



Les forages de sondage ou d'exploration comptent parmi les méthodes d'exploration les plus fréquentes de l'ingénierie géologique et la construction de roches. Si l'on examine à côté des carottes les flancs du forage on obtient un maximum de connaissances géotechniques de ces forages de sondage. D'un côté une telle exploration est possible de manière géophysique, d'un autre côté de manière optique.

Le développement du sondage était nécessaire parce qu'on devait parfaire les carottes, spécialement dans des cas où celles-ci étaient sans résultats, parce que les roches - déconsolidées et décomposées - étaient transportées en haut, complètement percées de la couronne de fleuret et décomposées en recoupes. Mais spécialement les zones de la roche de ce genre et aussi leur exploration détaillée peuvent être d'importance géomécanique décisive.

Il y a plusieurs possibilités pour les sondages optiques de forage:

- La méthode la plus simple est un système optique se composant d'un oculaire, plusieurs tubes de rallonge et un tube d'objectif avec illumination et prisme pour le balayage.
- La deuxième méthode travaille avec une caméra vidéo miniature qui visualise l'image du flanc du forage par un miroir incliné au moniteur. Pour déterminer la direction de visée l'image d'un compas, monté dans la caméra, est mixée sur le moniteur.
- La méthode la plus moderne utilise un scanner de forage avec lequel le flanc du forage est représenté par un miroir tronconique. Les images tronconiques qui sont prises en sondant le forage donnent, mises à la file, une reproduction défigurée de la section du forage examinée. Par un redressement numérique des images à l'aide de relations géométriques une reproduction déroulée du flanc du forage se produit sur l'écran.

A l'aide du sondage optique on ne peut pas seulement observer et évaluer pétrographiquement les flancs du forage, mais aussi déterminer les plans de stratifications et de fissures d'après leur position, déterminer la largeur d'ouverture des fissures et le degré de séparation à deux dimensions.



La méthode géophysique de la visualisation des détails structuraux du flanc du forage utilise le fait que les différences de la résistance dans les roches, mais aussi les fissures induisent différentes réflexions acoustiques.

Comme principe de mesure la méthode par écho d'impulsion ou par visualiseur acoustique haute résolution (ABF) est utilisée où un transformateur piézoélectrique appliqué dans la sonde fait six rotations par seconde, émet en même temps des impulsions ultrasonores avec une fréquence d'env. 685 Hz et reçoit les échos du flanc du forage.

A l'aide d'un système d'orientation magnétique dans la sonde on peut enregistrer et visualiser le développement du flanc du forage ligne par ligne du nord au nord; une ligne correspond à une rotation du transformateur. En combinaison avec un système de mesure de profondeur un profil pareil à l'imagerie du flanc du forage se produit ainsi.

Pendant que les méthodes optiques peuvent être appliquées soit dans des forages remplis d'eau ou des forages vides, la méthode acoustique ne travaille que sous l'eau. En compensation de cet inconvénient la méthode acoustique a l'avantage que le forage ne doit pas être rincé. Aux méthodes optiques un long rinçage est absolument nécessaire, parce qu'une légère turbidité attente considérablement à la visibilité.

Aux méthodes optiques les différentes sondes de forage peuvent être utilisées jusqu'à une profondeur de 800 m. Avec le système purement optique avec oculaire (endoscope) on peut examiner des forages jusqu'à une profondeur de 34 m. Au près de cela des profondeurs jusqu'à 5000 m et plus, en même temps à de hautes températures, sont possibles avec les sondes de forages acoustiques.

Pour utiliser les systèmes pour grandes profondeurs des diamètres de forage de 101 mm au minimum sont nécessaires, avec les endoscopes on peut encore sonder des forages d'un diamètre de 30 mm sans difficultés.



