

## DIAGRAPHIES INSTANTANÉES EN RECHERCHE D'EAU

### INSTANTANEOUS LOGGING IN WATER SURVEY

DEVEAUX\*, MARTIN\*, RECH\*, ALESSANDRELLO E.\*\*\*, LEMOINE Y\*\*

#### Résumé

Ces diagraphies réalisées pendant l'exécution du forage permettent de mesurer de façon continue, divers paramètres. Ceux-ci sont utilisés pour la recherche de zones fissurées et perméables dans les calcaires, granites ou grès, là où les diagraphies électriques ou gamma sont peu efficaces.

Les auteurs décrivent les différents types de matériel, leur utilisation et les divers paramètres mesurés. Plusieurs cas concrets sont décrits concernant des formations géologiques variées. Il apparaît alors clairement que les diagraphies instantanées valorisent tout sondage de recherche d'eau en zone à perméabilité de fissures ; elles s'avèrent un outil particulièrement utile avant la réalisation d'ouvrages définitifs.

#### Summary

The continuous logging of mechanical parameters in real time, during drilling, is discussed. The parameters are used in the investigation of fractured and permeable zones in limestone, granite or sandstone. Geophysical loggings such as electrical or natural lack efficiency in these cases. Authors describe different types of equipment their use and different parameters measured. Several actual experiences refer to various geological formations. It then becomes obvious that instantaneous mechanical parameter logging enhances ground water drilling in fissure permeability media. Here is a highly useful tool before boring ultimate holes.

#### 1. Préambule

Le degré de fissuration étant un des facteurs qui conditionnent les potentialités aquifères d'une formation cristalline ou calcaire, les hydrogéologues ont recherché les techniques les mieux adaptées à la localisation de ces fissures.

Dans un premier temps, les méthodes naturalistes, relevant de l'observation, ont seules été utilisées. Par la suite, on a fait appel à la technique géophysique avec plus ou moins de succès, suivant les cas.

Si les méthodes géologiques et géophysiques ont permis de diminuer sensiblement le nombre d'échecs, ceux-ci demeurent encore élevés. Compte tenu du coût d'un sondage de reconnaissance, de son équipement, même provisoire, et des traitements spéciaux (acidification par exemple), on a recherché des méthodes directes peu onéreuses, permettant de confirmer la nature du phénomène recherché avant de réaliser l'ouvrage d'essai classique.

Ces méthodes font appel à des techniques de forage très rapides, marteau fond de trou ou wagon drill, d'autant moins coûteuses que le diamètre choisi est faible et compensent le manque de précision et de finesse des observations par la réalisation de diagraphies instantanées.

L'enregistrement d'un certain nombre de paramètres permet de caractériser parfaitement l'état de fissuration d'un massif.

#### 2. Description de l'appareillage

Le matériel se compose d'un coffret comprenant l'électronique de traitement commun à toutes les diagraphies et

divers capteurs. L'enregistreur permet, suivant le type de matériel, de suivre l'évolution simultanée de 2 à 4 paramètres préalablement sélectionnés, nécessitant l'utilisation de capteurs appropriés.

##### *Capteur de vitesse d'avancement*

Bridé sur un point fixe de la machine, il détecte le déplacement d'un organe mécanique quelconque lié à l'avancement (tête d'injection, marteau, etc ...).

##### *Capteur de pression d'injection*

Branché sur la conduite de refoulement de la pompe de circulation, il détecte les variations de pression.

##### *Capteur de la poussée de l'outil de forage*

Branché sur la conduite alimentant le vérin de poussée ou le moteur pneumatique d'entraînement de la chaîne, il capte les variations du poids exercé sur l'outil de foration.

*Capteur d'enregistrement du couple appliqué au train de tiges* par l'intermédiaire de la pression admise dans le moteur hydraulique ou pneumatique de rotation.

Ce matériel de diagraphie peut être mis en œuvre très rapidement et ne nécessite, dans la plupart des cas, aucune modification ou adaptation mécanique de n'importe quel type de matériel de sondage.

