

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 24619

(54) **Méthode de détermination de la perméabilité d'une formation.**

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). **G 01 V 1/40; E 21 B 47/00, 49/00;
G 01 N 15/08, 29/00.**

(22) Date de dépôt..... **31 décembre 1981.**

✓ (33) (32) (31) **Priorité revendiquée : EUA, 2 janvier 1981, n° 222,102.**

✓ (41) **Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 27 du 9-7-1982.**

(71) **Déposant : Société dite : MOBIL OIL CORPORATION, résidant aux EUA.**

(72) **Invention de : Khalid A. Alhilali et Joseph Zemanek, Jr.**

(73) **Titulaire : Idem (71)**

(74) **Mandataire : Cabinet Beau de Loménie,
55, rue d'Amsterdam, 75008 Paris.**

La présente invention se rapporte à une méthode de diagraphie en puits par voie acoustique et en particulier à une méthode pour déterminer la perméabilité d'une formation rocheuse.

5 Il est bien connu que des mesures de conductivité et de porosité d'une formation rocheuse sont importantes pour déterminer si des hydrocarbures s'y trouvent, ces hydrocarbures étant trouvés sous forme de fluides non conducteurs dans les formations rocheuses poreuses. 10 Il est également bien connu que l'on ne peut généralement pas extraire les hydrocarbures d'une formation rocheuse poreuse à moins que cette formation ne soit également perméable. A ce jour, aucun appareil connu ne permet de mesurer avec précision la perméabilité 15 d'une formation rocheuse in situ. En conséquence, une fois détectés les hydrocarbures, il faut généralement obtenir une carotte latérale d'une formation donnée pour pouvoir mesurer sa perméabilité en laboratoire. Cette technique demande du temps et une dépense importante. 20

On connaît bien également les techniques de diagraphie en puits par voie acoustique et la possibilité d'application de ces techniques pour déterminer la perméabilité d'une formation a été prédite par Rosenbaum 25 dans l'article "Synthetic Microseismograms : Logging In Porous Formations (Microsésismogrammes synthétiques : Diagraphie dans les formations poreuses)", Geophysics Volume 39 Numéro 1 (Février 1974).

Rosenbaum a étudié numériquement le cas idéal d'un 30 forage rempli d'un fluide non visqueux surmonté par une formation poreuse et qui se conforme à la théorie de Biot. Son étude a montré que l'effet de la mobilité du fluide dans les pores sur la réponse calculée est importante et peut se mesurer avec un outil de diagraphie 35 approprié. Il a prédit de plus que l'amplitude relative

de l'onde tubulaire produite par un outil acoustique présentant une réponse sur une large bande de fréquence dépendrait de la perméabilité de la formation.

5 En réaction aux prédictions de Rosenbaum, au moins un essai a été fait pour utiliser des outils de diagraphie acoustique standard pour déterminer la perméabilité. Dans un document intitulé "Profils de perméabilité obtenus par diagraphie acoustique", par J. J. Staal et J.D. Robinson, et présenté à la 52ème Conférence Technique annuelle de la Société des Ingénieurs du Pétrole de A.I.M.I., tenue à Denver, Colorado, 9-12 Octobre 10 1977, il a été indiqué qu'il était possible de détecter une corrélation entre la perméabilité et l'amortissement de l'onde tubulaire au moyen d'une sonde acoustique standard Schlumberger présentant une distance 15 entre l'émetteur et le récepteur allant jusque 1,524 m.

Alors qu'il serait possible d'utiliser des outils de diagraphie acoustique standards pour déterminer la perméabilité, un besoin existe pour une amélioration 20 des techniques de détermination de cette perméabilité.

En conséquence l'invention réside en l'un des aspects d'une méthode de détermination de l'imperméabilité d'une formation comprenant les phases de :

(a) faire parcourir un forage à un outil comportant 25 des moyens d'émission d'énergie acoustique basse fréquence ;

(b) faire émettre des impulsions aux dits moyens d'émission ;

(c) détecter ladite énergie acoustique à un premier 30 récepteur présentant une réponse en fréquence, dans les conditions du forage, entre 0,1 KHz et 30KHz, ledit récepteur étant couplé aux dits moyens d'émission par un câble d'une longueur supérieure à 1,524 m ; et,

(d) déterminer l'amplitude des ondes tubulaires 35 détectées par ledit récepteur en un certain nombre d'emplacements dans ledit forage.

Selon un autre aspect, l'invention réside en une méthode pour déterminer la perméabilité d'une formation comprenant les phases de :

5 (a) faire parcourir un forage à un outil comportant des moyens d'émission d'énergie acoustique depuis au moins 1 kHz jusque 20 kHz ;

(b) faire émettre des impulsions aux dits moyens d'émission ;

10 (c) détecter ladite énergie acoustique à un premier récepteur d'un type présentant un cylindre de matériau piézoélectrique comportant des flasques d'extrémité qui assurent l'étanchéité des deux extrémités dudit cylindre, ainsi qu'un conduit, à travers l'un desdits flasques d'extrémité, qui transmet les changements de
15 pression ambiante mais non les changements de pression dynamique, ledit récepteur présentant une réponse en fréquence entre 0,1 kHz et 30 kHz, ledit récepteur étant couplé aux dits moyens d'émission par un câble d'une longueur supérieure à 1,524 m ; et,

20 (d) déterminer l'amplitude des ondes tubulaires détectées par ledit récepteur en un certain nombre d'emplacements dans ledit forage.

Lorsque l'on suit la méthode de l'invention, on peut observer des modifications d'amplitude des ondes
25 tubulaires en l'un des emplacements retenus dans le forage par rapport à un autre quelconque desdits emplacements. Cette modification de l'amplitude de l'onde tubulaire donne alors une mesure de la perméabilité de la formation.