Une méthode simple du sondage de forage électro-optique est notre caméra de trous de sonde BTV 51. Avec cette caméra on peut examiner des forages verticaux jusqu'à subverticaux d'un petit diamètre (à partir de 60 mm) jusqu'aux longueurs de 50 m au maximum. Des tiges de poussée permettent le sondage même dans des forages horizontaux et montants. A l'aide d'un allongement du boîtier on peut utiliser la caméra même si la stabilité du flanc du forage n'est pas garantie, p. e. dans les remplissages de tunnels de chemin de fer. Un module additionnel permet le sondage avec vue latérale, surtout utilisé pour l'observation de cavités ou d'éclatements plus grands du flanc du forage. Mais pour ce module additionnel il faut un diamètre de forage minimal de 80 mm.

La caméra de trous de sonde BTV 51 est idéal pour le contrôle qualitatif de forages ou pour examiner des forages d'injection pour y garantir le succès de l'injection. Dans des forages où on doit déterminer la direction et l'angle d'incidence de fissures nous recommandons un sondage avec la sonde vidéo ETIBS®.

L'équipement complet de la caméra de trous de sonde BTV 51 se compose des pièces suivantes (voir fig 1): Caméra avec anneau d'éclairage intégré pour une illumination optimale du flanc du forage, touret avec 50 m de câble et mesureur électrique de profondeur, adaptateur de tiges, 50 m de tiges de poussée de précision, moniteur avec affichage de profondeur, magnétoscope.



Fig 1 Composants de la caméra vidéo de trous de sonde

Caractéristiques techniques:

Diamètre du boîtier:	51 mm (71 mm avec module de vue latérale)
Longueur du boîtier:	1200 mm
Objectif:	2,1 mm ; f = 2,0
Résolution horizontale:	460 lignes TV
Balayage:	Système PAL 625 lignes à 50 Hz
Sortie vidéo:	FBAS (VHS)



On utilise la sonde de visualiseur optique de trous de sonde ETIBS® (Ettliger Total Image Borehole System) pour le contrôle optique de sondages explorateurs géologiques ou de forages de puits tubés. A ce propos la vue du flanc du forage est prise avec une caméra CCD par un miroir tronconique. Les images tronconiques qui sont prises en examinant le forage donnent une reproduction défigurée en bandes transversales mises à la file, - c'est pourquoi la sonde est aussi dénommée scanner. Son niveau est déterminé avec un compteur de profondeur électrique sur lequel le câble passe dans le forage. Fig 1 montre le schéma du système de sondage.