#### 3. Paramètres mesurés

##### A. Diagraphie de la vitesse de pénétration

La vitesse de pénétration est une donnée qui a toujours été mesurée par les équipes de forage. Elle permet de caractéri-

\* Direction départementale de l'Agriculture des Deux-Sèvres, France

\*\* Compagnie de Prospection Géophysique Française, Rueil-Malmaison, France

ser grossièrement la formation traversée; l'intervalle de terrain concerné par chaque mesure est trop important, la mesure qui en résulte intégrant de nombreux phénomènes.

La diagraphie de la vitesse de pénétration permet, elle, d'obtenir une image nettement plus fidèle grâce à une finesse de mesure voisine du millimètre. L'appareillage permet d'ailleurs à l'opérateur de fixer a priori l'intervalle de terrain sur lequel il souhaite calculer la vitesse instantanée d'avancement (de 1 mm à 20 cm).

Cette caractéristique permet de mettre en évidence toute variation de la nature du terrain traversé: changement lithologique, fissuration plus ou moins importante, ...

Très souvent, afin de mieux caractériser la cause responsable de la variation enregistrée, il est nécessaire de mesurer simultanément la pression sur l'outil et la percussion réfléchie.

#### B. Diagraphie de la pression sur l'outil

La vitesse d'avancement étant liée également à la pression que le sondeur exerce sur l'outil, il est utile d'en enregistrer les variations. Cette mesure est surtout une diagraphie de contrôle de la régularité des opérations de forage et son utilité dépend du type de machine de sondage utilisé.

#### C. Diagraphie de la percussion réfléchie

C'est une diagraphie de la dureté de la formation. Elle n'est utilisée qu'avec des outils de forage utilisant la percussion (marteau fond de trou ou marteau perforateur).

Les ondes de percussion émises par le marteau sont pour une part, absorbées par la roche et pour une autre part, réfléchies par la formation et véhiculées en surface par le train de tige. Cette diagraphie permet donc de différencier les roches dures à haute percussion (calcaires, grès indurés, granites) des roches tendres ou molles (argiles, marnes) qui absorbent une grande partie de l'énergie. Grâce à sa grande sensibilité, l'enregistrement permet de différencier par exemple, des calcaires fissurés remplis d'argile de ceux présentant des fissures propres.

Dans le cas de vides francs et conséquents, les phénomènes observés varient avec le type d'outil utilisé :

- le marteau fond de trou ne rencontrant aucun obstacle, ne percute pas et la percussion réfléchie est presque nulle (elle est par contre très grande dès le premier obstacle),
- le marteau perforateur percute au maximum de sa puissance et la percussion réfléchie est forte (elle devient très faible si le "vide" est rempli d'argile).

#### D. Diagraphie de pression d'injection

Lorsque l'analyse s'effectue à l'aide d'un fluide de circulation, cette diagraphie permet de repérer les horizons à pertes d'injection. Elle peut être considérée comme une diagraphie de fissuration ou d'aptitude à l'absorption.

#### E. Diagraphie du couple de rotation

Cette diagraphie met en évidence les formations connues pour créer des difficultés de rotation sur l'outil de foration, telles que marnes collantes, terrains gonflant à l'eau, etc. . .

Suivant les phénomènes que l'on cherche à analyser et le type de sondeuse utilisée, on choisira les paramètres les mieux adaptés. C'est ainsi qu'en recherche d'eau, lors de tests rapides au marteau fond de trou, l'on pourra se contenter d'enregistrer les vitesses de pénétration et la percussion réfléchie, à condition toutefois de veiller à ce que le

sondeur maintienne, tout au long de l'essai, une pression sur l'outil constante.

### 4. Description de quelques cas concrets

#### A. Forages destructifs réalisés à l'aide d'outils percutants

Les paramètres les plus utilisés sont alors la vitesse d'avancement, la percussion réfléchie et accessoirement, la poussée sur l'outil.