30 De préférence, le récepteur est couplé aux moyens d'émission par un câble d'une longueur d'environ 4,57 m. De préférence, on prévoit un second récepteur où on détecte l'énergie acoustique, ce second récepteur étant du même type que le premier récepteur mentionné
35 et étant placé à une distance d'environ 6,1 m des moyens

d'émission. Lorsque l'on utilise le second récepteur mentionné ci-dessus, le rapport de l'amplitude des ondes tubulaires détectée par le premier détecteur et de l'amplitude des ondes tubulaires détectée par le second détecteur peut s'observer en chacun des emplacements retenus dans le forage. Les modifications du rapport mentionnées ci-dessus fournissent également une mesure de la perméabilité de la formation étudiée par diagraphie.

Selon un autre aspect important de l'invention, la phase de détection mentionnée ci-dessus s'accomplit au moyen d'un récepteur d'un type présentant un cylindre de matériau piézoélectrique avec des flasques d'extrémité qui assurent l'étanchéité des deux extrémités du cylindre. Un conduit à travers l'un des flasques d'extrémité transmet les modifications de pression ambiante mais non les modifications de pression dynamique dans le cylindre. La longueur et la surface de section droite correctes du conduit s'obtiennent en ajustant à la presse un tube de la longueur et du diamètre intérieur désirés dans une ouverture dans l'un des flasques d'extrémité.

Selon une autre réalisation importante de l'invention, les moyens d'émission et les récepteurs mentionnés ci-dessus ne sont pas situés dans un carter d'une seule pièce mais sont mécaniquement couplés l'un à l'autre uniquement au moyen de câbles.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre d'un exemple de réalisation et en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 représente un schéma d'un système de diagraphie acoustique en puits permettant de mettre en oeuvre une méthode de détermination de la perméabilité d'une formation rocheuse selon un exemple de l'invention ;

la figure 2 est une coupe de l'un des récepteurs utilisés dans le système représenté sur la figure 1 ;

les figures 3 et 4 sont des enregistrements de trains d'ondes normalisés obtenus en utilisant le système de diagraphie en puits de la figure 1 ;

la figure 5 montre les diagrammes de perméabilité comme on les détermine au moyen des amplitudes d'ondes tubulaires normalisées détectées à différents intervalles en utilisant le système de la figure 1 ; et également comme on la détermine par la méthode de la carotte latérale, en comparaison avec la teneur en schiste argileux sur les mêmes intervalles ;

la figure 6 est un tracé de la perméabilité estimée obtenue en utilisant le système de la figure 1 et comparée aux mesures de la perméabilité obtenues à l'aide de la technique de la carotte ; et,

la figure 7 représente des enregistrements de trains d'ondes normalisés obtenus en utilisant le système de la diagraphie en puits de la figure 1, comparés à un système de diagraphie en puits selon la méthode antérieure, avec un espacement émetteur-récepteur plus important que normalement.

En se référant tout d'abord à la figure 1, dans le système de diagraphie acoustique en puits représenté, un outil de diagraphie (carottage par sondage acoustique) est relié, au moyen d'un premier câble 11, aux composants du système placés au sol. L'outil de diagraphie 10 est placé dans le trou de forage à l'intérieur d'un puits 12 rempli d'un fluide, par exemple une boue de forage indiquée par le repère 14.

Les composants au sol comportent un panneau de commande de surface 16 auquel le câble 11 est relié en passant par une poulie 18. Un moteur 20 commandé à partir du panneau de commande de surface 16 manoeuvre la poulie 18 pour faire monter ou descendre l'outil de

diagraphie 10 dans le puits 12. Un dispositif de sortie de données tel qu'un enregistreur numérique 22 est relié électriquement au panneau de commande de surface pour enregistrer et/ou visualiser les données détectées par l'outil de diagraphie 10.

L'outil de diagraphie 10 comporte un émetteur 24 pour émettre une impulsion d'énergie acoustique dans le puits 12. Cette impulsion a un spectre de fréquence centré autour de 20 kHz mais des basses fréquences s'étendant au moins jusque 1 kHz sont également émises. Un premier récepteur acoustique 28 large bande est relié à l'émetteur 24 par un câble 26. Le récepteur acoustique large bande 28 est sensible aux fréquences comprises entre environ 0,1 kHz et 30 kHz et sera décrit plus en détail ci-dessous en référence à la figure 2.

Le câble 26 doit avoir une longueur supérieure à 1,524 m, de préférence sensiblement supérieure. Selon une réalisation préférée, la distance entre l'émetteur 24 et le premier récepteur large bande 28 est d'environ 4,57 m. Une seconde longueur de câble 30 relie le premier récepteur acoustique large bande 28 à un second récepteur acoustique large bande 32 et une troisième longueur de câble 34 relie le second récepteur acoustique large bande 32 à un troisième récepteur acoustique large bande 36. De préférence, la distance entre le second récepteur 32 et l'émetteur 24 est d'environ 6,1 m tandis que la distance entre le troisième récepteur 36 et l'émetteur 24 est d'environ 7,62 m. On préfère également que les récepteurs 28, 32 et 36 ne soient pas placés dans un carter venu d'une seule pièce mais soient couplés à l'émetteur 24 uniquement au moyen des câbles 26, 30 et 34.

Il est bien connu que les premières ondes qui arrivent à chacun des récepteurs d'un système de sondage acoustique par diaphonie sont les ondes de compression,

habituellement suivies des ondes de cisaillement, puis des ondes dûes à la boue et finalement des ondes tubulaires. L'espacement relativement long entre l'émetteur et le récepteur dans l'outil 10 donne le temps nécessaire aux différents paquets d'ondes de se séparer de façon telle que les ondes tubulaires mentionnées ci-dessus puissent plus facilement se détecter. Du fait que dans des conditions typiques de forage la fréquence des ondes tubulaires sera d'un ordre de grandeur de 1500 Hz ou moins, leur enregistrement nécessite l'emploi des récepteurs large bande mentionnés ci-dessus 28, 32 et 36. De façon générale les récepteurs qui présentent la largeur de bande demandée ne sont pas capables de résister aux conditions sévères d'ambiance que l'on rencontre pendant les sondages acoustiques par diagraphie. Par contre on choisit les récepteurs 28, 32 et 36 utilisés dans l'outil 10 de façon à ce qu'ils présentent la largeur de bande demandée et que néanmoins ils soient capables de résister à la pression élevée.