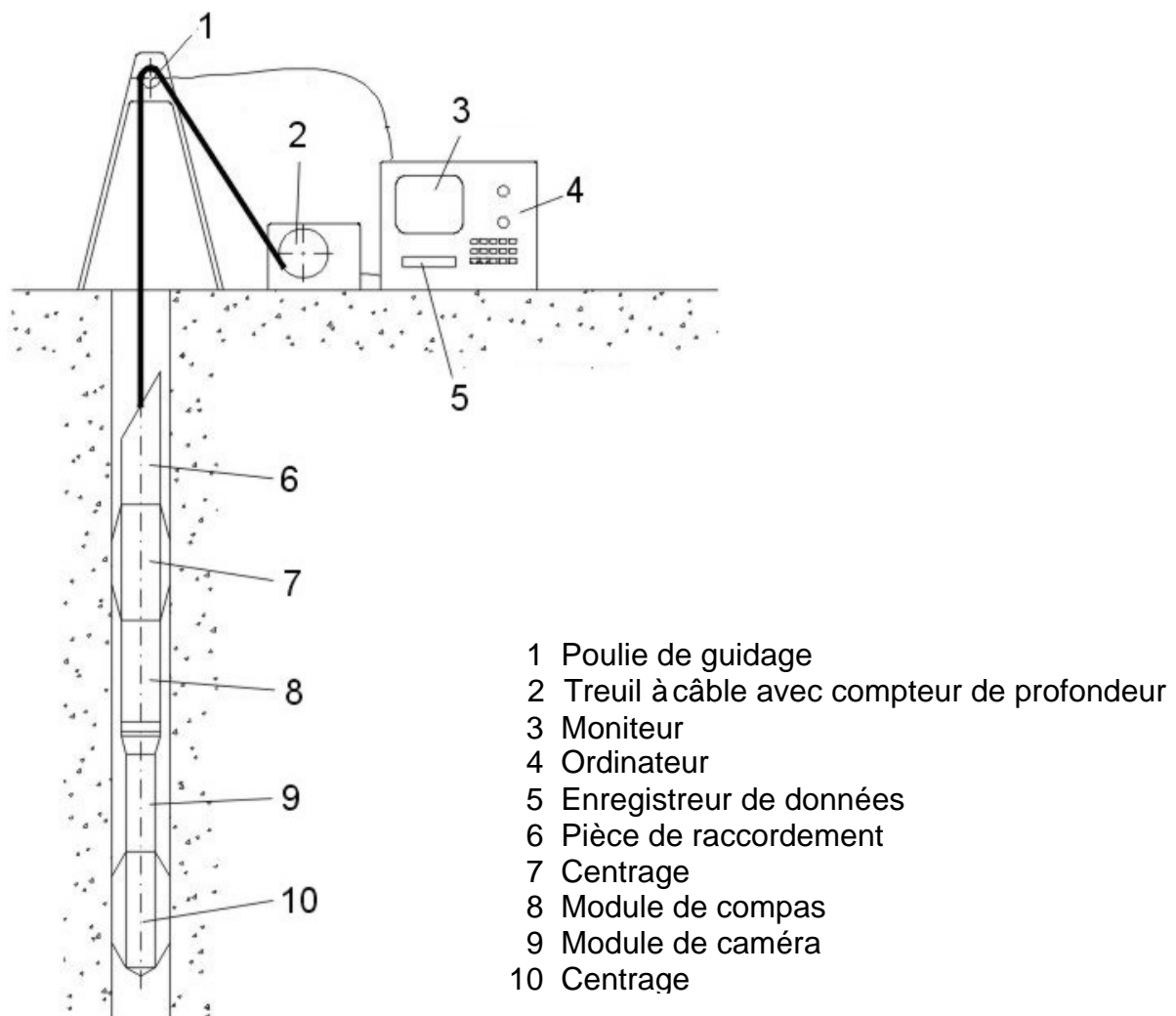


Fig 1 Schéma du système de sondage avec la sonde de visualiseur optique de trous de sonde ETIBS®



Par un redressement numérique des images à l'aide de relations géométriques une reproduction déroulée du flanc du forage se produit sur l'écran. En mesurant simultanément l'azimut par rapport à la sonde et l'inclinaison du forage la position de la figure est connue et la reproduction déroulée peut être pourvue de coordonnées géographiques.

Les éléments structuraux comme fissuration, stratification, schistosité, etc. sont aussi déroulés comme lignes d'intersection avec le forage cylindrique. A partir de leur développement ou de la position des points d'inflexion de ces courbes on peut calculer la direction et l'angle d'incidence des éléments structuraux avec un logiciel spécial et on peut mesurer la largeur d'ouverture des fissures. On peut aussi déterminer les espacements des fissures et les valeurs RQD à partir de la reproduction déroulée.

La résolution le long de l'axe du forage est de 0,2 mm, la circonférence du forage est résous avec 1200 points par ligne. A cause de l'enregistrement numérique des images il y a beaucoup de présentations spécifiques de l'utilisateur, de plus l'utilisateur même peut combiner et transformer les images en format PDF à l'aide des logiciels standards. Les données-image sont disponibles sur disque compact pour pouvoir les doubler sans perte de qualité.

En comparant la reproduction avec un étalon de couleurs on peut contrôler la solidité de la couleur de la roche. En retraitant les bitmaps la couleur peut aussi être adaptée après coup suivant une échelle standard des couleurs.

Nos expériences avec la sonde de visualiseur optique de forage ETIBS® ont montré que la sonde employée doit être adaptée au diamètre du forage à explorer.

