



Un œil dans votre forage

Graham Comber

Expert en diagraphie géotechnique,
Robertson Geo

Pourquoi les sondes d'imagerie de paroi sont devenues des outils majeurs dans les domaines de la recherche minière et des travaux géotechniques ?

Leader mondial dans la conception et la construction d'outil de diagraphie « slimhole », Robertson Geo dispose de ses propres outils de conception et maîtrise la construction de l'ensemble de ses outils en interne. Robertson Geo propose également des prestations de services en diagraphies partout dans le monde.

Les sondes d'imagerie de paroi de Robertson Geo sont en évolution permanente afin que nos Clients puissent disposer d'outils toujours plus performants pour répondre de façon optimale à leurs problématiques.

Les outils d'imagerie de paroi fournissent une image haute résolution « déroulée » et orientée de la paroi du forage, offrant une multitude d'informations aux géologues et aux ingénieurs géotechniciens.

- Approche très fine de la géologie,
- Organisation structurale : orientation de la stratigraphie, de la schistosité, nature des fractures et orientation
- Réorientation des carottes et contrôle des profondeurs en cas de récupération incomplète à la sortie du carottier.
- Calcul de RQD in-situ ...

En quelques clics, les sondes d'imagerie de paroi permettent de disposer de données in situ objectives et précises, de les stocker, les traiter, les analyser et les diffuser.



COMMENT FONCTIONNE LES OUTILS D'IMAGERIE DE PAROI

L'outil d'imagerie acoustique émettant des ondes hautes fréquences et réceptionnant leurs ondes réfléchies est sensible aux ruptures d'impédance acoustique rencontrées sur la paroi du forage. L'analyse reste superficielle et ne traite pas la formation au-delà de la paroi. Les roches à forte impédance renvoient un signal de grande amplitude alors que les roches plus tendres et les zones fracturées renvoient un signal atténué. Les mesures d'amplitude de l'onde réfléchie sont effectuées en continu grâce à un transducteur rotatif ou, plus souvent dans les outils « slimhole » un miroir rotatif aligné avec un transducteur fixe. Le résultat est une image de la paroi du trou de forage déroulée orientée en fonction de la profondeur avec une résolution d'environ 2 mm dans des conditions idéales. Le bord gauche de l'image du High Resolution Acoustic Televiewer (HRAT)[®] est aligné avec le nord magnétique. Les fractures et les différents plans de litage apparaissent comme des sinusoïdes dont le point le plus bas de la sinusoïde indique la direction du pendage.

Dans l'exemple de droite, le temps de transit (2ème colonne en partant de la gauche) est enregistré en même temps que l'amplitude (colonne de gauche).

L'outil HRAT[®] est devenu un outil géotechnique majeur car il fournit des images (amplitude et transit time) permettant de visualiser la qualité de la roche ainsi que l'orientation et les ouvertures des fractures.

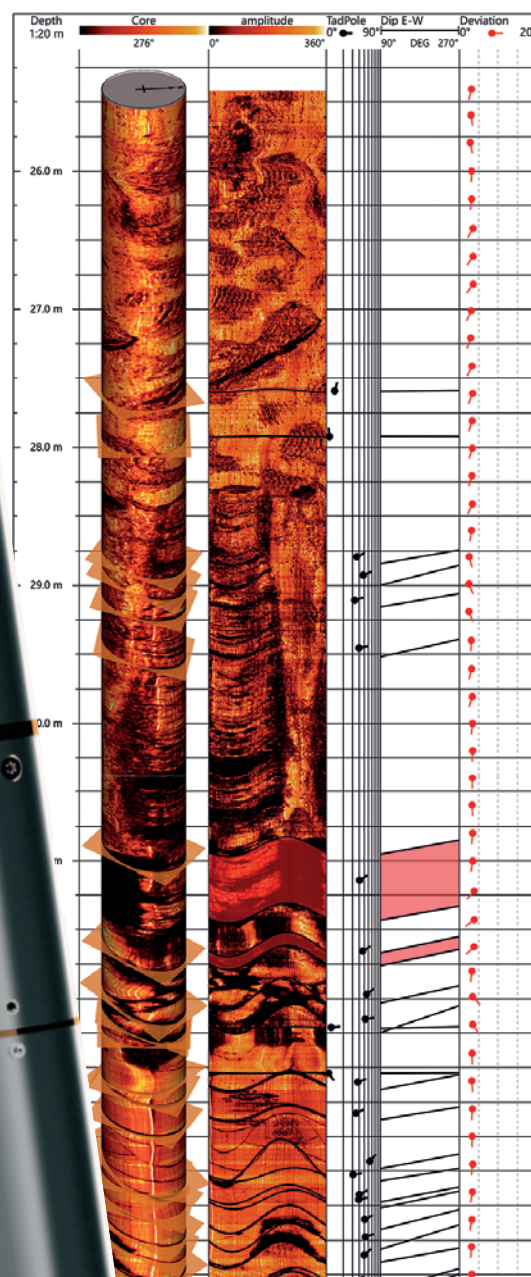
Afin d'avoir des temps de transit cohérents et une image en amplitude de bonne qualité, le centrage de l'outil est primordial. Du fait de la dispersion du signal et de la nature du fluide, la résolution de l'outil diminue avec l'augmentation du diamètre du forage.