Si on se réfère maintenant à la figure 2, elle décrit en détail un seul récepteur (28) bien que l'on admettra que tous les récepteurs 28, 32 et 36 sont identiques. Donc le récepteur 28 comporte un cylindre 38 en matériau piézoélectrique, fermé, pour éviter que les changements de pression dynamique ne soient transmis à l'intérieur du cylindre par des flasques métalliques d'extrémité 40 et 42. Ces flasques d'extrémité sont réunis par une manchette 44.

Un tube 46, ajusté à la presse dans une ouverture du flasque d'extrémité 42, est accordé, comme on l'expliquera plus en détail ci-dessous, sur la fréquence de coupure basse de la plage désirée, i.e, 0,1 kHz. La longueur et la surface de section droite de l'intérieur du tube 46 sont telles que les changements de pression

dynamique dans la plage de fréquence située au-dessus de la fréquence de coupure ne sont pas transmis par le tube, mais que néanmoins le tube permet effectivement l'égalisation de la pression statique entre l'extérieur et l'intérieur du cylindre.

5 Le flasque d'extrémité 42 présente une portion 48 qui s'ajuste à l'intérieur du cylindre 38 et le flasque d'extrémité 40 présente une portion semblable 50. Des rainures périphériques dans les portions 48, 50
10 reçoivent des joints toriques 52 et 54 respectivement qui isolent le matériau piézoélectrique du cylindre 38 d'avec les flasques métalliques d'extrémité et assurent l'étanchéité des extrémités du cylindre. Par ailleurs des joints toriques 56 et 58 isolent le matériau
15 piézoélectrique d'avec les flasques d'extrémité. Un trou 60 prévu dans le flasque d'extrémité 42 permet de mettre sous-vide le cylindre 38 et de le remplir d'huile. A la suite de quoi une vis pointeau 62 obture de façon étanche l'huile en place.

20 Le cylindre 38 présente un revêtement conducteur sur ses surfaces interne et externe et un contact électrique 64 est relié par un conducteur à la surface conductrice interne du cylindre. Le contact 64 est relié à une traversée électrique 66 qui s'étend à travers un
25 support de transducteur 68 monté sur le flasque d'extrémité 42 pour rejoindre un préamplificateur (non représenté) logé dans un boîtier 70 qui porte le support 68.

30 Un autre support de transducteur 72 est monté à l'autre extrémité du récepteur et il est lui-même porté par un autre boîtier 74. Une bride 76 qui s'étend selon l'axe du récepteur joint ensemble les boîtiers 70 et 74.

35 Un soufflet caoutchouc rempli d'huile 78 entoure le récepteur et des fils métalliques 80 et 82 encer-

clent ce soufflet et le fixent aux boîtiers 70 et 74. Une cage 84 entoure et protège le soufflet. En service, l'énergie acoustique est transmise par des fentes dans la cage 84, à travers le soufflet 78 et à travers l'huile qui s'y trouve, pour parvenir au récepteur sensible à l'énergie acoustique sur la totalité de la plage de fréquence sismique et au-delà. Bien entendu le soufflet 78 est disposé de façon à pouvoir résister aux pressions élevées qui règnent dans les forages profonds.

On pourra mieux apprécier dans quelle mesure les dimensions du conduit formé par le tube 46 sont critiques par référence à une analogie avec un filtre électrique passe-bas. Un filtre électrique passe-bas comporte une inductance et une capacité.

Le volume défini par le cylindre piézoélectrique (réservoir) et le conduit de plus petit diamètre (étranglement) forme un filtre acoustique. Le matériau (eau ou huile) qui se trouve dans le réservoir est à rigidité contrôlée et il est analogue à une capacité. Le matériau de l'étranglement est à masse contrôlée et il est donc analogue à une inductance. La capacité peut s'exprimer sous la forme :

$$C_a = \frac{V}{pv^2} \quad (1)$$

avec :

C_a : capacité,

V : volume du matériau du cylindre 38,

p : densité du matériau du cylindre, et

v : vitesse du son dans ce matériau.

L'inductance L_a peut s'exprimer sous la forme :

$$L_a = p \frac{L_e}{A_c} \quad (2)$$

avec :

L_e : longueur du tube 46, et

A_c : surface de la section droite du tube.

5 La fréquence de coupure f_c pour un tel filtre passe-bas est donnée par :

$$f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{L_a C_a}} \quad (3)$$

10 A titre d'exemple, considérons une réalisation de l'invention où le diamètre interne d_2 du cylindre 38 est 3,4925 cm, le diamètre d_1 de la manchette 44 est 1,5875 cm et la longueur L du cylindre est 3,0163 cm. Egalement la longueur L_e du tube 46 est 3,81 cm avec
15 un diamètre interne de 0,0397 cm. Enfin supposons que le matériau qui se trouve dans le cylindre 38 soit de l'eau.

La surface de section droite du tube 46 est :

$$20 \quad A_c = \frac{\pi}{4} (0,0397)^2 = 0,001237 \text{ cm}^2 \quad (4)$$

L'inertie, qui est équivalente à l'inductance est donnée par :

$$25 \quad L_a = p \frac{L_e}{A_c} = 1 \times \frac{3,81}{0,001237} \quad (5)$$

$$= 30,82 \times 10^2$$

Le volume de l'intérieur du cylindre est :

$$30 \quad V = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) L \quad (6)$$

$$= \frac{\pi}{4} (3,4925^2 - 1,5875^2) (3,0163)$$

$$= 22,91 \text{ cm}^3$$

35 La masse qui est équivalente à la capacité, est

donnée par :

$$c_a = \frac{V}{pv^2} = \frac{22,91}{1,0 \times (1,5 \times 10^5)^2} \quad (7)$$

$$= 10,18 \times 10^{-10}$$

De ce qui précède la fréquence de coupure pour cette réalisation spécifique est :

$$f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{L_a c_a}} = \frac{0,3185}{\sqrt{30,82 \times 10,18 \times 10^{-8}}} = 179,8 \quad (8)$$

Ceci indique une fréquence de coupure basse de 180 Hz qui s'améliore considérablement en remplissant le cylindre avec de l'huile. Une telle fréquence de coupure est suffisamment basse pour faire en sorte que le récepteur 28 réagisse aux ondes tubulaires.