##### *Socle cristallin*

Les forages ont été réalisés au marteau fond de trou. Les diagraphies de vitesse d'avancement et de percussion réfléchie permettent de mettre en évidence les zones fissurées (avancement rapide) et sans remplissage argileux (percussion réfléchie "haute fréquence" et très contrastée). Dans le détail, les phénomènes sont plus complexes. Sur l'exemple fourni par la fig. 1, les fissures bien individualisées (vers 20 m) se traduisent par une chute de la percussion (le marteau ne percute pas) dans un contexte relativement calme. Les horizons aquifères ne dépassent pas 20-22 mètres de profondeur.

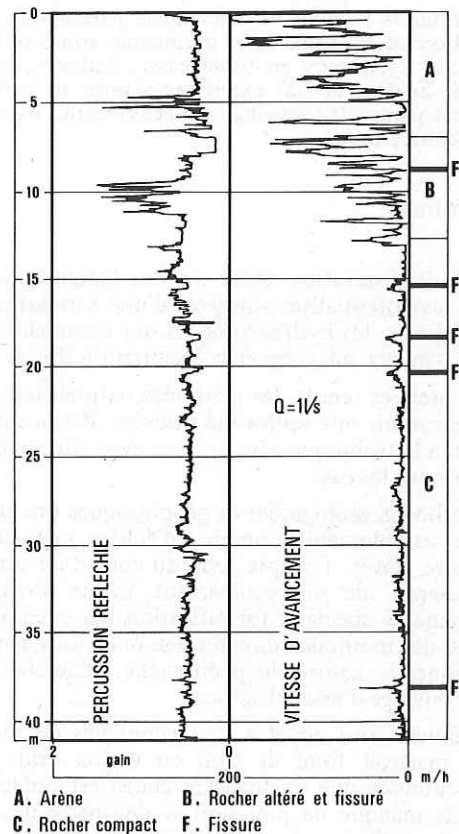
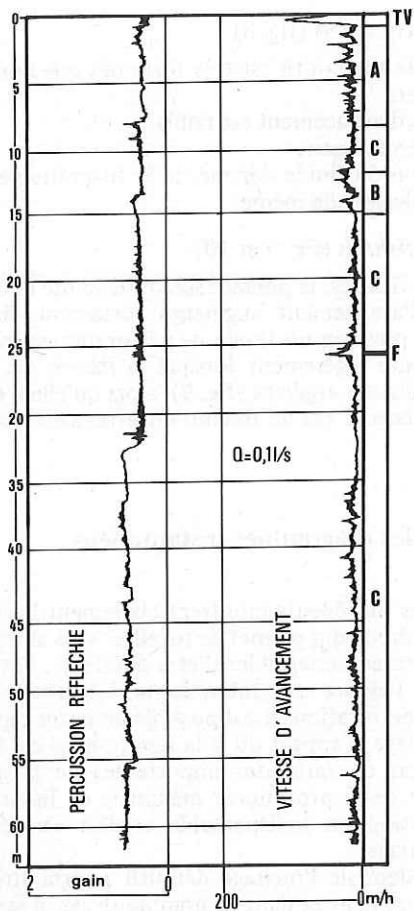


Fig. 1: Granite fissuré

La fig. 2 illustre le cas d'un rocher compact très peu fissuré n'ayant fourni que très peu d'eau. On observe une vitesse d'avancement et une percussion réfléchie très calmes.

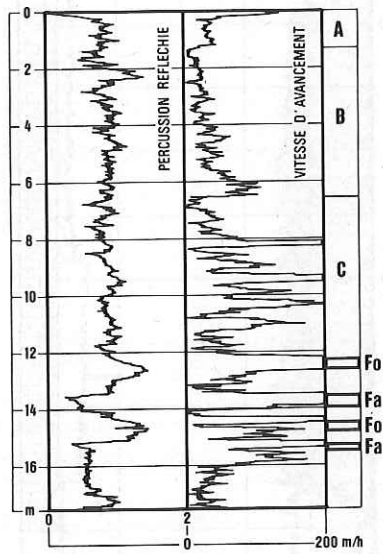
##### *Calcaire, craie*

La fig. 3 illustre un forage au wagon drill dans une série marno-calcaire. Les fissures ouvertes (vitesse forte, percussion forte) se distinguent très nettement des fissures argileuses (vitesse forte, percussion faible).