N'oublions pas que l'outil HRAT[®] nécessite un forage rempli de fluide pour fonctionner (eau claire ou boue de forage).

Si vous devez réaliser des mesures dans des forages « secs », le High Resolution Optical Televiewer (Hi-OPTV)[®] doit être utilisé. L'image enregistrée étant optique, l'outil permet de visualiser la couleur et l'allure des couches géologiques traversées. L'outil est équipé d'un anneau de diodes qui éclaire la paroi du forage et l'image enregistrée provient de la réflexion de cette dernière sur un miroir conique. La résolution de ce type d'outil est très élevée, avec pour exemple une résolution très inférieure à 1 mm pour des diamètres de forage HQ.

L'outil d'imagerie optique fournit une image orientée haute résolution de la paroi du forage. L'information de temps de transit disponible sur le HRAT[®] ne l'est pas avec le Hi-OPTV[®].

Si l'outil passe sous la nappe phréatique, la qualité de l'image dépend évidemment de la propreté du fluide. Afin de profiter de la très grande résolution de l'outil Hi-OPTV[®], il peut être envisagé de nettoyer la paroi du trou de forage et/ou de remplacer le fluide de forage par de l'eau claire avant l'enregistrement. Dans ce cas il faudra attendre quelques heures après ce nettoyage pour que l'eau puisse décanter.



Sonde d'imagerie acoustique haute résolution (HRAT)[®], avec exemple d'acquisition.

HRAT[®]
TELEVIEWER

TECHNOLOGIE FIABLE ET EPROUVEE

Robertson Geo a fourni des sondes d'imagerie de paroi de forage et réalisé des services avec ces outils dans les environnements les plus difficiles partout dans le monde. Des parcs éoliens offshore, aux glaciers de l'Antarctique en passant par les mines souterraines ou encore pour les opérations géotechniques régulières, les outils d'imagerie de paroi se sont avérés être des outils fiables et fournissant des informations de grandes valeurs.

Le Royaume-Uni est un des leaders mondiaux du développement de parcs éoliens offshore. Dans ce domaine les informations lithologiques sont essentielles pour les ingénieurs qui conçoivent les fondations des structures supportant les dernières générations de turbines. Depuis les plateformes ou les navires de forage, la technologie d'imagerie de paroi fait désormais parti de la palette classique dont dispose les ingénieurs géotechniciens pour alimenter les outils de conception. Des outils d'imagerie HRAT® ont été récemment déployés en mer sur le parc éolien de Dudgeon (Royaume-Uni) et dans le nord-ouest de la France. D'autres mesures off-shore ont été réalisées près du rivage et à terre pour les sites de construction nucléaire de Wylfa et Sizewell B.

Partout dans le monde, l'outil d'imagerie HRAT® est utilisé sur les différents sites miniers que ce soit en phase d'exploration ou de production. Tout récemment il a été utilisé dans le développement d'une mine d'or souterraine en Irlande du Nord pour le groupe DALRADIAN où la délimitation des systèmes de failles souterraines était cruciale pour le projet.