La fissure annulaire entre la sonde et la paroi du forage doit être la plus petite possible pour obtenir une image la meilleure possible. C'est surtout important si le sondage est fait au-dessous de la nappe souterraine. Ce n'est qu'ainsi qu'il est assuré que la fissure annulaire remplie d'eau peut être traversée de la lumière de la sonde, même si l'eau est troublée par des particules en suspension.



Il y a plusieurs scanners de forage ETIBS® qui sont dessinés pour des forages d'un diamètre de 75 jusqu'à 300 mm. Le scanner de forage ETIBS® 97 n'est utilisé que dans des forage d'exploration verticaux. A cause de leur construction légère les scanner de forage ETIBS® 76 et ETIBS® avec tête interchangeable sont en outre adaptés aux forages inclinés ou aux forages au-dessus de la tête parce qu'ils peuvent être introduits dans de tels forages à l'aide des tiges de poussée.

Caractéristiques Techniques ETIBS® 97

Conditions

- Sondage de forages géologiques jusqu'à une profondeur maximale de 300 m,
- tenant une pression jusqu'à 30 bar,
- diamètre de forage jusqu'à 200 mm.

Dimensions

Module de caméra	l = 810 mm, Ø = 97 mm
Dispositif de centrage	l = 390 mm, Ø 100 - 147 mm
Dispositif de raccordement	l = 125 mm, Ø = 97 mm
Sonde complète	l = 1325 mm
Miroir tronconique	Ø 80 x Ø 30 x 25 mm

Poids

Sonde complète	env. 25 kg
----------------	------------

Optique

Résolution maximale le long de l'axe du forage	0,2 mm (dépendant de la différence entre le diamètre du forage et le diamètre du miroir)
Résolution le long de la circonférence du forage	env. 1200 points

Compas

Résolution	± 0,5 °
------------	---------

Caractéristiques Techniques ETIBS® 76

Conditions

- Sondage de forages géologiques jusqu'à une profondeur maximale de 100 m,
- tenant une pression jusqu'à 10 bar,
- diamètre de forage jusqu'à 146 mm.

Dimensions

Module de caméra	l = 390 mm, Ø = 76 mm
Module de compas	l = 450 mm, Ø = 45 mm
Dispositif de centrage	l = 290 mm, Ø 86 - 146 mm
Sonde complète	l = 1130 mm
Miroir tronconique	Ø 60 x Ø 30 x 15 mm

**Poids**

Sonde complète env. 7 kg

Optique

Résolution maximale le long de l'axe du forage 0,2 mm (dépendant de la différence entre le diamètre du forage et le diamètre du miroir)

Résolution le long de la circonférence du forage env. 1200 points

CompasRésolution $\pm 0,5^\circ$ **Caractéristiques Techniques ETIBS⁰ avec Tête Interchangeable****Conditions**

- Sondage de forages géologiques jusqu'à une profondeur maximale de 300 m,
- tenant une pression jusqu'à 30 bar (à partir de tête de caméra 96),
- diamètre de forage jusqu'à 300 mm.

DimensionsTête de caméra 70 l = 195 mm, \varnothing = 70 mmTête de caméra 96 l = 210 mm, \varnothing = 96 mmTête de caméra 142 l = 370 mm, \varnothing = 142 mmModule de caméra l = 500 mm, \varnothing = 70 mmDispositif de centrage l = 700 mm, \varnothing 75 - 300 mmDispositif de raccordement l = 125 mm, \varnothing = 70 mm

Sonde complète l = 1875 mm jusqu'à 2006 mm selon tête de caméra

Poids

Sonde complète env. 24 kg

Optique

Résolution maximale le long de l'axe du forage 0,2 mm (dépendant de la différence entre le diamètre du forage et le diamètre du miroir)

