d'une longueur de plaque de 490 mm est de 0,06174 m<sup>2</sup>.



Fig 3 Dilatomètre rigide diamétral d'Ettlingen ESDS II/146: Coque de charge, vérins et capteurs de déplacement



Pour des forages d'un diamètre nominal de 101 mm nous livrons aussi un dilatomètre rigide diamétral, dont les segments de coque cylindriques circulaires possèdent un angle d'ouverture de 120 ° comme toutes les autres dilatomètres rigides diamétraux d'Ettlingen. Avec une largeur de projection de 87,5 mm et une longueur de 490 mm cet instrument ESDS 101 a une surface de charge projetée de 0,04287 m<sup>2</sup> pour chaque segment. Les coques de charge peuvent être écartées hydrauliquement de 96 mm jusqu'à 136 mm à l'aide de quatre vérins. Une pression maximale de plus de 5 MN/m<sup>2</sup> peut être exercée sur les environs.

Avec tous les dilatomètres rigides diamétraux d'Ettlingen la pression latérale est spécifiée par l'ingénieur d'essai et contrôlée à l'aide d'un capteur de pression électrique. Usuellement la pression de contact au début de l'essai est de 50 kN/m<sup>2</sup>. La charge est appliquée par étapes. En règle générale il est suffisant de stabiliser chaque étape pendant deux minutes et après de lire le déplacement des coques. Des lectures intermédiaires additionnelles sont faites pour enregistrer les caractéristiques de déformation en fonction du temps.

En utilisant la théorie d'élasticité le module horizontal d'un gisement  $K_{SS}$  est dérivé de l'essai comme paramètre à instrument spécifique. Ce module peut être utilisé pour dériver un module de l'élasticité ou de déformation. La gamme d'application de la sonde couvre des sols, des roches à résistance alternée et des roches à résistance faible.

Usuellement l'essai est exécuté à trois cycles de charge et de décharge, où la pression maximale de la première charge et de la recharge est adaptée à la charge de la roche ou aux nécessités de l'ouvrage projeté. La charge maximale est atteinte quand la capacité de la sonde est épuisée ou quand il y a des signes de défaillance du sol dans le développement de la courbe contrainte-déformation.

Selon la sonde utilisée le diamètre du forage de test doit être au minimum de 146 ou 101 mm dans son ensemble. Dans la zone de test le diamètre de forage ne doit pas dépasser de 156 ou 111 mm. Si la partie haute du forage est protégée avec un tube, le diamètre intérieur du tube doit aussi être au minimum de 146 ou 101 mm dans son ensemble.



Le forage doit être stable. S'il a tendance à s'ébouler on doit stabiliser la paroi du forage p. ex. en introduisant un liquide de support thixotrope. La longueur de la zone de test non-tubée doit être de 1 m au minimum. Il faut faire attention que la paroi du forage dans la zone du point de test soit dérangé le moins possible. Après l'exécution du test le forage est approfondi sous le point de test prochain et le tubage est élargi respectivement.

S'il y a de l'eau dans le forage, le test de déformabilité ne peut commencer qu'après la sédimentation de la boue de forage soit plus ou moins terminée.

Dépendant de la profondeur d'essai la durée d'un essai standard est d'entre deux et quatre heures, y compris l'installation et le démontage de la sonde.

Les données enregistrées pendant l'essai au dilatomètre rigide diamétral sont évaluées par ordinateur. Les résultats de l'essai sont présentés en deux formes:

- Présentation graphique de la courbe contrainte-déformation
- Inscription des données sur une liste et des paramètres s'y calculant

Les courbes contrainte-déformation (fig 4) montrent une courbure plus ou moins marquée sous des pressions latérales basses, dépendant de la consistance de la paroi du forage et de la roche. Dans la zone I il n'y a pas encore de contact complet entre les plaques de charge et le sol. Dans la zone III il y a des signes de défaillance du forage dans la zone chargée. La zone II représente la zone d'une élasticité linéaire de la courbe contrainte-déformation; seulement cette zone satisfait aux principes de l'évaluation de test.



L'état de contrainte-déformation induit dans la roche par la charge a été examiné par SEEGER (1980) à la base de la théorie d'élasticité et calculé numériquement à l'aide des études à trois dimensions des éléments finis (BUCHMAIER et SCHAD, 1982; REIK et XING, 1993).