A et B. Rocher plus ou moins altéré et fissuré  
 C. Rocher compact F. Fissure

Fig. 2 : Granite compact



A. Remblai B. Argile avec passées calcaires  
 C. Calcaire très fracturé  
 Fo. Fissure ouverte Fa. Fissure argileuse

Fig. 3 : Calcaires de St Germain-en-Laye

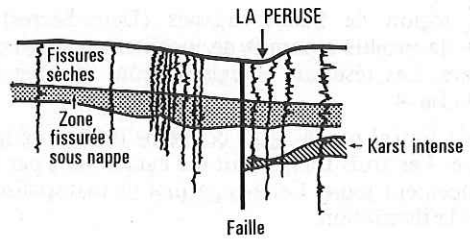
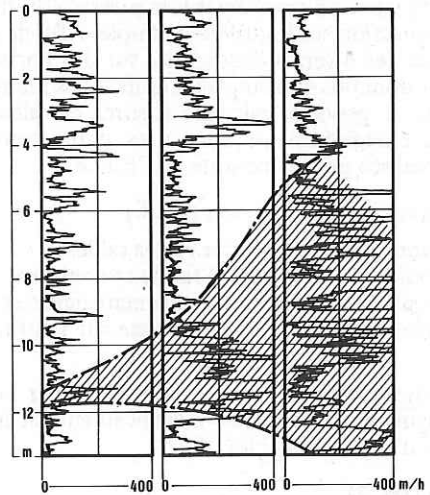
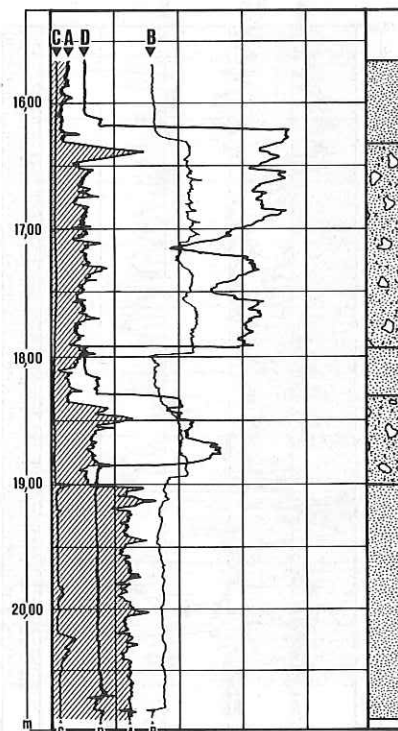


Fig. 4 : Karst de Sauze-Vaussais



DIAGRAMMES DE VITESSES D'AVANCEMENT

Fig. 5 : Evolution de la fissuration



A Vitesse d'avancement B Couple  
 C Pression du fluide de perf. D Pression sur l'outil

Fig. 6 : Sables avec galets et graviers

Dans la région de Sauze-Vaussais (Deux-Sèvres), toute une série de projets a permis de localiser un karst profond et aquifère. Les résultats enregistrés sont résumés et illustrés par la fig. 4.

L'exemple fourni par la fig. 5 concerne la craie de la région parisienne. Les trois forages ont été caractérisés par la vitesse d'avancement seule. Celle-ci permet de matérialiser l'évolution de la fissuration.

### B. Forages destructifs réalisés à l'aide d'un outil rotatif

Ce type de forage est utilisé dans les séries géologiques où les outils percutants sont inadaptés. Les paramètres mesurés sont alors la vitesse d'avancement, la pression du fluide d'injection, la pression sur l'outil et le couple. Afin de comparer les réponses des diverses diagraphies sur des horizons différents, nous donnons 4 exemples relatifs à des marnes, sables avec galets et graviers, calcaires fissurés et calcaires compacts. Ces enregistrements sont tirés d'une campagne de sondages réalisée pour le compte de l'E.D.F.