Résolution le long de la circonférence du forage env. 1200 points

CompasRésolution $\pm 0,5^\circ$

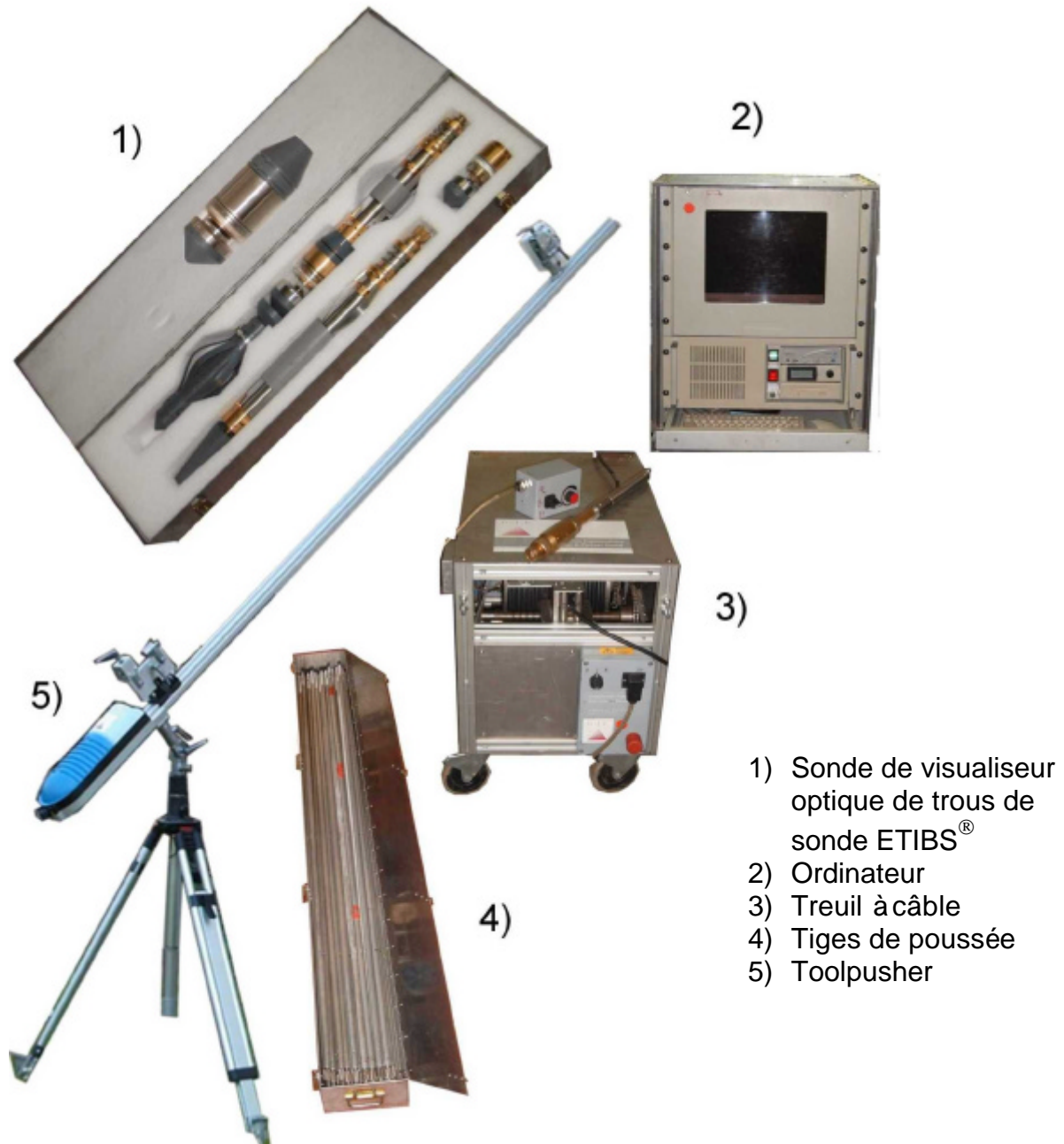


Fig 2 Sonde de visualiseur optique de trous de sonde ETIBS®

**Informations Commerciales**

- 12.2.1 Sonde pour têtes de caméra interchangeables avec compas intégré
- 12.2.2 Tête de caméra interchangeable 70
- 12.2.3 Tête de caméra interchangeable 96
- 12.2.4 Tête de caméra interchangeable 142
- 12.2.5 Dispositif de centrage pour tête de caméra interchangeable 70 et 96 dans des forages verticaux
- 12.2.6 Dispositif de centrage pour tête de caméra interchangeable 70 et 96 dans des forages inclinés, indiquez le diamètre du forage désiré s.v.p.
- 12.2.7 Dispositif de centrage pour tête de caméra interchangeable 142 dans des forages verticaux
- 12.2.8 Câble de sonde
- 12.2.9 Escabeau à trois pieds avec 2 poulies de guidage
- 12.2.10 Treuil à câble avec compteur de profondeur et guidage de câble
- 12.2.11 Tiges de poussée se composant des éléments particuliers de 2 m
- 12.2.12 Dispositif de poussée et de tirage (Tool Pusher)
- 12.2.13 Dispositif d'enregistrement et d'indication de données
- 12.2.13.1 Programme d'évaluation avec 1 jour d'instructions chez GIF



Des forages dans la zone de vieilles mines avec des galeries pas connues ou des panneaux pas documentés trouvent parfois des cavités souterraines dont les dimensions peuvent être d'une haute importance pour le planning d'un projet de construction. En forant dans des roches qui ont la tendance à karstiquer, surtout dans le Karst sulfaté et de chlorure, on trouve aussi des cavités souterraines, qui ont pour conséquence des avalanches de terre en perçant la surface. Les dimensions de ces cavités sont aussi bien impératives pour un projet de construction.

Nous pouvons vous offrir deux méthodes pour mesurer des cavités hors de forages:

- dans des forages au-dessus de la nappe souterraine **des mesures de distance au laser**
- dans des forages au-dessous de la nappe souterraine **des sondages acoustiques**