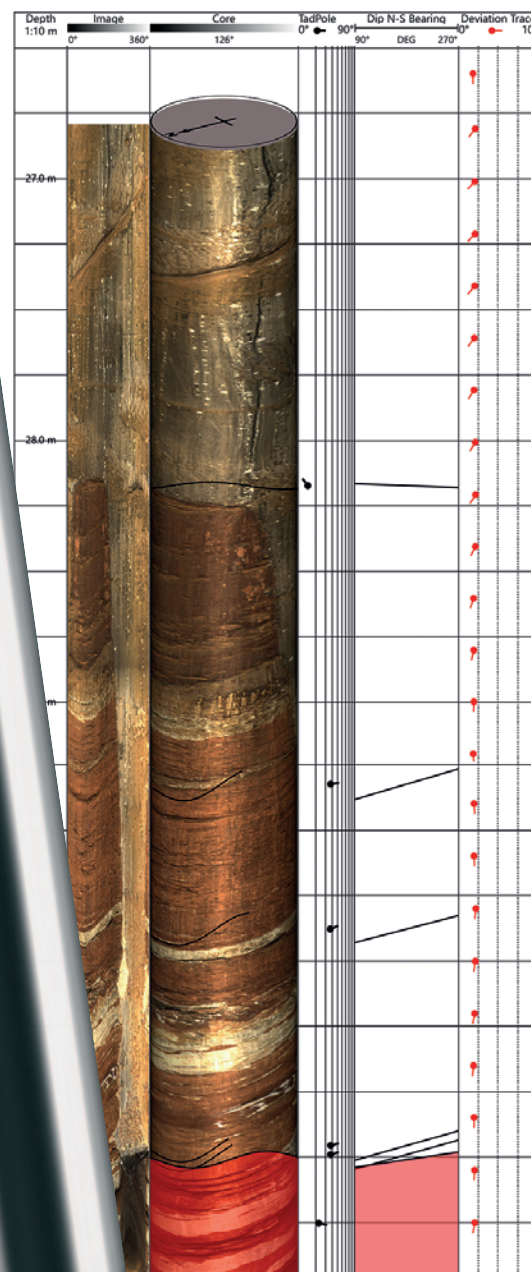
Des outils d'imagerie ont été régulièrement déployés sur les plus grands projets d'infrastructure du Royaume-Uni, notamment Canary Wharf, HS2, Queensferry Crossing et Lower Thames Crossing. La facile mise en œuvre, la précision de l'information obtenue et le coût limité de cette technologie en font un moyen de reconnaissance incontournable même pour des projets de petites tailles. Les outils d'imagerie de paroi sont largement déployés dans le monde entier pour des questions géotechniques telles que la stabilité des pentes.

Une unité portable avec un Hi-OPTV® a été récemment utilisé avec succès sur les glaciers en Antarctique à des fins de recherche pour visualiser les bandes de glace spécifiques dans des forages.

A PROPOS DU FORAGE

Les conditions de forage jouent évidemment un rôle important dans la qualité des images quelles soient ultrasoniques ou optiques. Il est donc important que le personnel de forage soit impliqué dans le processus. Les forages carottés fournissent classiquement les meilleures conditions d'acquisition du fait d'une paroi plus « lisse ». Les outils d'imagerie fournissent de bonnes images dans des trous de forage de 60 mm à 300 mm, la plage optimale étant de 75mm à 150mm.

En fonction de la sonde d'imagerie que vous choisirez, il est important que le forage soit préparé au mieux pour réaliser les mesures dans les meilleures conditions. Concernant l'imagerie optique, dans la mesure du possible, un rinçage du forage à l'eau claire sera demandé pour une meilleure acquisition. En fonction de la nature des terrains, un temps de décantation plus ou moins long



Sonde d'imagerie optique haute résolution (Hi-OPTV®), avec exemple d'acquisition.

Hi-OPTV®
TELEVIEWER



sera nécessaire pour permettre aux particules en suspension dans le fluide de se déposer. Ce temps de décantation est quasi immédiat pour les roches dures et peut durer jusqu'à quelques jours pour les roches plus tendres et les couches sédimentaires non consolidées. L'outil d'imagerie acoustique fonctionne uniquement en forage rempli de fluide et fonctionne parfaitement dans les boues légères.

En cas d'instabilité de la paroi du forage, la diagraphie peut être réalisée en plusieurs passes, l'acquisition des images est alors réalisée par tronçons. Afin de connaître l'organisation géologique traversé par le forage et les zones instables (lits de gravier par exemple) et de minimiser la possible perte de données, la discussion avec les foreurs, les géologues et le personnel géotechnique est importante. Il est alors simple de prévoir un scénario de dé tubage par étapes successives permettant de fournir un trou de forage ouvert tout en protégeant les zones problématiques. Il est important pour chaque tronçon d'enregistrer une zone de recouvrement qui permettra de rabouter les différents morceaux plus facilement lors du traitement des données ainsi que de s'assurer de la bonne profondeur des images finales.

La mise en place de cette méthode de diagraphie par tronçons nécessite que l'outil d'imagerie avec ses centreurs puisse passer dans le train de tiges et à travers le carottier pour accéder à la partie ouverte du forage. Ne pas oublier que le forage ouvert en dessous sera de plus grand diamètre que l'intérieur du tubage de protection. Il faut donc bien réfléchir au réglage des centreurs afin qu'ils soient suffisamment souples pour passer dans le tubage mais qu'une fois dans le trou ouvert ils puissent jouer leur rôle de centrage de l'outil, c'est un vrai challenge ! Dans la mesure du possible il faut essayer d'avoir des diamètres de tubage et de trou ouvert les plus proches possibles pour minimiser les soucis de centrage de l'image (exemple Geobor S).