#### 1) Sables avec galets et graviers (fig. 6)

Nous pouvons observer, au niveau des sables :

- une pression du fluide (eau) faible et continue,
- une vitesse d'avancement relativement élevée et régulière,
- le couple de rotation et la poussée sur l'outil, régulière et faible.

Au droit des sables et graviers, la pression sur l'outil et le couple augmentent, la vitesse d'avancement est irrégulière, la pression d'eau reste faible.

#### 2) Marnes (fig. 7)

La pression du fluide est beaucoup plus forte que pour les sables, ainsi que le couple et la pression sur l'outil. La vitesse d'avancement est plus faible que précédemment.

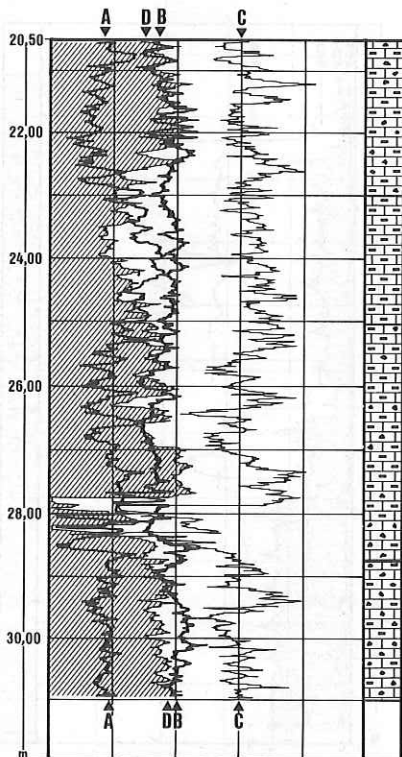


Fig. 7 : Marnes

#### 3) Calcaires compacts (fig. 8)

- La poussée sur l'outil est très forte dès que l'on pénètre dans le rocher.
- La vitesse d'avancement est faible.
- Le couple varie peu.
- La pression du fluide dépend de la fissuration et non de la matrice calcaire elle-même.

#### 4) Calcaires fissurés (fig. 9 et 10)

Au droit des fissures, la poussée sur l'outil chute rapidement, la vitesse d'avancement augmente fortement, le couple diminue. La pression du fluide de perforation se maintient, voire augmente légèrement lorsque la fissure est occupée par un remplissage argileux (fig. 9), alors qu'elle a tendance à diminuer dans le cas de fissures ouvertes sans remplissage (fig. 10).

### 5. Intérêt des diagraphies instantanées

Les exemples précédents montrent clairement les possibilités de la méthode qui permet de localiser sans ambiguïté les niveaux fracturés susceptibles d'être aquifères. Cette localisation dans l'espace est intéressante à plusieurs titres :

- en cours de foration, il est possible de tester rapidement et par soufflage, l'apport dû à la fissure mise en évidence,
- dans le cas de variations importantes de la nappe, la connaissance de la profondeur maximale de fissuration ou de karstification est indispensable et doit être comparée à la cote d'étiage,
- la profondeur de l'ouvrage définitif pourra être définie plus rigoureusement et dans de nombreux cas, il sera inutile d'envisager un captage aussi profond que le forage de reconnaissance.