Lorsque l'on utilise l'appareil que l'on vient de décrire pour déterminer la perméabilité d'une formation rocheuse, on fait passer l'outil 10 le long du forage du puits 12 et l'émetteur 24 envoie des impulsions et on détecte l'énergie acoustique aux récepteurs 28, 32 et 36. De préférence, pour chaque longueur de un pied (0,3048 m) le long du forage, on enregistre à la surface de chacun des récepteurs 28, 30 et 32 un train d'onde d'une durée de 10 ms. On échantillonne ce train d'onde à des intervalles de $5 \mu s$ et on mémorise l'échantillonnage. On peut traiter, mais pas nécessairement, les données numériques par un programme ordinateur qui détermine l'instant de la première arrivée (onde P), (onde de compression), qui égalise l'amplitude de chaque train d'onde en utilisant l'onde P le long du profil et qui aligne l'arrivée à un autre instant arbitraire. Cette alignement à pour but de compenser les variations possibles de la source d'énergie

acoustique pendant le déroulement du sondage par
diagraphie. Ces données ont été collectées et mises
sous forme de tracé comme représenté sur les figures
3 et 4 et utilisées pour identifier les arrivées des
5 ondes tubulaires pour chaque récepteur. On choisit une
fenêtre de temps appropriée, de l'ordre 0,5 ms, autour
de l'instant d'arrivée de l'onde tubulaire. On détermi-
ne l'amplitude maxima du maximum au minimum dans cette
fenêtre. On observe le changement de cette amplitude
10 en fonction de la profondeur. Cette amplitude fournit
une mesure de la perméabilité.

Comme on peut le voir sur la figure 4, la qualité
des données se détériore par suite des difficultés
d'identifier les instants d'arrivée des ondes tubulai-
15 res dans le schiste argileux et, par conséquent, l'in-
vention est de moindre utilité dans les zones de teneur
élevée en schiste. Toutefois, en se référant maintenant
à la figure 5, on a étalonné les diagrammes d'amplitude
normalisée pour la fenêtre choisie autour de l'arrivée
20 des ondes tubulaires et on les a comparé aux échantil-
lons de perméabilité obtenue par la méthode du carot-
tage aux mêmes intervalles. On peut voir une bonne
corrélation à l'exception des zones, mentionnées ci-
dessus de haute teneur en schiste.

25 La figure 6 est un nuage de corrélation de perméa-
bilités mesurées par la méthode du carottage et compa-
rées aux perméabilités estimées déterminées à partir
des amplitudes des ondes tubulaires en utilisant la
méthode de l'invention ; on peut voir qu'il existe une
30 corrélation sur la totalité de la plage située entre
10 et 10.000 millidarcy.

En se référant maintenant à la figure 7, on voit
sur la partie gauche de la figure des enregistrements
de formes d'ondes utilisant la méthode de l'exemple de
35 donné ci-dessus et par comparaison des enregistrements

de forme d'onde obtenues en utilisant l'appareil considéré comme de la technique actuelle, l'espacement entre l'émetteur et le premier récepteur étant d'environ 4,57 m. Par contre, le dispositif mentionné ci-dessus
5 correspondant à la technique actuelle n'utilise pas de récepteur large bande tel qu'on l'utilise dans l'outil 10. De plus dans ce dispositif le récepteur et l'émetteur étaient logés dans un carter rigide par opposition à la disposition par câble de l'outil 10. Comme on le
10 voit il était exclu d'identifier de façon distincte des ondes tubulaires.

Bien entendu diverses modifications peuvent être apportées par l'homme de l'art aux dispositifs ou procédés qui viennent d'être décrits uniquement à titre
15 d'exemple non limitatif sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Méthode de détermination de la perméabilité
d'une formation, caractérisée en ce qu'elle comporte
5 les phases de :

(a) faire parcourir un forage à un outil comportant
des moyens d'émission d'énergie acoustique basse fré-
quence ;

10 (b) faire émettre des impulsions aux dits moyens
d'émission ;

(c) détecter ladite énergie acoustique à un premier
récepteur présentant une réponse en fréquence, dans les
conditions du forage, entre 0,1 kHz et 30 kHz, ledit
récepteur étant couplé aux dits moyens d'émission par
15 un câble d'une longueur supérieure à 1,524 m ; et,

(d) déterminer l'amplitude des ondes tubulaires
détectées par ledit récepteur en un certain nombre
d'emplacements dans ledit forage.

2. Méthode de de détermination de la perméabilité
20 d'une formation caractérisée en ce qu'elle comporte
les phases de :

(a) faire parcourir un forage à un outil comportant
des moyens d'émission d'énergie acoustique depuis au
moins 1 kHz jusque 20 kHz ;

25 (b) faire émettre des impulsions aux dits moyens
d'émission ;

(c) détecter ladite énergie acoustique à un pre-
mier récepteur d'un type présentant un cylindre de
matériau piézoélectrique comportant des flasques
30 d'extrémité qui assurent l'étanchéité des deux extré-
mités dudit cylindre, ainsi qu'un conduit, à travers
l'un desdits flasques d'extrémité, qui transmet les
changements de pression ambiante mais non les change-
ments de pression dynamique, ledit récepteur présen-
35 tant une réponse en fréquence entre 0,1 kHz et 30 kHz

ledit récepteur étant couplé aux dits moyens d'émission par un câble d'une longueur supérieure à 1,524 m ; et,

(d) déterminer l'amplitude des ondes tubulaires détectées par ledit récepteur en un certain nombre d'emplacements dans ledit forage.

3. Méthode selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisée en ce qu'elle comporte de plus les phases consistant à observer les changements d'amplitude desdites ondes tubulaires entre l'un de ces emplacements et un autre des mêmes emplacements, dans ledit forage.

