

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 534 026

(21) N° d'enregistrement national : 83 15563

(51) Int Cl³ : G 01 N 29/00; G 01 V 1/00.

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 29 septembre 1983.

(71) Demandeur(s) : UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. — US.

(30) Priorité US, 30 septembre 1982, n° 429.920.

(72) Inventeur(s) : Edwin Felix Laine.

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 14 du 6 avril 1984.

(73) Titulaire(s) :

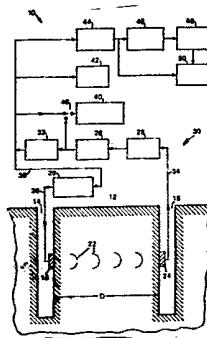
(60) Références à d'autres documents nationaux appartenants :

(74) Mandataire(s) : Brevatome.

(54) Appareil pour mesurer la vitesse de propagation d'énergie acoustique dans des matières en utilisant un procédé à réaction.

(57) L'appareil pour caractériser des matières selon l'invention comprend un générateur d'énergie acoustique 18 agencé pour fournir de l'énergie acoustique à la matière à caractériser 12 en un premier emplacement 14, cette énergie acoustique se propageant dans la matière, un récepteur d'énergie acoustique 24 agencé pour recevoir l'énergie acoustique propagée dans la matière en un second emplacement 16 et pour convertir cette énergie reçue en signaux électriques, un dispositif amplificateur 26, 28 relié entre le récepteur et le générateur en une boucle fermée 30 pour amplifier les signaux électriques et pour fournir ces signaux amplifiés au générateur, le dispositif amplificateur ayant un gain à réaction suffisant pour produire des oscillations qui indiquent les caractéristiques de la matière, et un moyen d'indication 40, 42, 44, 46, 48 pour indiquer le caractère des oscillations et ainsi de la matière.

Application à l'exploration géologique.



FR 2 534 026 - A1

D

L'invention concerne de façon générale la caractérisation de matières par la mesure de la propagation d'énergie acoustique dans ces matières. Plus spécifiquement, l'invention concerne l'exploration géologique dans 5 laquelle on propage de l'énergie acoustique dans une partie de la terre pour caractériser les matières se trouvant dans la terre à travers lesquelles l'énergie acoustique est propagée.

Le gouvernement des Etats Unis d'Amérique a acquis 10 des droits sur l'invention grâce au contrat n° W-7405-EMG-48 entre le Département de l'Energie des E.U.A. et l'Université de Californie.

Il est d'une pratique courante de caractériser des matières en envoyant une onde énergétique, constituant 15 une certaine forme d'énergie, telle que de l'énergie acoustique, dans la matière à caractériser. Cette technique est utilisée en géologie, pour caractériser un volume de terre dans la recherche des matières tel que des gisements de pétrole et d'eau. La technique est également utilisée dans 20 la technologie relative à l'évaluation non destructrice de matériaux de construction pour détecter des imperfections, telles que des vides, des fissures, ou des inclusions, dans des matériaux tels que de l'acier, de l'aluminium et du béton.

25 Cette technique utilise une source d'énergie pour engendrer un signal d'impulsion énergétique qui traverse la matière à caractériser. On utilise un récepteur pour recevoir et interpréter l'impulsion ou le signal. La distance entre la source et le récepteur est connue, ainsi 30 que l'énergie de l'impulsion transmise. En mesurant le temps pris par le signal pour se déplacer de la source au récepteur, on peut évaluer la vitesse de propagation et la comparer à des tables de caractéristiques connues de matières. De cette façon, il est possible de caractériser 35 le type de matière. En prenant une série de mesures le long de différents trajets dans la matière, et en détectant et en caractérisant les échos, il est possible de

déetecter et de caractériser des irrégularités dans la matière.

En exploration géologique, on peut placer la source d'énergie et le récepteur à différents endroits sur la surface de la terre, ou dans des premier et second trous d'affleurement qui sont espacés l'un de l'autre d'une distance connue. La source ou le générateur peut produire des signaux sous la forme d'une série d'impulsions discrètes qui parcourent la distance connue entre le générateur et le récepteur. Typiquement, le générateur peut être constitué par des dispositifs comme de la dynamite ou d'autres charges explosives, ou une source d'étincelles électriques. Ces générateurs peuvent produire des impulsions comprenant des ondes de compression ou de pression, des ondes de rarification, et des ondes de rotation ayant deux composantes horizontale et verticale comme on veut. On utilise souvent des ondes de rotation comme impulsions énergétiques car les ondes de rotation se déplacent à une vitesse comprise approximativement entre une moitié et un tiers de la vitesse des ondes de compression, en permettant ainsi au récepteur de disposer de plus de temps pour recevoir et analyser les impulsions. Les techniques existantes posent des problèmes et ont des inconvénients, y compris des difficultés de fonctionnement pour la mise au point et l'utilisation des techniques existantes, des difficultés pour faire des mesures précises des temps de propagation des impulsions, et des difficultés pour interpréter les données de test, de sorte qu'une interprétation faite par un personnel hautement qualifié est nécessaire. La comparaison des données de test avec les caractéristiques de matières connues est également difficile.