Les relations suivantes s'appliquent:

Module horizontal d'un gisement à sonde spécifique: 
$$K_{ss} = 2 \frac{\Delta\sigma}{\Delta v}$$

Module de déformation: 
$$E_B = f \cdot \frac{d}{\Delta d} \cdot \Delta p$$

- où:
- d = Diamètre initial du forage de test
  - f = Facteur à l'instrument spécifique selon calcul FE
  - $\Delta d$  = Déformabilité du forage à l'intervalle de charge
  - $\Delta p$  = Pression latérale à l'intervalle de charge

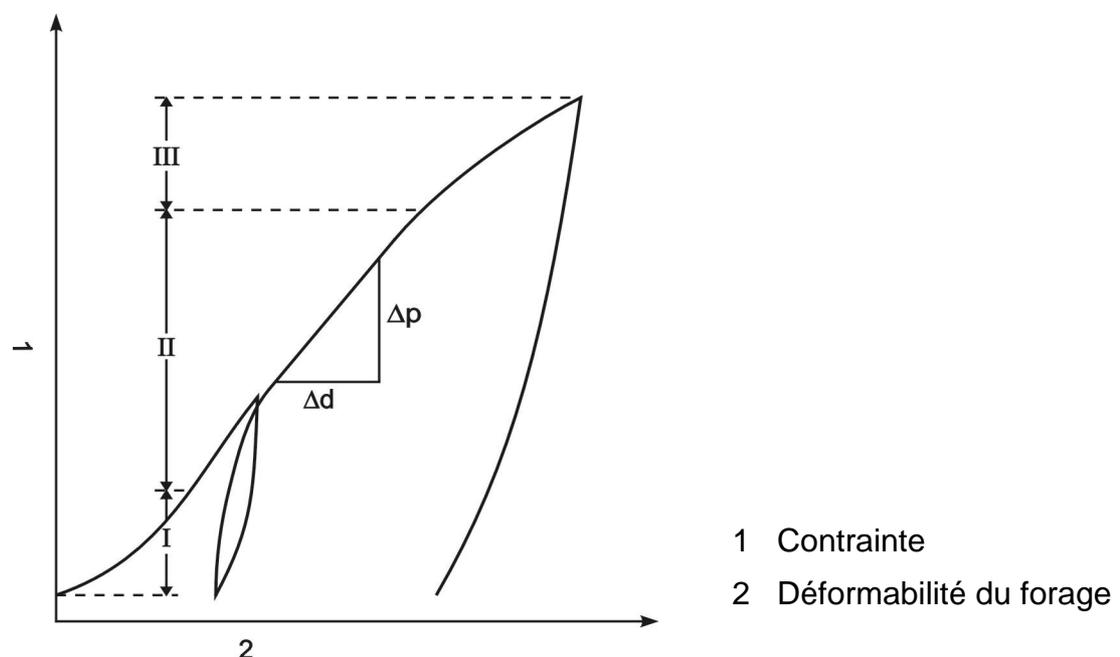


Fig 4 Courbe type d'un test de pression latérale



Les facteurs  $f$  à l'instrument spécifiques suivants s'appliquent au dilatomètre rigide diamétral ESDS I/146 aux dimensions mentionnées ci-dessus, selon la constante de Poisson de la roche:

à  $\nu \neq 0,25$  s'applique  $f = 0,792$

à  $\nu \neq 0,30$  s'applique  $f = 0,785$

à  $\nu \neq 0,40$  s'applique  $f = 0,749$

Dans notre évaluation (voir annexe) le module de charge et de décharge est calculé pour chaque cycle de charge. Dans des branches de charge on distingue entre module de première charge et module de recharge. Là où „XXXXXX“ est imprimé dans la table à la place d'une valeur numérique la calculation a produit un module de déformation infiniment grand. C'est le cas si le changement de déplacement d'un intervalle de charge est  $\nu = 0,000$  mm. Un module de déformation de  $E_B = 0$  résulte par contre si la courbe contrainte-déformation est horizontale, c'est-à-dire si la continuité du déplacement en fonction du temps a été mesurée sous la même pression latérale.

L'appareillage plus ancien pour des tests de déformabilité des forages a été évalué avec la théorie d'élasticité linéaire aussi. KÖGLER a simplifié l'état mécanique jusqu'à un état de charge uniaxial, à qui il a appliqué le principe de HOOKE. MENARD utilise la solution dérivée de la théorie d'élasticité pour le vérin à paroi épaisse, dont le rayon extérieur s'approche à l'infini, c'est-à-dire pour un état de déformation uniforme. Dans une certaine mesure c'est illogique:

- soit l'état de déformation s'étend vraiment sur une gamme plus grande, la supposition de l'état uniforme est injustifiée,
- soit les déplacements se limitent à une gamme assez petite, on ne peut pas utiliser la solution pour le vérin à paroi infiniment épaisse.

Le fait qu'une zone III est nettement mesurée pendant les essais au dilatomètre rigide diamétral indique que la supposition première est la plus correcte des deux.



En dessinant le dilatomètre rigide diamétral de Stuttgart SEEGER (1980) a renoncé dès le début à créant un état pseudo-uniforme. Au lieu de cela l'état à trois dimensions d'un couple de forces agissant symétriquement en dehors dans une ouverture cylindrique a été calculé pour l'état drainé, linéaire-élastique du sol. En négligeant l'ouverture il était aussi possible d'utiliser la solution analytique, c'est-à-dire la solution intégrée de MINDLIN sur une plaque rectangulaire verticale. Si, par contre, l'ouverture avait été prise en considération on a préféré la méthode des éléments finis, qui est très éprouvée pour des problèmes linéaires-élastiques.