4. Méthode selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisée en ce que la phase (d) s'accomplit en mesurant l'amplitude maxima de maximum à minimum desdites ondes tubulaires à chacun desdits emplacements de l'ensemble des emplacements.

5. Méthode selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisée en ce que ledit premier récepteur est situé à une distance d'environ 4,57 m desdits moyens d'émission.

6. Méthode selon la revendication 5, caractérisée en ce qu'elle comporte de plus la phase consistant à détecter ladite énergie acoustique à une distance d'environ 6,1 m desdits moyens d'émission à l'aide d'un second récepteur ayant ladite réponse en fréquence ; la phase (d) incluant la détermination de l'amplitude des ondes tubulaires détectées à la fois par ledit premier récepteur et ledit deuxième récepteur en chacun des emplacements dudit ensemble d'emplacements dans ledit forage.

7. Méthode selon la revendication 6, caractérisée en ce qu'elle comporte de plus la phase consistant à déterminer le rapport de l'amplitude des ondes tubulaires détectées par ledit premier récepteur et de l'amplitude des ondes tubulaires détectées par ledit

second récepteur en chacun des emplacements dudit ensemble d'emplacements dans ledit forage.

5 8. Méthode selon la revendication 6 ou selon la revendication 7 et, caractérisée en ce qu'elle comporte de plus la phase consistant à détecter ladite
10 énergie acoustique à une distance d'environ 7,62 m desdits moyens d'émission avec un troisième récepteur présentant ladite réponse en fréquence, la phase (d) incluant la détermination d'amplitude des ondes tubu-
10 laires détectées par ledit premier, ledit deuxième et ledit troisième récepteurs en un ensemble d'emplacements dans ledit forage.

15 9. Méthode selon la revendication 8, caractérisée en ce qu'elle comporte de plus la phase consistant à déterminer le rapport de l'amplitude des ondes tubu-
15 laires détectées par ledit second récepteur à l'amplitude des ondes tubulaires détectées par le troisième en chacun des emplacements dudit des emplacements dans ledit forage.

20 10. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les moyens d'émission et le récepteur/ou chacun des récepteurs sont mécaniquement couplés l'un à l'autre uniquement
25 par l'intermédiaire dudit câble ou desdits câbles respectifs.

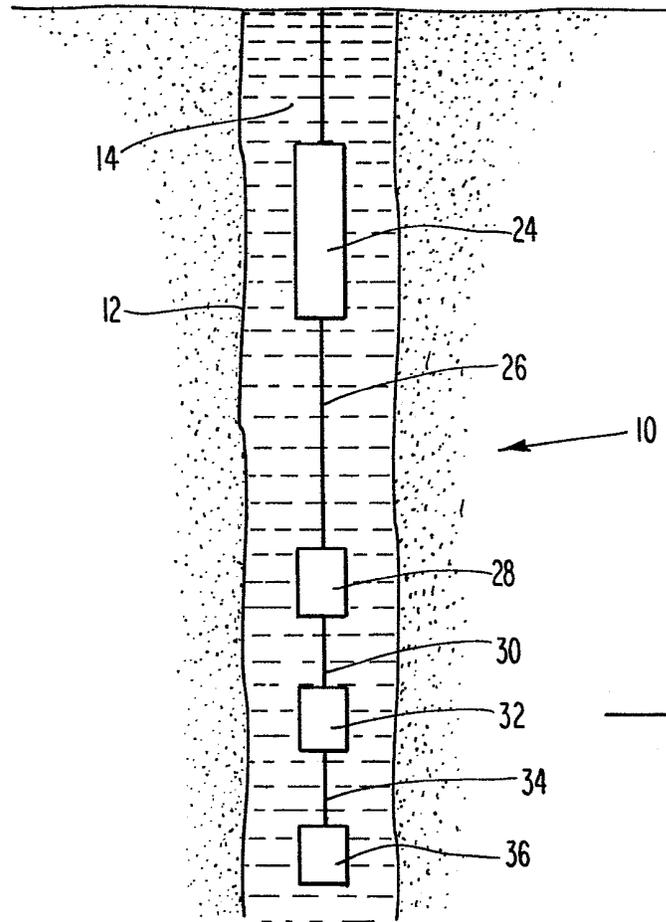
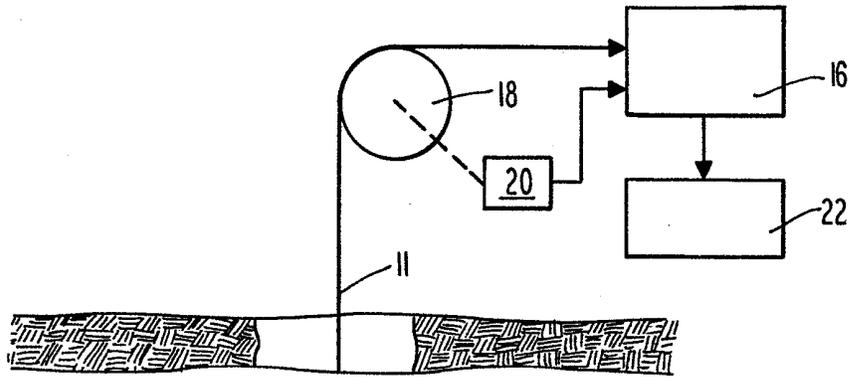