Un objet de la présente invention est un procédé nouveau et perfectionné pour caractériser des matières par la propagation d'une énergie acoustique dans ces matières.

Un autre objet de l'invention est de disposer de ce nouveau procédé perfectionné plus précis, plus simple et plus facile à mettre en œuvre que ceux de l'art antérieur.

Un autre objet de l'invention est un appareil nouveau et perfectionné pour caractériser des matières par la propagation d'une énergie acoustique dans ces matières.

Pour réaliser ces objets et d'autres, la présente invention fournit de préférence un procédé pour caractériser des matières consistant à fournir une énergie acoustique en un premier emplacement à la matière à caractériser, l'énergie acoustique étant propagée dans la matière, à recevoir l'énergie acoustique en un second emplacement dans la matière et à convertir l'énergie acoustique reçue en un signal électrique, à amplifier les signaux électriques pour produire une énergie électrique amplifiée, à convertir l'énergie électrique amplifiée en cette énergie acoustique, l'opération d'amplification étant exécutée avec une amplification à réaction suffisante pour produire des oscillations de l'énergie électrique et de l'énergie acoustique, et à indiquer la fréquence des oscillations comme une indication du caractère de la matière.

L'opération d'indication comprend de préférence la mesure de la fréquence des oscillations, et la conversion de la fréquence en une indication de la vitesse de propagation de l'énergie acoustique dans la matière. On peut réaliser cette conversion en multipliant la fréquence par la distance de propagation acoustique dans la matière.

L'opération d'amplification comprend de préférence le réglage de l'amplification à réaction pour produire des oscillations entretenues.

Le gain de cette amplification à réaction est de préférence utilisé comme une autre indication du caractère de la matière.

L'énergie acoustique est de préférence produite sous la forme d'une onde de rotation acoustique sinusoïdale dans son ensemble pour une propagation dans la matière.

Selon la présente invention, un appareil pour caractériser des matières comprend un générateur d'énergie acoustique pour convertir une énergie électrique en une énergie acoustique et pour fournir cette énergie acoustique

que à la matière à caractériser en un premier emplacement, l'énergie acoustique étant propagée dans la matière, un récepteur acoustique pour recevoir l'énergie acoustique provenant de la matière en un second emplacement et pour convertir l'énergie acoustique reçue en signaux électriques, un amplificateur connecté entre le récepteur et l'émetteur pour amplifier les signaux électriques en provenance du récepteur et pour fournir une énergie électrique amplifiée correspondante à l'émetteur, l'amplificateur ayant un gain de réaction suffisant pour produire des oscillations qui indiquent les caractéristiques de la matière dans laquelle l'énergie acoustique est émise, et un moyen d'indication pour indiquer le caractère de ces oscillations comme une indication du caractère de cette matière.

15 Ce moyen d'indication comprend de préférence un moyen d'indication de vitesse pour mesurer la fréquence des oscillations et pour convertir la fréquence en une indication de vitesse en multipliant la fréquence par la distance dans la matière entre l'émetteur et le récepteur.

20 L'amplificateur comprend de préférence un circuit de commande de gain calibré pour régler le gain de l'amplificateur afin de produire des oscillations entretenues tout en indiquant la grandeur de ce gain comme une indication supplémentaire du caractère de la matière.

25 Le générateur comprend de préférence un moyen pour engendrer des ondes de rotation acoustiques sinusoïdales dans leur ensemble pour une propagation dans la matière. Le récepteur comprend de préférence un géophone.

D'autres caractéristiques et avantages de la pré-
30 sente invention seront mis en évidence dans la description suivante, donnée à titre d'exemple non limitatif, en référence au dessin annexé dans lequel la figure unique est une vue schématique en élévation, partiellement en coupe, représentant un exemple de réalisation préféré d'un appareil selon la présente invention.

Sur la figure, un appareil 10 selon l'invention est destiné à indiquer et à mesurer les caractéristiques

de la matière 12 qui, dans ce cas, prend la forme d'un volume de matière en terre. Ainsi, l'appareil 10 est particulièrement destiné à l'exploration géologique. Cependant, on peut aussi utiliser l'appareil de l'invention pour le test non destructeur de différents matériaux de construction.

