

General report topic 1 / Rapport général thème 1

DIAGRAPHIES ET PARAMETRES DE FORAGE

DIAGRAPHIES AND BOREHOLE PARAMETERS

LAKSHMANAN J.*

I. - Introduction

17 communications ont été classées dans le thème I, diagraphies et paramètres de forage. La limite entre ce thème et le thème II consacré à la géophysique étant parfois imprécise, il convient de signaler que certains papiers classés dans le thème II auraient tout aussi bien pu figurer dans la rubrique "diagraphies", particulièrement celles concernant les mesures de forage à forage.

Il est curieux de noter en passant que sur ces 17 communications, 14 sont françaises, alors que la proportion est nettement plus faible pour l'ensemble des thèmes. Je ferai une autre remarque d'ordre général : la firme Schlumberger, d'origine française, mais maintenant internationale, et plus grand spécialiste mondial des diagraphies, est comme d'habitude, absente du monde du génie civil, de l'eau, et de façon générale, des diagraphies de moins de 1 000 mètres de profondeur.

En se livrant à un peu d'analyse statistique, fondée sur les figures jointes aux communications, il est intéressant de faire une comparaison avec l'industrie pétrolière. En effet, la plupart des diagraphies développées en génie civil sont issues des diagraphies pétrolières que nous avons bien souvent cherché à miniaturiser et à simplifier, avec parfois quelques années de retard. J'ai pris donc comme référence l'ouvrage de R. Desbrandes [1], écrit en 1968, et qui fait encore autorité.

En dehors de diagraphies de production et des diagraphies consacrées au contrôle des tubages, on peut avec R. Desbrandes, distinguer 5 familles de diagraphies. Si on met face à face l'analyse statistique faite sur les communications du congrès et une analyse semblable faite sur l'ouvrage de R. Desbrandes, on aboutit aux résultats suivants :

Il est étonnant de constater la désaffection des méthodes électriques auprès des spécialistes du génie civil, au profit des méthodes diverses et surtout des diagraphies instantanées. Ce transfert peut s'expliquer par trois causes :

- remplacement de mesures liées à la perméabilité (résistivité, PS) par celles liées au comportement mécanique (vitesse d'avancement, dureté)
- difficulté de maintenir en boue des forages dans des terrains très fracturés ou ébouloux

II. - Analyses des communications

II.1 - Communication concernant la résistivité

La seule communication traitant majoritairement de la résistivité (et même la seule mentionnant cette méthode) est celle de MM. B. Dethy, du bureau d'études Tractonel à Bruxelles, et B. Neerdael, du Studiecentrum voor Kernenergie, à Mol (Belgique), intitulée "Corrélations entre Diagraphies et Caractéristiques Géotechniques d'une Argile Raide Tertiaire".

Il s'agit d'un projet de stockage de déchets radioactifs en Belgique à Mol dans l'argile de Boom. Deux campagnes de sondages accompagnés de diagraphies classiques (résistivité, polarisation spontanée, gamma naturel, gamma-gamma, température et diamètre) ont montré :

- de très bonnes corrélations entre le log de résistivité et la présence de petites passées plus silteuses situées dans la "zone de transition" entre -168 et -190, au-dessus de l'argile de Bomm étudiée entre -190 et -268.

- * Diagraphies de résistivité et de polarisation spontanée
- * Diagraphies nucléaires
- * Diagraphies soniques et sismiques
- * Diagraphies instantanées (vitesse d'avancement, etc.)
- * Divers (au symposium : diamètre, température, inclinométrie, dureté)

Desbrandes	SYMPOSIUM		
	(Figures)	Nombre de papiers	
		mentionnant	dominant
39,1 %	1,4 %	1	1
31,0 %	26,3 %	10	5
14,9 %	11,0 %	4	2
5,4 %	30,6 %	7	5
9,5 %	30,7 %	7	4

* Ingénieur Géologue ENSG, Directeur Général Compagnie de Prospection géophysique Française. 77, avenue Victor Hugo - 92500 - RUEIL-MALMAISON.

— l'intérêt de la disposition d'électrodes dite "normale" à petit espacement (20 ou 43 cm) pour l'étude de bancs silteux très minces.

II.2 — Diagraphies nucléaires

Il s'agit, soit de mesures passives (mesure du rayonnement gamma naturel ou "gamma ray"), soit de mesures actives, où un récepteur mesure la radioactivité artificielle transmise par le terrain soumis au rayonnement d'une source.