Fig. 1

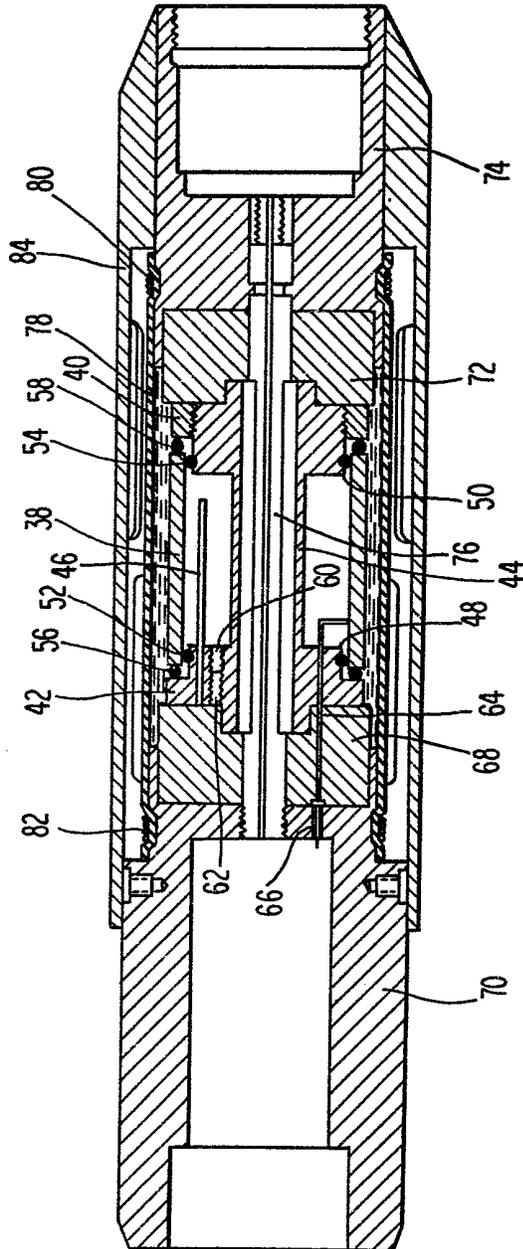


Fig. 2

FIG. 3

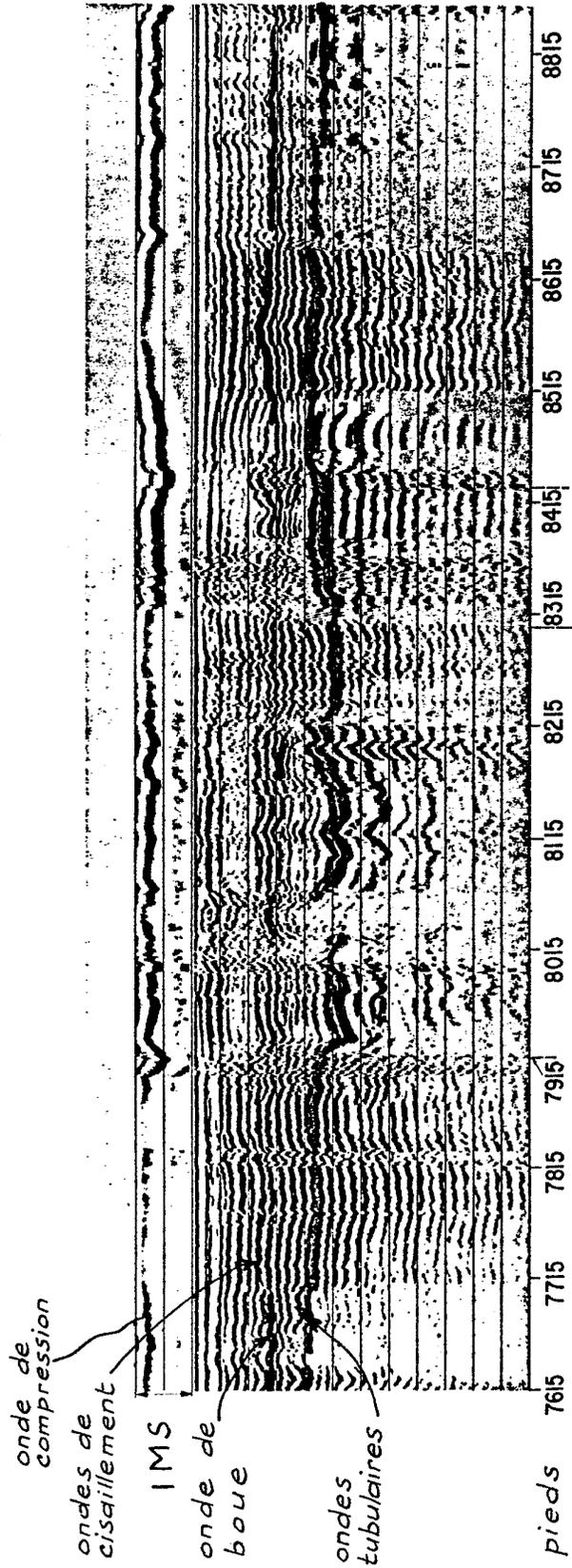


FIG. 4

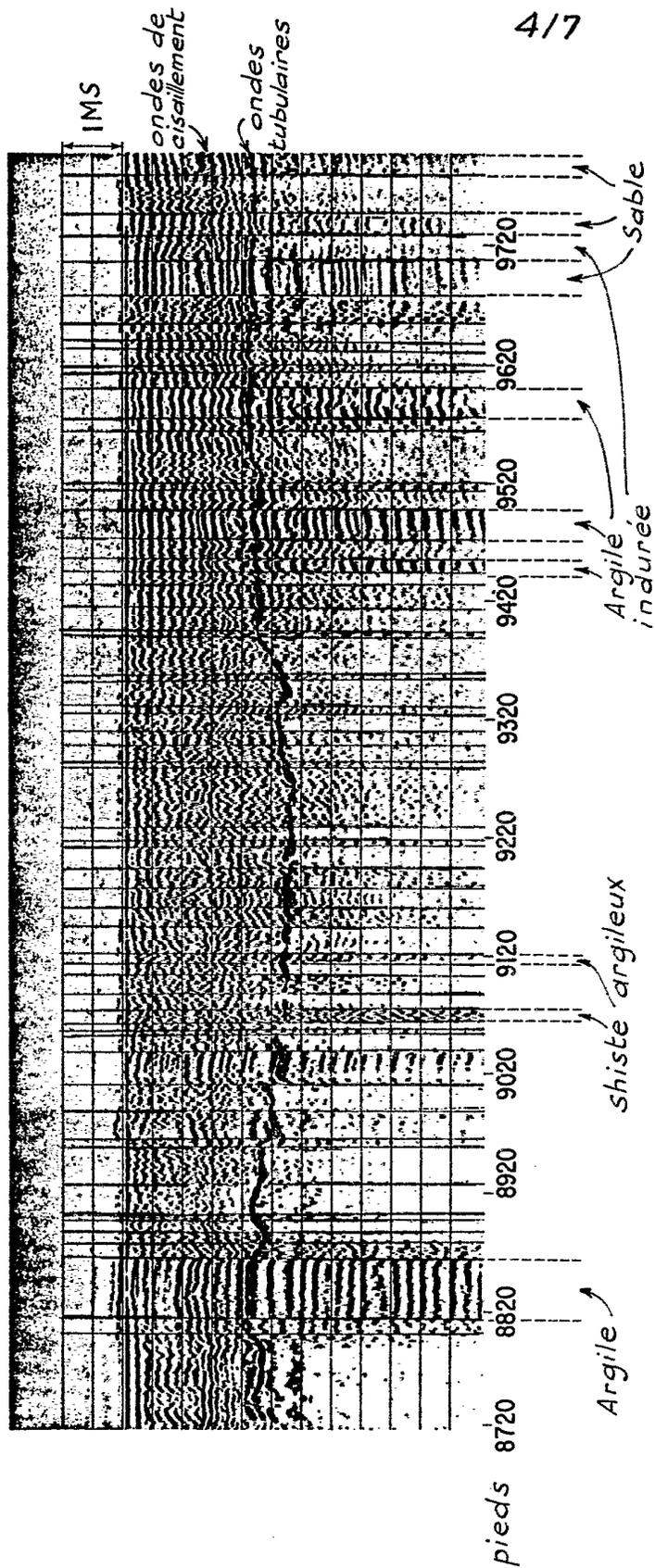
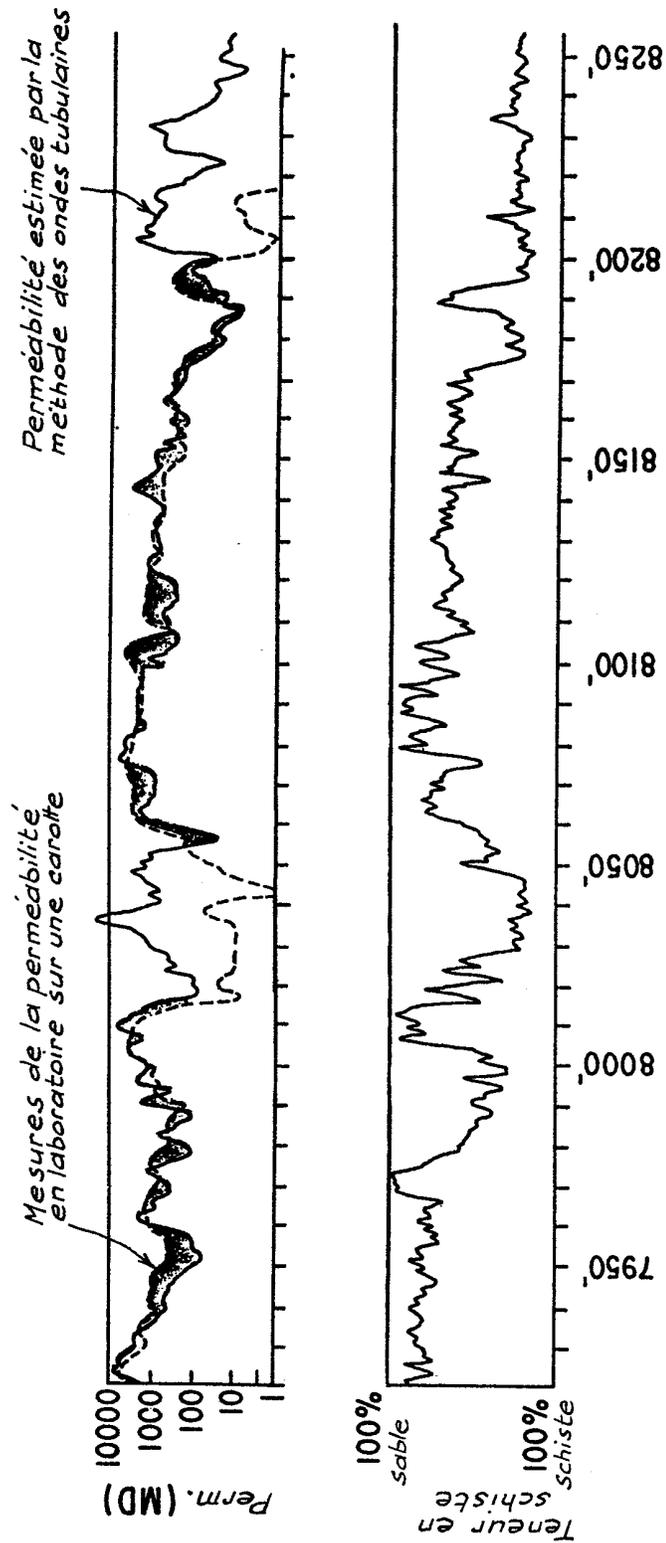


FIG. 5



- Perméabilité estimée par les ondes tubulaires inférieure à la perméabilité mesurée
- Perméabilité estimée par les ondes tubulaires supérieure à la perméabilité mesurée