Comme on l'a représenté en coupe sur la figure, la matière en terre 12 comporte de préférence un premier et un second trou d'alésage 14 et 16 qui sont espacés l'un de l'autre d'une distance choisie D. On peut forer les trous 14 et 16 ou bien les former autrement dans la matière en terre 12. Un générateur acoustique 18 est monté dans le premier trou d'alésage 14 et il est fixé de façon appropriée contre le côté du trou d'alésage 14, pour fournir une énergie acoustique à la matière en terre 12. Le générateur 18 est de préférence d'une construction connue ou appropriée de manière à ce qu'il soit agencé pour convertir une énergie électrique en une énergie acoustique, de préférence sous la forme d'ondes de rotation sinusoïdales dans leur ensemble. Ainsi, par exemple, le générateur 18 peut être un générateur d'ondes de rotation verticales fabriqué par la société Mark Products. Un circuit de commande ou un amplificateur de puissance 20 fournit un courant d'alimentation électrique au générateur 18, de sorte qu'il produit des ondes ou impulsions acoustiques 22 qui sont propagées dans la matière en terre 12.

L'énergie ou ondes acoustiques 32 se propagent dans la matière en terre 12 et sont détectées par un récepteur 24 qui est de préférence monté dans le second trou d'alésage 16 et qui est fixé contre le côté du trou, en contact avec la matière en terre 12, pour recevoir l'énergie acoustique à un niveau réduit ou atténué.

Le récepteur 24 constitue un transducteur servant à convertir l'énergie acoustique reçue en signaux électriques qui sont envoyés à l'entrée d'un amplificateur 26 comportant un circuit de commande de gain variable 28. Le récepteur 24 peut être un géophone vertical.

La sortie de l'amplificateur 26 est reliée à l'entrée du circuit de commande 20 pour former une boucle fermée 30 qui, de préférence, comprend également un filtre 32. On remarquera qu'on peut varier l'ordre de disposition de 5 l'amplificateur 26, du circuit de commande de gain 28 et du filtre 32 dans la boucle fermée. La mise en phase ou la polarité de l'amplificateur 26 dans la boucle fermée est de préférence telle que la boucle fermée fournit une réaction ou une amplification à réaction positive.

10 La boucle fermée 30 peut comprendre une première ligne de transmission 34 pour faire passer les signaux électriques du récepteur 24 à l'amplificateur 26, une deuxième ligne de transmission 36 pour faire passer les signaux électriques amplifiés de l'amplificateur 26 au circuit de 15 commande 20, et une troisième ligne de transmission 38 pour faire passer le courant électrique du circuit de commande 20 à l'émetteur 18.

L'appareil 10 représenté comprend un moyen d'indication qui peut inclure un oscilloscope 40, un dispositif 20 de mesure de niveau 42, et un dispositif de mesure de fréquence 44. Comme on l'a représenté, l'oscilloscope 42 est pourvu d'un commutateur sélecteur 46, par lequel l'entrée de l'oscilloscope 40 peut être connectée à la sortie de l'amplificateur 26 ou à la sortie du filtre 32. Dans ce 25 cas, le dispositif de mesure de niveau 42 est connecté à la sortie du filtre 32. Le dispositif de mesure de fréquence 44 est également connecté à la sortie du filtre 32. On peut utiliser l'oscilloscope 40 pour mesurer la tension des signaux électriques amplifiés en provenance de l'amplificateur 26 ou du filtre 32. On peut également utiliser l'oscilloscope 40 pour indiquer ou mesurer la fréquence des signaux électriques amplifiés, et pour indiquer également la forme d'onde de ces signaux.

Le dispositif de mesure de niveau 42 indique ou 35 mesure la tension des signaux électriques amplifiés. La fréquence des signaux électriques amplifiés est indiquée ou mesurée par le dispositif de mesure de fréquence 44.

Selon le procédé de la présente invention, l'amplificateur 26 disposé dans la boucle fermée 30 assure une amplification à réaction. Le circuit de commande de gain variable 28 est de préférence réglé pour que cette amplification à réaction produise des oscillations entretenues dans la boucle fermée 30. La fréquence de ces oscillations est ensuite indiquée ou mesurée par l'oscilloscope 40 ou par le dispositif de mesure de fréquence 44, comme une indication des caractéristiques de la matière en terre 12 dans laquelle les ondes acoustiques 22 sont propagées entre l'émetteur 18 et le récepteur 24. La fréquence des oscillations est proportionnelle à la vitesse à laquelle l'énergie acoustique se propage dans la matière en terre 12. On peut déterminer ou évaluer la vitesse présente en multipliant la fréquence par la distance D entre l'émetteur 18 et le récepteur 24, dans la matière en terre 12. La vitesse est déduite de la relation suivante: $v = d/t$, où v = la vitesse, d = la distance, t = le temps et $t = 1/f$, où f = la fréquence. On a alors: $v = df$.