Cinq communications peuvent être classées dans cette catégorie, deux autres font état assez largement de ces méthodes, et d'autres encore, les citent.

a) Le papier intitulé "*Les Diagraphies et les Essais de Mécanique des Sols en Place*" par MM. J. Bru, J.L. Ledoux, J. Ménard et E. Waschkowski, des Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées de Bordeaux, Rouen et Blois, examine d'abord les diagraphies instantanées et leur interprétation qualitative pour évaluer l'état d'un ouvrage d'art ou d'un rocher de fondation. Les auteurs citent l'utilisation des diagraphies *gamma* naturel pour ausculter des ouvrages anciens en béton de chaux, la chaux atténuant la radioactivité naturelle des sables et graviers.

Après un rappel des diagraphies *gamma-gamma* (mesure de la densité) et *neutron-neutron* (mesure de la teneur en eau), des appareils récents autoforés sont rappelés :

— le *pénétrömètre-densimètre* où la pointe d'un pénétromètre statique est surmontée d'une sonde $\gamma\gamma$.

— la *sonde gamma-gamma autoforée*.

Il serait souhaitable que les auteurs nous indiquent si ces appareils sont des prototypes ou s'ils sont en service régulier.

b) Dr. H.L. Jérémic de l'Université Laurentienne de Sudbury, Canada, nous présente "*Coal Strength Evaluation from Boreholes*". Il classe le charbon en quatre catégories de résistance, en fonction de :

— logs géophysiques : densité (*gamma-gamma*) et *diamètreur*, 2 paramètres étroitement liés.

— observations "phénoménologiques" du forage, tels que sa stabilité, émissions sonores, blocage, ou fermeture par serrage.

Il obtient de bonnes corrélations avec les observations faites dans la mine (résistance et déformation des piliers) en signalant l'inefficacité des sondages carottés pour la prévision du comportement géomécanique du charbon.

c) La communication de MM. J.P. Baron et J. Cariou, du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées à Nantes, est intitulée "*Diagraphies des Eléments Si, Al, Fe et Ca, en Génie Civil*".

Pour le silicium, l'aluminium et le fer, la méthode, développée aux Etats-Unis il y a plus de 10 ans, mais restée à ma connaissance, assez expérimentale, est fondée sur la mesure du rayonnement γ émis lorsqu'on irradie le terrain par des neutrons. C'est la méthode dite d'*activation*.

Après des tests sur fûts en laboratoire, des mesures *in situ* ont été réalisées à l'aide d'un prototype encore fort encombrant. Les mesures sont fournies sous forme d'un log, avec un pas discret de 20 cm, en coups par seconde (cps). Une bonne concordance avec la géologie apparaît.

Il serait souhaitable que les auteurs nous fournissent quelques précisions sur la transformation des cps en teneurs, et sur la précision.

Un log de teneur en fer, avec le même principe, est signalé. Des essais de mesure de la teneur en Ca, avec un principe légèrement différent, ont également été réalisés.

d) La communication de MM. T.W. Hagan et I.M. Gibson (Golder Associates, Australie), intitulé "*Using Geophysical Logs in Highwall Blast Design*" montre l'intérêt de diagraphies pour l'*optimisation des plans de tir* pour les mines de charbon à ciel ouvert.

La bonne connaissance de la position et de l'épaisseur des bancs, de la compacité et de la *vitesse de propagation du son* de chaque banc et de l'écartement des joints et des fractures, permet de définir la *rippabilité* éventuelle du terrain.

En cas de mise en œuvre d'explosifs, on peut prévoir l'écartement des trous de tir, leur profondeur et leur diamètre, ainsi que la position de la charge. Cette connaissance est acquise par la mise en œuvre de 4 diagraphies : *diamètreur*, *gamma*, *gamma-gamma* et *sonique*.

Il serait intéressant de savoir s'il s'agit d'une application régulière, ou au contraire expérimentale, de ces 4 logs à l'étude de ce problème de plans de tirs, et quel en est le bilan économique.

e) M.J. Cariou, déjà cité plus haut, traite des "*Diagraphies de Densité et de Teneur en Eau, Application au Suivi de la Congélation d'un Sol*". Il s'agit des diagraphies classiques *gamma-gamma*, *neutron-neutron* et *gamma* naturel appliquées au contrôle de la *congélation des sols* pour la construction du métro de Bruxelles. Après des étalonnages pour corriger l'effet du tubage et celui du coulis entourant ce dernier, il s'est avéré que le log N-N montrait :

— l'augmentation de la teneur en eau du terrain à l'état naturel (4 %) vers le terrain congelé après injection d'eau (20 %).