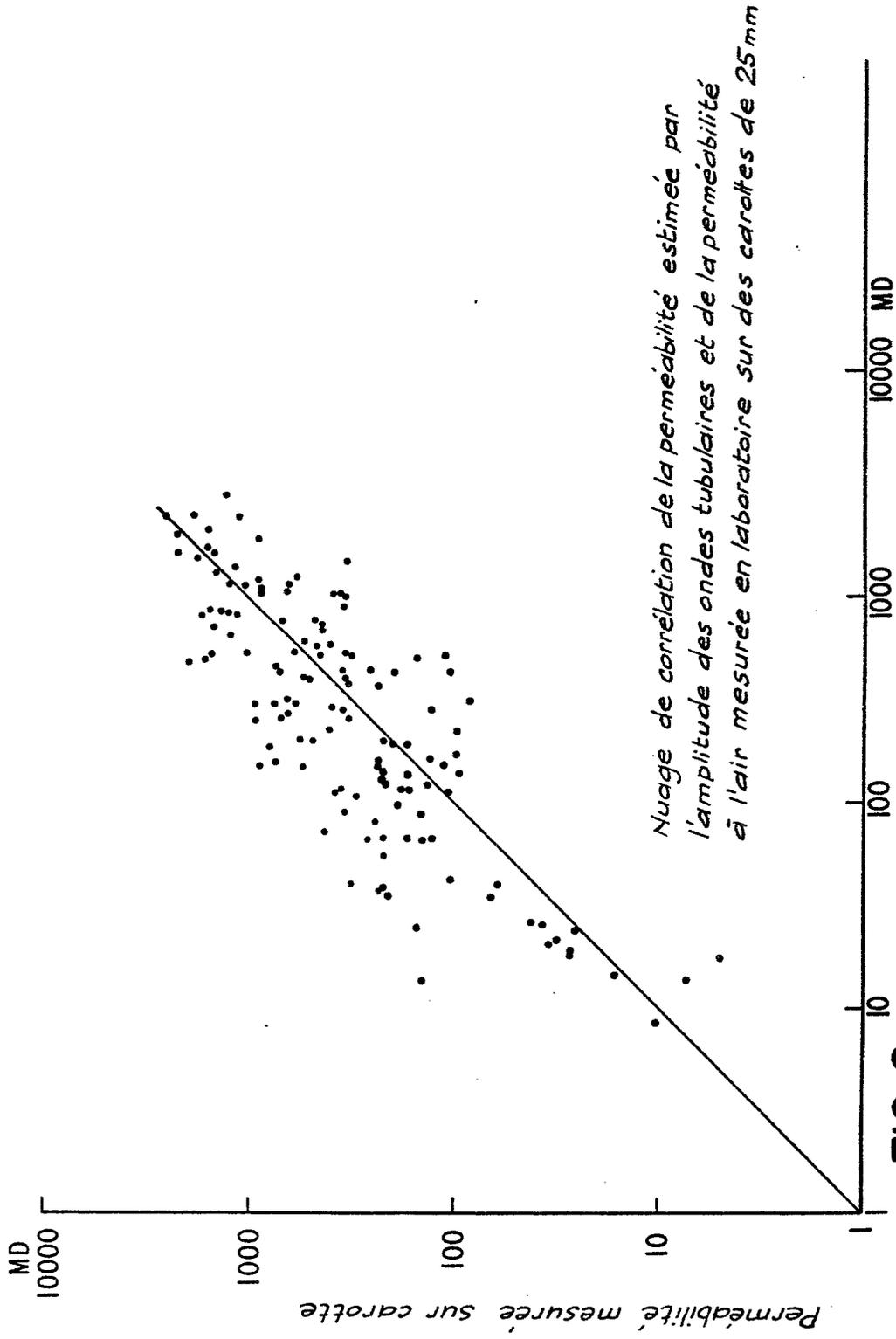


FIG. 6 Perméabilité estimée par la méthode des ondes tubulaires

FIG. 7

Diagramme acoustique d'un train d'ondes entier
Profondeur

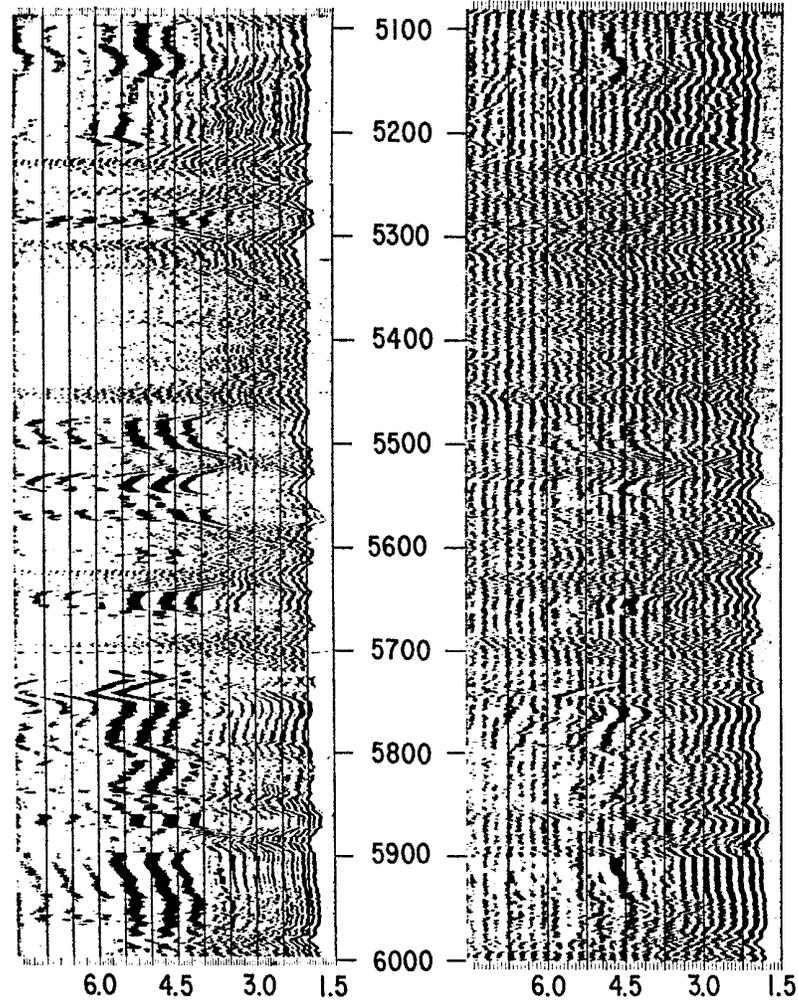


Diagramme acoustique
(Récepteur source = 15';
Filtre : 160-8400 HZ)

Diagramme acoustique
(Récepteur source = 15';
Filtre : 0-19000 HZ)