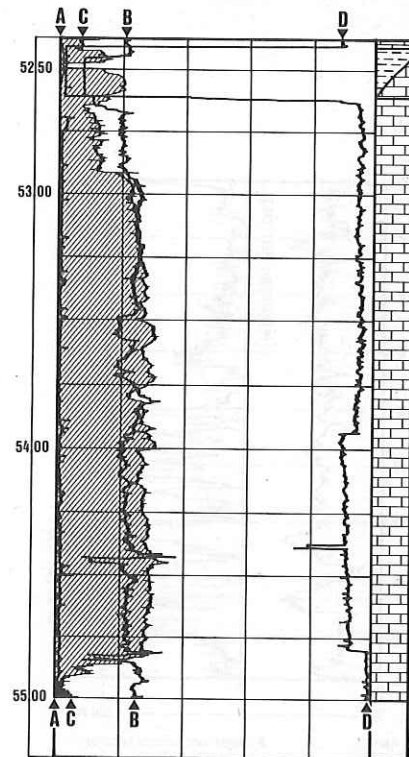


Fig. 8 : Calcaires compacts

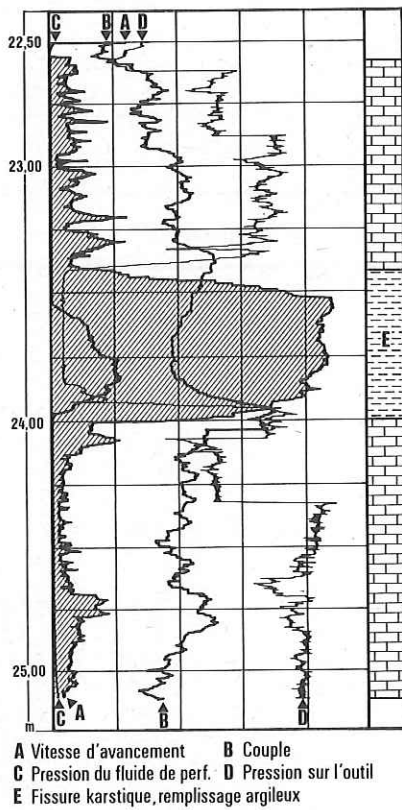


Fig. 9 : Fissure avec remplissage argileux

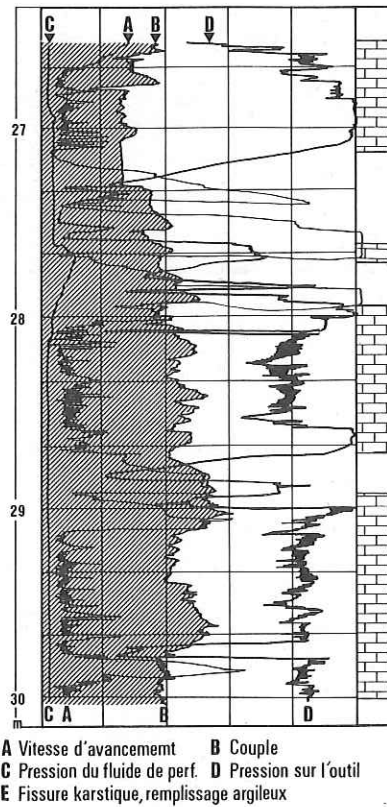


Fig. 10 : Fissure sans remplissage

En ce qui concerne le coût d'une opération d'enregistrement, nous nous sommes référés à une étude comparative réalisée par E.D.F. Elle concernait plus de 1800m de sondages carottés, plus de 2000m de sondages destructifs simples et plus de 2700m de sondages destructifs avec enregistrement des paramètres. Cette étude a montré que le coût d'un sondage avec enregistrement :

- n'est que de 19% supérieur à celui d'un sondage destructif simple,
- est égal à 44% du coût "sec" d'un sondage carotté.

## 6. Conclusions

L'apparition de la technique de forage au marteau fond de trou a permis de faire progresser d'une façon spectaculaire

la recherche d'eau dans les réservoirs massifs. Malheureusement, cette méthode rapide et peu onéreuse ne fournit que peu de renseignements au stade de la reconnaissance. Les enregistrements instantanés proposés permettent de valoriser utilement les forages de recherche et ce, pour un coût relativement modeste.

## Références

- D.D.A. des Deux-Sèvres, Charente, Vienne, Loire : rapports C.P.G.F.  
E.D.F. : rapport interne 1977.  
LUTZ S.A. : notice technique.