— la possibilité de suivre en un point fixe, l'évolution du front de l'onde lors d'une injection d'eau.

Les mesures ont permis d'adapter le processus d'injection et de congélation.

II.3 — Diagraphies soniques et sismiques

On peut distinguer parmi ces diagraphies, 3 familles de méthodes, de la plus fine à la plus globale :

— les mesures *soniques* ou acoustiques, d'échelle décimétrique, avec émission en continu de trains d'ondes de haute fréquence.

— les mesures *microsismiques*, d'échelle métrique, avec émetteur de chocs plaqués à la paroi, et mesures point par point.

— le *carottage sismique*, identique à la précédente, mais avec émetteur fixe en tête ou à la surface, et récepteurs mobiles (méthode microsismique globale décrite notamment par C. Bordet *et al.* [4]).

— les méthodes sismiques par transparence ("cross hole") placées dans ce symposium dans le thème géophysique.

Deux communications sont consacrées à ces méthodes, deux autres les citent.

a) Communication de MM. F. Lebreton (Institut Français du Pétrole) et P. Morlier (Université de Bordeaux I), intitulée "*Une Diagraphie de Perméabilité par Méthode Acoustique*". Partant d'une *sonde acoustique* classique, à un récepteur, les auteurs calculent un indice I_c à partir de la forme de l'*onde de compression*. Ic est le rapport entre l'amplitude séparant le 2^e et le 3^e pics, de celui du 1^{er} pic. Cet indice est proportionnel au logarithme de la *perméabilité*. Dans les milieux fissurés où la perméabilité n'est pas liée à la porosité, l'indice I_c apporte un renseignement qui ne peut être atteint que par des essais de débit.

b) MM. J.P. Puech et A. Guenoun (Scetauroute) et H. Havard et P. Bioche (Laboratoire Régional de l'Équipement, Angers) décrivent "*L'Apport de la Diagraphie Microsismique à l'Évaluation des Déblais Rocheux*".

En vue de la prévision des modes de terrassement de déblais rocheux, la mesure en forage des vitesses microsismiques est un complément à la *sismique réfraction* de surface, notamment lorsque les vitesses ne croissent pas avec la profondeur. Les mesures sont faites point par point à l'aide d'un émetteur de chocs et 2 récepteurs distants de 39,5 et 69 cm, avec aussi, diagraphies instantanées et mesure du γ naturel. L'appareil développé par le LRE d'Aix-en-Provence s'est inspiré de mon premier prototype construit par C.P.G.F. en 1970 (J. Allard et J. Lakshmanan) [3].

Après définition d'une stratégie de reconnaissance, des tests en vraie grandeur sont décrits, où les diagraphies microsismiques ont fourni une bonne corrélation avec les engins de terrassement, contrairement à la sismique réfraction.

J'exprimerai ici le regret que la sismique réfraction ne semble pas avoir été réinterprétée après les étalonnages microsismiques.

II.4 – Diagraphies instantanées

Les *diagraphies instantanées* sont les mesures de paramètres physiques faites en temps réel pendant l'exécution du forage, les paramètres étant transmis par le train de tige (percussion réfléchie) ou mesurés à partir des organes de la sondeuse (vitesse d'avancement, pression sur l'outil, pression du fluide, couple...). On les oppose aux *diagraphies différées*, réalisées par descente de sondes diverses dans le trou de sondage après terminaison de celui-ci.

J'ai classé 5 communications dans cette catégorie, mais deux autres évoquent également ces techniques. Le développement récent de ces méthodes en France est considérable. Au dernier Congrès International des Grands Barrages, le Groupe de Travail Français que j'avais l'honneur d'animer, leur avait consacré une très grande part dans son rapport [2] sur les nouvelles techniques de reconnaissance.

a) La communication de MM. J.P. Hamelin et J. Levallois (Solétanche Entreprise) et P. Pfister (Solexpert International) est intitulée "*Enregistrement des Paramètres de Forage : Nouveaux Développements*".