A chaque méthode l'instrument de mesure (Fig. 1) est - guidé par tiges - descendu dans le forage tubé et introduit par la couronne de fleuret dans la section de forage non-tubée qui doit être examinée. Le diamètre intérieur de la couronne de fleuret doit être au minimum 101 mm. La longueur maximale que l'instrument de mesure peut être sorti du tubage jusqu'à ce que le dispositif de centrage bas des tiges donne contre la couronne de fleuret est de 2,74 m au capteur laser et 4,68 m au sondeur acoustique.

A l'extrémité haute du tubage les tiges d'installation sont aussi tenues par un dispositif de centrage. Mais ce dispositif permet en même temps un balayage horizontal pré-déterminé des tiges et ainsi de la sonde à 360 °.

En cas du sondeur acoustique le tubage doit être soulevé d'un nombre équivalent de tronçons de tube si la cavité à examiner dépasse les hauteurs mentionnées ci-dessus parce qu'avec le sondeur acoustique on mesure des sections horizontales dans différentes profondeurs de la cavité qui, mises à la file, donnent une image spatiale de la cavité.



Les dimensions du capteur laser en direction de mesure sont tellement grandes qu'il ne passe pas la couronne d'un carotteur à câble SK6L. C'est pourquoi la tête de mesure est pivotée en l'installant dans l'axe de forage et après avoir passé la couronne de fleuret elle est tournée à l'axe de forage à l'aide d'un moteur de positionnement de la manière qu'elle mesure une section verticale de la cavité et que, en tournant les tiges, une multitude de sections verticales de la cavité est mesurée, qui, dans l'ensemble, donne une image spatiale de la cavité.

Le diamètre de la cavité à mesurer doit être au minimum 70 cm. Des cavités plus petites ne conviennent pas à notre capteur laser et notre sondeur acoustique, on les mesure mieux avec un loch à calibre. Avec le capteur laser on peut mesurer des cavités d'un rayon jusqu'à 20 m avec une précision de ± 1 cm, avec le sondeur acoustique avec une précision de ± 10 cm. La profondeur d'application du capteur laser et du sondeur acoustique est limitée à max. 100 m.