Dépendant du coefficient de contraction transversale, les calculations FE dans l'espace infini linéaire-élastique (connexion avec résistance à la traction dans le plan de symétrie vertical) ou dans l'espace semi-infini (plan de symétrie sans résistance à la traction) ont produit une charge nécessaire entre  $P = 15,8$  kN et  $29,4$  kN pour atteindre un déplacement de 1 cm. Le coefficient d'élasticité du continuum était de  $5000$  kN/m<sup>2</sup>. Si les dimensions décisives de la sonde sont appliquées on obtient des facteurs  $f$  à l'instrument spécifique comme nommés ci-dessus.

Les facteurs  $f$  à l'instrument spécifique suivants s'appliquent au dilatomètre rigide diamétral II/146:

à  $\nu \neq 0,25$  s'applique  $f = 0,960$

à  $\nu \neq 0,30$  s'applique  $f = 0,949$

à  $\nu \neq 0,40$  s'applique  $f = 0,898$

La dépendance faible de la fonction  $P(\nu)$  de la constante de Poisson, constatée autrefois de GOODMAN et al (1968), a été confirmée par SEEGER:  $P$  a augmenté avec  $\nu$  selon la constance de volume augmentante; l'augmentation la plus grande a lieu avec la solution d'espace infini, c'est-à-dire 14 % dans la transition de  $\nu = 0,30$  à  $0,40$ .



GOODMAN et al indiquent la formule suivante pour l'évaluation de leurs essais au dilatomètre rigide diamétral:

$$V, E = \frac{0,8 \cdot d \cdot \Delta p}{\Delta d} \cdot K$$

où

- d = Diamètre initial du forage de test
- K = Coefficient de contraintes en fonction de l'angle au centre  $\beta$  de la charge et de la constante de Poisson  $\nu$

On peut voir le coefficient de contraintes K de la table suivante:

$\beta$	$\nu = 0,30$	$\nu = 0,40$
60	1,152	1,080
70	1,200	1,129
80	1,225	1,159
90	1,232	1,170
100	1,224	1,169
110	1,204	1,156
120	1,155	1,088

Il est connu qu'une évaluation d'après GOODMAN et al (1968) ne produit pas de résultats satisfaisants pour des modules de plus de 3000 MPa. Dans pareil cas les modules doivent être corrigés d'après la fonction publiée de HEUZE et SALEM (1977). De toute façon l'utilisation des dilatomètres rigides diamétraux dans des roches résistantes est problématique, comme BECKER (1985) a souligné.



### Informations Commerciales

Pos.	Désignation
16.1.1	Dilatometre rigide diamétral d'Ettlingen ESDS I/146 avec plaques de charge 195 mm pour opération hydraulique dans des forages d'un diamètre de 146 mm, pour pression latérale max. de > 4 MPa avec un capteur de déplacement potentiométrique, gamme de mesure 50 mm, complète avec raccords pour conduites d'alimentation et tube de puisard avec raccord possible pour tige de manœuvre.
16.1.2	comme pos. 16.1.1, mais ESDS II/146 avec plaques de charge 490 mm et deux capteurs de déplacement potentiométriques.
16.1.3	comme pos. 16.1.2, mais ESDS 101 pour des forages d'un diamètre de 101 mm, gamme de mesure 40 mm.
16.1.4	Saisie de données automatique avec ordinateur portable, présentation en ligne de toutes les valeurs de mesures et présentation graphique de valeurs de mesures sélectionnées. Sortie des données sur disque magnétique inamovible. Raccord de 12 V et sortie de tension de 12 V pour ordinateur portable. Avec ordinateur portable, avec régulateur de débit d'air avec manomètre de haute précision 0 – 100 bar, catégorie 0.6.
16.1.5.1	Câble électrique avec connecteur étanche à l'eau sous pression (à la sonde) et connecteur pour appareil indicateur. Longueur 50 m.
16.1.5.2	Longueur 100 m.
16.1.6.1	Tuyau souple à haute pression pour opération hydraulique (conducteur double), valeur nominale 4, 500 bar, raccord à vis des deux côtés. Longueur 50 m.
16.1.6.2	Longueur 100 m.
16.1.7	Enrouleur de câble et de tuyau pour max. 100 m de ligne, modèle portable et robuste pour chantier.
16.1.8	Pompe à piston à deux étages pour opération manuelle 0 - 600 bar, avec réservoir à huile de 5 l et plaque à bornes réversible.



Pos.	Désignation
16.1.9	Tige de manœuvre en profilé en acier carré, connecteurs en longueurs uniques de 3 m. Chaque élément
16.1.10.1	Rallongement du tube de puisard, longueur 2,1 m pour ESDS 146.
16.1.10.2	Rallongement du tube de puisard, longueur 2,1 m pour ESDS 101.
16.1.11	Logiciel d'évaluation se fondant sur Excel pour systèmes d'ordinateur personnel. Sortie des modules de charge et de décharge et des valeurs de mesures et des graphiques sur imprimante. Transfert des données du système de saisie de données.