Depuis 1981, l'appareil Enpasol a été rendu numérique. Jusqu'à 8 paramètres peuvent être stockés sur *cassettes magnétiques*, en vue d'un traitement sur le chantier ou au bureau. Des formules permettent de définir et de calculer instantanément, des paramètres composés, tels que l'énergie de rotation $D = K C.W/V$ (C = couple, W = vitesse de rotation, V = vitesse instantanée d'avancement). Les résultats de deux chantiers sont décrits, On peut imaginer le vaste avenir qui s'ouvre devant de telles méthodes d'enregistrement numériques et comment de tels enregistrements auraient pu faciliter la tâche de Cailleux et Toulement, ou de Flepp et Goguel.

b) MM. R. Deveaux, X. Martin et M. Rech (Direction Départementale de l'Agriculture des Deux-Sèvres) et mes collègues de C.P.G.F., E. Alessandrello et Y. Lemoine, dans leur communication intitulée "*Diagraphies Instantanées en Recherche d'Eau*" démontrent l'intérêt de tels enregistrements pour la reconnaissance des *aquifères en milieu fissuré*, à l'aide de foreuses à marteau fond de trou.

Dans de tels terrains, les diagraphies différées classiques électriques ou gamma naturel ne permettent que d'éliminer les couches argileuses. Par contre, seules les différencient les

roches compactes des *zones fissurées aquifères* dans les *calcaires*, les grès ou les granites.

Les auteurs montrent l'intérêt pour le marteau fond de trou, de coupler les mesures de vitesse avec l'enregistrement de la *percussion réfléchie* (Vibralog). Depuis 7 ans, l'enregistrement de ces deux paramètres est devenu systématique dans les forages de recherche d'eau dans les Deux-Sèvres.

c) MM. J.B. Cailleux et M. Toulement, du Laboratoire Régional de l'Est Parisien, décrivent "*La Reconnaissance des Cavités Souterraines par Méthodes Diagraphiques*" en proposant d'*étalonner* les diagraphies de *vitesse d'avancement* par *simulation de vide* dans les conditions réelles du chantier.

Ils confirment l'influence du type de machine et de tous les paramètres de forage (*pressions du fluide, pression sur l'outil*). Certaines machines, trop sophistiquées, sont inadaptées. Les *vrais vides* se différencient souvent des cavités remblayées par des vitesses dépassant 1 000 m/h.

Les auteurs insistent sur l'importance du contexte lithologique et sur l'intérêt de coupler les enregistrements de vitesse avec ceux de la radioactivité naturelle. Enfin, ils reprennent en l'améliorant, une méthode que j'ai développée à C.P.G.F. avec M. J.-C. Erling, pour la *prévision des quantités à injecter*, à partir des vitesses d'avancement. Un exemple concret, le comblement de carrières de calcaire lutétien, illustre la méthode.

d) Dans l'article intitulé "*Utilisation des diagraphies en forage pour la localisation des fuites à travers un barrage en terre*", B. Schneider (Coyne et Bellier) décrit l'utilisation des *diagraphies instantanées* Lutz pour l'*auscultation d'un barrage au Chili* (Paloma). Les paramètres choisis ont été la poussée sur l'outil (comme contrôle), la *pression du fluide*, la *vitesse d'avancement* et la *vibration réfléchie*.

Étalonnés sur des sondages carottés, les enregistrements ont permis de fournir des coupes interprétées et de calculer l'ordre de grandeur de la *perméabilité* des divers horizons. L'auteur montre le gain de temps et d'argent réalisé, par rapport à des sondages carottés.

e) MM. G. Flepp et B. Goguel du bureau Coyne et Bellier, décrivent un autre exemple d'application des diagraphies instantanées à la reconnaissance d'une fondation de barrage, dans l'article intitulé "*Barrage de Cheliff : Utilisation de Corrélations entre Paramètres pour une Reconnaissance de Site plus efficace*". Des *corrélations statistiques* ont été réalisées entre la *vitesse d'avancement* et les *paramètres géotechniques* suivants :

- Dans les sables : résistance dynamique, résistance de pointe statique et S.P.T.
- Dans les argiles, SPT et pression limite

Les enregistrements ont permis de limiter à 25 % le pourcentage de sondages carottés.

II.5 – Mesures diverses : dureté et inclinométrie

Deux articles concernent des mesures liées à la *dureté des parois de forage* : le Saignofor et l'obtention d'empreintes. Deux autres papiers décrivent l'utilisation de l'*inclinométrie* pour l'étude de *glissements*.