Fig 1 Instrument ultrason (à gauche) et capteur laser (à droite)



Le scanneur acoustique de forage est une conception de l'industrie pétrolière, qui est utilisé de plus en plus aussi dans l'exploration de terrain depuis la fin des années quatre-vingt. Dans les forages pétroliers souvent très profonds et rempli de boue des sondages de forage optiques n'étaient pas possible, ce qui donnait lieu à construire des scanneurs acoustiques.

En utilisant le scanneur acoustique de forage on profite du fait que des propriétés élastiques de la roche différentes mais aussi des fissures provoquent des réflexions acoustiques différentes.

Comme principe de mesure (Fig. 1) on utilise la méthode impulsion écho où un transformateur rotatif piézoélectrique placé dans la sonde émet une impulsion ultrasonore et reçoit les réflexions de la paroi du forage. Par des technologies électroniques de traitement d'images une sorte „d'image ligne“ de la paroi du forage est produite pour chaque pas de profondeur et indiquée comme reproduction déroulée. En agitant la sonde dans le forage on reçoit beaucoup „d'images ligne“ particulières qui sont composées à un aperçu général de la paroi du forage, qui peut être indiquée à trois dimensions comme reproduction déroulée ou comme carotte virtuelle.

Pour cela un système de mesure de profondeur et un système d'orientation magnétique basé sur la gravitation sont installés dans la sonde; à l'aide de ces systèmes le déroulement de la paroi du forage peut être orienté ligne par ligne du Nord au Nord et l'allure du forage (incidence et azimuth) peut être déterminée.

La méthode peut être utilisée seulement dans des forages remplis d'eau ou de rinçage. En principe déblais de forage ou milieux de support ne compliquent pas la méthode, mais les impulsions ultrasonores sont affaiblies ce qui signifie que le diamètre maximal du forage peut seulement être sondé en cas de l'eau propre. La méthode ne peut pas être utilisée dans des forages secs.



La résolution radiale du scanneur acoustique dépend du balayage de la paroi du forage et du diamètre du forage. La résolution en direction de l'axe de forage dépend de la vitesse avec laquelle la sonde est agitée dans le forage.



Fig. 1 Capteur ultrason rotatif du scanneur de forage au bain d'huile

La puissance (amplitude) et la durée de parcours des réflexions ou le signal total de la réflexion sont enregistrés. L'amplitude réagit fortement à des changements des propriétés élastiques de la roche, c'est pourquoi l'image de l'amplitude contient des informations de structure comme plan de fissure, de couche et de schistosité, espacements des fissures, degré de séparation, ouverture de fissure et banc intercalaire. Par considération par voie de calcul de l'allure du forage ces informations de structure peuvent être représentées orientées dans un repère et évaluées au niveau statistique.

Les durées de parcours des réflexions changent en fonction de la forme du forage, l'image de la durée de parcours est ainsi un loch à calibre de haute résolution. Avec cela on peut par exemple distinguer entre des fissures ouvertes et fermées et enregistrer la géométrie de forage exacte.



La résolution du scanneur de la maison Century Geophysical Corp. que nous utilisons est 5 mm le long de l'axe de forage, la circonférence du forage est résolue avec 254 points de l'image par ligne.

La méthode permet la détermination de la direction et de l'angle d'incidence de fissures prononcées et de plans de stratification et de schistosité. Elle sert à déterminer des espacements des fissures et à détecter des éclatements de paroi ou des cavités. La qualité de l'image produite de la paroi du forage n'est pas comparable avec l'image optique, d'un côté parce que la résolution en cas du scanneur acoustique est plus grosse et d'autre côté parce que l'image à fausse couleur ne donne pas de possibilité au bon œil du géologue d'identifier la roche (voir Fig. 2).