20 Comme on l'a représenté, un convertisseur 46 est connecté entre le dispositif de mesure de fréquence 44 et un dispositif de mesure de vitesse 48. Le convertisseur 46 peut multiplier la fréquence par le coefficient de conversion, pour produire la vitesse, qui est indiquée par le 25 dispositif de mesure de vitesse 48. Le convertisseur 46 est de préférence réglable ou programmable de manière à ce que l'opérateur puisse faire varier le coefficient de conversion. Le dispositif de mesure de fréquence 44, le convertisseur 46 et le dispositif de mesure de vitesse 48 30 peuvent être des dispositifs analogiques ou numériques.

Le circuit de commande de gain 28 est de préférence étalonné, pour indiquer le coefficient de gain qui est nécessaire pour produire des oscillations entretenues dans la boucle fermée 30. Ce coefficient de gain est une 35 indication de l'atténuation de l'énergie acoustique ou sismique quand elle est propagée dans la matière en terre 12 entre le générateur 18 et le récepteur 24. Ainsi, le coef-

ficient de gain constitue une autre indication des caractéristiques de la matière en terre 12.

On peut utiliser le filtre 32 pour supprimer ou atténuer des signaux parasites ou d'interférence qui sont captés par le récepteur 24. Le filtre 32 empêche ces signaux parasites d'interférer avec la précision des mesures effectuées par l'appareil 10. Ces signaux parasites peuvent comprendre des vibrations à basse fréquence de 60 Hz ou 120 Hz, produites par le matériel ou équipement électrique.

Quand le gain ou rendement de toute la boucle fermée 30 dépasse l'unité et que la relation de phase convenable est présente, des oscillations entretenues sont produites dans la boucle. Ces oscillations sont produites à la fois dans l'énergie électrique et dans l'énergie acoustique ou sismique 22. Le coefficient de gain entre le générateur 18 et le récepteur 24 est inférieur à l'unité, en raison de l'atténuation de l'énergie acoustique ou sismique quand elle se propage dans la matière en terre 12. Pour obtenir un gain de dispositif dépassant l'unité, le gain ou l'amplification du dispositif électrique doit être également supérieur à l'unité. Le gain de dispositif est le produit du gain partiel dans la matière en terre 12, entre le générateur 18 et le récepteur 24, et du gain d'amplificateur dans le dispositif électrique, comprenant le circuit de commande de gain variable 28, l'amplificateur 26, le filtre 32, et le circuit de commande 20.

Pendant le fonctionnement de l'appareil 10, l'amplificateur a un gain qui est graduellement augmenté par l'augmentation de réglage de gain réalisée par le circuit de commande de gain variable 28, jusqu'à ce que le gain de dispositif soit supérieur à un ou l'unité, comme il est indiqué par la production d'oscillations entretenues dans la boucle fermée 30. Les oscillations entretenues sont indiquées par l'oscilloscope 40 et le dispositif de mesure de niveau 42. Le bruit inhérent à la boucle fermée fournit des signaux initiaux à partir desquels sont établies les oscillations entretenues. La fréquence des oscillations

entretenues est une mesure directe de la vitesse de propagation des ondes acoustiques ou sismiques 22 dans la matière en terre 12. La vitesse de propagation des ondes acoustiques ou sismiques 22 dans la matière en terre 12 va 5 rie d'environ 300 mètres/seconde à environ 10 000 m/sec, en fonction des caractéristiques de la matière en terre. Ainsi, la vitesse mesurée est une indication de ces caractéristiques. La vitesse de propagation des signaux électriques dans le dispositif électrique est beaucoup plus gran- 10 de, en approchant la vitesse de la lumière qui est de 3×10^8 m/sec. Cela s'applique à tout le dispositif électrique, y compris le récepteur 24, la ligne de transmission 34, le circuit de commande de gain variable 28, l'amplificateur 26, le filtre 32, la ligne de transmission 36, le 15 circuit de commande 20, la ligne de transmission 38 et le générateur 18. En raison de la vitesse de propagation élevée des signaux électriques, le temps de propagation des signaux électriques dans le dispositif électrique est négligeable comparé à la vitesse acoustique.