Signalons enfin que deux communications déjà analysées évoquent accessoirement le *diamètreur* et la *thermométrie*.

a) MM. H. Heraud et M. Livet (Laboratoire Régional de l'Équipement, Clermont-Ferrand) dans leur communication intitulée "*Prises d'empreintes dans les Forages : Application à la Reconnaissance des Massifs Rocheux*",

décrivent une méthode nouvelle permettant de visualiser les parois d'un forage. Un appareil dilatable descendu dans un sondage, plaque à la paroi un film déformable qui conserve l'empreinte des discontinuités de la paroi. L'appareil est muni d'un *compas magnétométrique* permettant de connaître sa position.

Un exemple compare l'analyse structurale par canevas de Wulf fait sur les affleurements de surface et celui obtenu en analysant les empreintes en forage.

b) La deuxième communication ayant trait à la dureté est due à M.J. Fine, du Centre de Mécanique des Roches de Fontainebleau. Intitulée "*Mesure de la Résistance des Terrains dans un Sondage : le Saignofo*", elle décrit un appareil nouveau permettant d'évaluer la *résistance à la compression in situ*, à partir de l'énergie nécessaire pour réaliser une petite *saignée à la paroi* d'un forage. Un vérin hydraulique appliqué à la paroi du forage deux pics, par l'intermédiaire de chariots parte-outils. Un engin de traction hydraulique permet ensuite de tirer la sonde hors du sondage ; les 2 pics découpent alors 2 saignées suivant des génératrices. Un capteur de force permet de mesurer l'effort de traction, approximativement proportionnel à la résistance à la compression.

Divers exemples dans les mines de fer et les carrières souterraines sont cités, l'un avec une bonne corrélation du Saignofo avec la résistance à la compression sur l'échantillon.

c) L'inclinométrie appliquée à l'étude des glissements est décrite par Messieurs B. Pincet, G. Cartier et G. Pilot (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), dans l'article intitulé "*Mesures en Place des Mouvements de Versants Naturels*".

L'inclinomètre TC 40 comprend une torpille (même principe que ceux déjà commercialisés et décrits par J-P. Aste) avec 2 capteurs d'inclinaison (servo-accéléromètres), qui coulisse à l'intérieur d'un tube carré en aluminium de 40 mm de côté. Le tube est scellé au fond du forage. Des mesures dans la partie scellée permettent de contrôler la précision des mesures. Celle-ci est améliorée d'abord par la *double mesure en opposition* où l'on compare les résultats obtenus sur 2 faces opposées du tubage, puis par une analyse statistique permettant l'évaluation d'un intervalle de confiance. Deux exemples réels sont décrits.

d) La deuxième communication consacrée à l'*inclinométrie* est due à M. J-P. Aste (B.R.G.M., Lyon): "*Le Développement Actuel des Techniques Inclinométriques en France dans le Domaine du Génie Civil et des Travaux Publics*".

L'auteur décrit un des nombreux inclinomètres commercialisés, à servo-accéléromètre, descendu dans une torpille dans un tube rainuré en aluminium. Les conditions d'une bonne mesure sont décrites. On aboutit alors à une demi-largeur de l'intervalle de confiance de 0,6 mm pour 25 000 mesures au Col d'Evires.

L'*automatisation du traitement* des données est décrit, puis celle de leur *saisie automatique* sur le terrain (par microprocesseur et mémoire). Le prototype utilisé par le B.R.G.M., construit en 1981, est maintenant opérationnel.

III. — Discussion

J'ai cherché à regrouper autrement les communications. On peut en effet distinguer :

- les prototypes mesurant des *paramètres nouveaux* :
 - le Saignofo de J. Fine

- les empreintes de H. Heraud et M. Livet
- la diagraphie d'activation de J-P. Baron et J. Cariou

• *l'amélioration* de méthodes connues et leur informatisation :

- l'atténuation des signaux sismiques (F. Lebreton et P. Morlier)
- l'étalonnage des diagraphies instantanées par simulation de vides (J.B. Cailleux et M. Toulemont)
- l'inclinométrie de B. Pincet *et al.*
- l'Enpasol de J.P. Hamelin *et al.*
- l'inclinomètre MK3 décrit par J-P. Asté

• les *applications nouvelles* ou améliorées de méthodes connues :

- diagraphies différées pour l'exploitation du charbon à ciel ouvert de T.W. Hagan et I.M. Gibson
- diagraphies nucléaires pour le contrôle de la congélation des sols (J. Cariou)
- diagraphies différées pour l'évaluation de la résistance du charbon (M.L. Jeremic)
- la microsismique en forage remplaçant la sismique réfraction pour les études de terrassement (J.P. Puech *et al.*)
- diagraphies instantanées pour la recherche d'eau et notamment, avec le marteau fond de trou (R. Deveaux *et al.*).