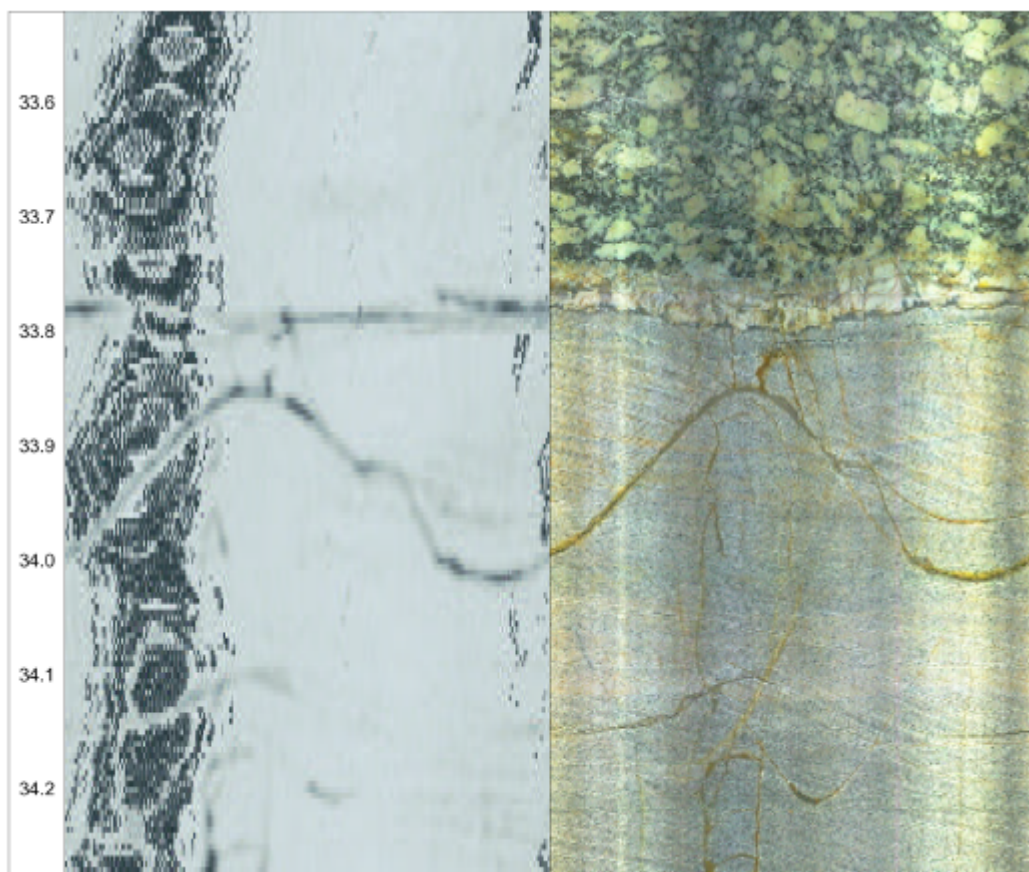


Fig. 2 Comparaison du sondage d'un forage avec scanneur acoustique (à gauche) et scanneur optique (à droite)



Pour le moment la profondeur d'action de notre équipement est limitée à 300 m. Le diamètre minimum du forage doit être 74 mm. Le diamètre maximal du forage ne doit pas dépasser 230 mm.

Caractéristiques Techniques

Conditions Générales

- Exploration des forages géologiques jusqu'à 300 m de profondeur au maximum
- Etanche jusqu'à 100 bar
- Diamètre du forage de 74 à 230 mm

Dimensions

Longueur de la sonde 193 cm

Diamètre extérieur 50,8 mm

Poids

Sonde complète 14 kg

Système d'orientation

Résolution pour inclinaison $\pm 0,5^\circ$

Résolution pour azimuth $\pm 2,0^\circ$

Résolution

- Résolution max. 5 mm le long de l'axe de forage
- Résolution par circonférence du forage 254 points de l'image