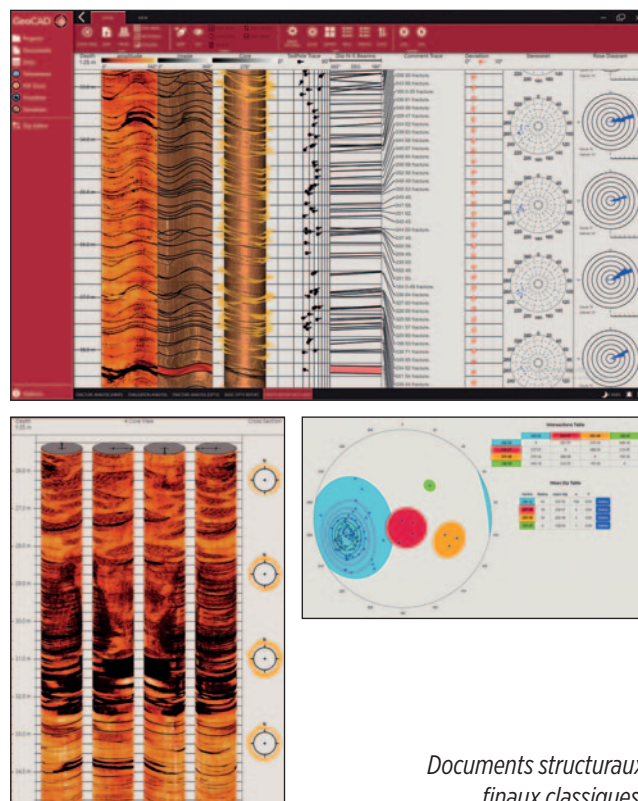
INFORMATIONS EN TEMPS REEL

En complément des images remontant en temps réel durant l'acquisition, l'image peut être visualisée en détail dès l'enregistrement terminé. Il peut être instructif pour les foreurs de visualiser l'imagerie, car elle leur fournira des informations précises sur l'organisation des terrains traversés et leur permettra de mieux comprendre les aléas auxquels ils ont dû faire face durant la phase de forage. La visualisation rapide des images sur le terrain fait désormais parti des exigences courantes du personnel géotechnique et les géologues devant prendre des décisions sur d'éventuelles mesures complémentaires, et/ou d'éventuelles modifications des programmes de forage.

TRAITEMENT DES DONNEES

Les images fournies par les sondes Hi-OPTV® et HRAT® sont orientées, classiquement par rapport au nord magnétique. L'inclinaison et l'azimut du forage sont également enregistrés afin de procéder à la correction des données structurales.

Le traitement des données des images acoustiques et optiques est normalement effectué de façon similaire. Un « log structure » placé



*Documents structuraux
finaux classiques.*

au-dessus de l'image permet le pointé manuel des sinusoides par l'opérateur ; ces sinusoides virtuelles sont ajustées lors du pointé pour se superposer au mieux aux structures géologiques réelles. Le géologue peut ensuite classer les différents sinusoides par famille (fracture, faille, lit sédimentaire, filon...). Le log de sinusoides obtenu doit ensuite être corrigé avec les données d'azimut et de pendage (enregistrées par la sonde durant le log) pour être ramené dans un référentiel vertical. Les données structurales corrigées de la déviation du forage sont alors utilisables par le géologue ou le structuraliste. Plusieurs représentations structurales sont ensuite possibles : tadpoles, stéréogrammes, rosaces de pendage et d'azimut, diagrammes de densité, histogrammes ... Ces différentes représentations peuvent reprendre les données structurales sur toute la hauteur du forage mais également n'être utilisées que sur certaines zones d'intérêts décidées par le géologue.

Il est également possible d'utiliser l'imagerie pour réorienter les carottes : Il est possible de recréer grâce aux données d'imagerie une carotte virtuelle. Celle-ci vous permettra de tracer un repère d'orientation sur la vraie carotte. Ce point peut s'avérer très important si vous souhaitez faire des analyses structurales fines sur vos carottes ou des essais mécaniques.

L'outil d'imagerie HRAT® permet également grâce au traitement du transit time, d'obtenir une mesure très précise du diamètre du forage en fonction de la profondeur. Cette information peut s'avérer très utile pour visualiser et quantifier les zones de lavage / cavité dans le trou de forage et ainsi calculer les volumes de ciment à injecter lors des cimentations.

"Geobor" est une marque déposée d'ATLAS COPCO

"HQ" est une marque déposée de Boart Longyear International Holdings