• les *corrélations* entre diagraphies et résultats géologiques ou géotechniques :

- entre résistivité et caractéristiques géotechniques de l'argile (B. Dethy et B. Neerdael)
- entre $\gamma\gamma$ et pénétromètre statiques (J. Bru *et al.*)
- entre diagraphies instantanées et sondages carottés (B. Schneider)
- entre diagraphies instantanées, SPT, pénétromètres statiques et pressiomètres (G. Flepp et B. Goguel)

Il me semble souhaitable de distinguer quelques communications qui me paraissent particulièrement intéressantes et pour lesquelles il serait intéressant d'écouter des commentaires complémentaires des auteurs :

- parmi les prototypes nouveaux : la très originale diagraphie d'activation de MM. Baron et Cariou, malgré son caractère de prototype, peu opérationnelle.
- pour l'amélioration des méthodes connues : la recherche de vides par diagraphies instantanées et leur simulation sur chantier de MM. Cailleux et Toulemont ; leurs idées claires et simples me paraissent particulièrement intéressantes.
- pour les applications nouvelles de méthodes classiques : l'optimisation des plans de tirs par MM. Hagan et Gibson.
- pour les corrélations entre diagraphies instantanées analogiques et géotechniques, les résultats obtenus au barrage du Cheliff par MM. Flepp et Goguel
- pour l'informatisation : les méthodes digitales exposées ici pour les diagraphies instantanées par J-P. Hamelin *et al.* ou développées récemment par J. Lutz.

Je pense que les prochaines années nous apporteront un important développement des techniques digitales. Qu'il me soit permis à ce propos de présenter ici une contribution personnelle à ce symposium qui va dans ce sens ; un exemple récent des enregistrements microsismiques digitaux obtenus par la méthode globale, où un traitement approprié du signal permet de mettre en évidence des ondes de tubes créées par réflexion sur les zones fracturées ou poreuses, rencontrées par le forage. J. Hunter et C.F. Huang [5] ont montré que l'amplitude de ces ondes de tube était liée à la porosité du niveau réflecteur. (fig. 1).

Je voudrais également faire état de travaux récents, non publiés à ce Symposium, réalisés par Electricité de France, et auxquels la C.P.G.F. a participé, sur un important chantier de centrale nucléaire. Il s'agissait de localiser des zones altérées ou karstiques dans un massif calcaire. Des corrélations intéressantes ont été obtenues entre :

- diagraphies instantanées
- logs de gamma naturel
- microgravimétrie de surface

Il a également établi une "grille de décodage" statistique des diagraphies instantanées permettant de passer d'un type de machine à l'autre, à condition de disposer de 15-20 enregistrements pour chaque machine. En effet, les réponses, en vitesse d'avancement notamment, diffèrent très nettement suivant les machines. Ces résultats récents seront certainement développés plus en détail prochainement.

Pour conclure, et pour démarrer la discussion qui va suivre, je vous livrerai une réflexion d'ordre économique ou politique. J'ai remarqué et apprécié l'importante contribution des laboratoires français des Ponts et Chaussées (7 communications sur 17 !). Comment cette recherche considérable servira-t-elle l'ensemble de l'industrie ? Je formule

le souhait qu'elle soit menée d'une façon moins isolée et que de ce fait, sa rentabilisation soit moins lente.

References

- [1] DESBRANDES R. (1968) : Théorie et interprétation des diagraphies. Editions Technip, Paris.
- [2] Groupe de Travail du Comité National Français (1982) : Nouvelles Techniques de Reconnaissance. 14^e Congrès des Grands Barrages, Rio de Janeiro.
- [3] ALLARD J. et LAKSHMANAN J. (1971) : Le carottage sismique : moyen d'étude de la fissuration des roches. Symposium Soc. International de Mécanique des Roches, Nancy.
- [4] BORDET C., DELETTE P., SIGISMOND J., PECKER A., BERTRAND Y. et LAKSHMANAN J. (1982) : Détermination *in situ* des propriétés dynamiques du rocher pour les projets de centrales nucléaires. 4^e Congrès de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, New Delhi.
- [5] HUNTER J. et HUANG C.F. (1982) : The "tube-wave" method of estimating *in-situ* rock fracture permeability in fluid-filled boreholes. Séminaire de l'OCDE sur les reconnaissances géophysiques appliquées au stockage des déchets radioactifs dans les massifs rocheux, Ottawa.

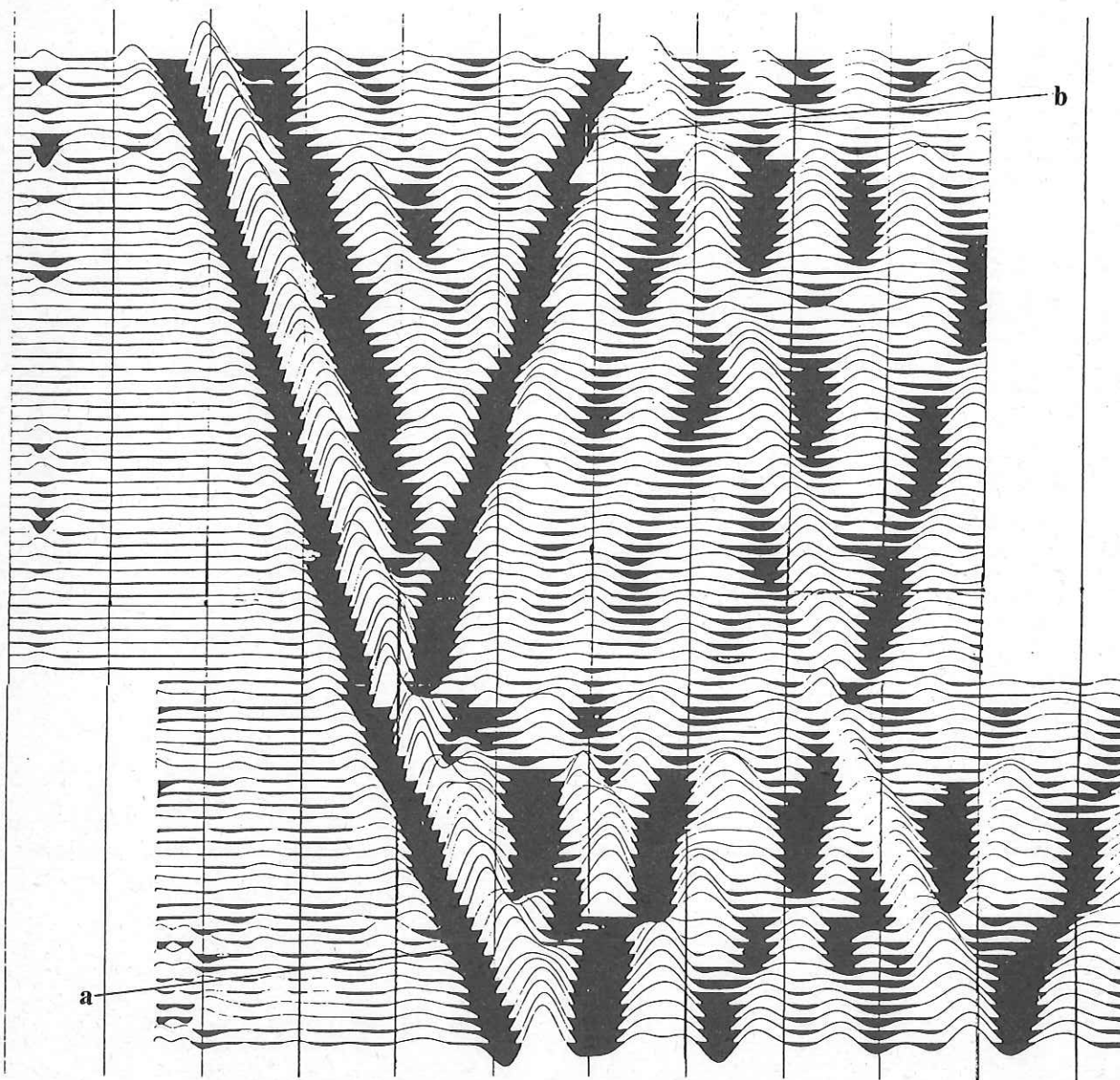


Fig. 1 : Carottage microsismique : a) ondes directes ; b) : ondes de tube réfléchies