20 Quand le gain de la boucle fermée est augmenté suffisamment pour produire des oscillations entretenues, la fréquence de ces oscillations est déterminée par la vitesse de propagation de l'énergie acoustique ou sismique dans la matière en terre 12 sur la distance D séparant le 25 générateur 18 du récepteur 24. En raison de cette relation, la fréquence des oscillations est proportionnelle à la vitesse de propagation de l'énergie acoustique. On peut convertir la fréquence mesurée en vitesse en multipliant la fréquence mesurée par la distance D le long de laquelle 30 les ondes acoustiques sont propagées entre le générateur 18 et le récepteur 24.

La mesure de la vitesse de propagation de l'énergie acoustique ou sismique dans la matière en terre 12 entre les deux trous d'alésage 14 et 16 fournit une indica- 35 tion précieuse sur la structure géologique de la terre.

Cette information géologique est nécessaire pour la plupart des applications de génie civil, pour l'exploration minière, l'exploration pétrolière, et pour l'exploration en vue

d'autres sources d'énergie, telles que le schiste bitumeux. L'exploration pour l'eau est également facilitée par cette information géologique.

On peut aussi utiliser le procédé et l'appareil
5 de la présente invention pour effectuer une évaluation non destructrice de matériaux de construction, tels que de l'acier, de l'aluminium, et du béton, pour rechercher des inclusions, des fissures et d'autres imperfections.

La présente invention a l'avantage particulier de
10 fournir des mesures plus simples et plus précises des vitesses de propagation d'énergie acoustique dans les matières à caractériser. Selon la présente invention, la vitesse acoustique est déterminée en mesurant la fréquence ou la période des oscillations entretenues. Cette fréquence
15 ou cette période est mesurée plus facilement et de façon plus précise que par le procédé traditionnel pour mesurer directement le temps de déplacement précis d'une impulsion acoustique ou sismique dans la matière à caractériser. Cette mesure directe du temps de déplacement implique la mesure du délai entre le départ de l'impulsion acoustique
20 du générateur et l'arrivée de l'impulsion acoustique au récepteur. Ces mesures de délai sont difficiles, particulièrement en présence d'un niveau de bruit élevé. La mesure de la fréquence des oscillations peut être effectuée
25 très facilement et très précisément.

La présente invention a l'avantage supplémentaire qu'on peut facilement utiliser le procédé et l'appareil de l'invention pour contrôler de façon continue la vitesse de propagation de l'énergie acoustique ou sismique dans la
30 matière en terre. Pour une telle application de la présente invention, les oscillations entretenues sont produites de manière continue. La fréquence de ces oscillations est mesurée de façon continue, ou à des intervalles fréquents, et elle est enregistrée par un enregistreur sur papier 50
35 ou autre. L'enregistreur 50 peut également enregistrer la vitesse. Des variations de fréquence indiquent des changements dans la matière en terre. Ces changements peuvent être produits par des variations de température, d'hu-

midité ou de contrainte.

Ainsi, on peut utiliser la présente invention pour contrôler des variations de température au voisinage de moyens d'emmagasinage et de disposition souterrains pour 5 des matières radioactives. En outre, on peut utiliser la présente invention pour contrôler des variations de température comme une indication d'une activité volcanique. De plus, on peut utiliser la présente invention pour contrôler des variations de contrainte qui peuvent précéder des 10 tremblements de terre et celle-ci peut donc être utile pour prévoir des tremblements de terre éventuels.

Pour effectuer un contrôle continu, on peut avantageusement inclure dans le circuit de commande de gain variable 28 un circuit de commande de niveau automatique 15 pour maintenir les oscillations entretenues au niveau ou 1°amplitude voulue.

On remarquera que le générateur 18 et le récepteur 24 ne sont pas nécessairement dans des trous d'alésage, mais qu'ils peuvent être en contact avec la matière à tester à des emplacements en surface ou à tout endroit approprié.

On peut utiliser différentes autres modifications sans sortir du cadre de la présente invention telle qu'elle est définie dans les revendications suivantes.

REVENDICATIONS

1. Appareil pour caractériser des matières, caractérisé en ce qu'il comprend:

un générateur d'énergie acoustique (18) agencé pour convertir de l'énergie électrique en énergie acoustique (22) et pour fournir cette énergie acoustique à la matière (12) à caractériser en un premier emplacement (14), l'énergie acoustique étant propagée dans la matière;

10 un récepteur d'énergie acoustique (24) agencé pour recevoir l'énergie acoustique de la matière en un second emplacement (16) et pour convertir l'énergie acoustique reçue en signaux électriques;

15 dispositif /amplificateur (2628) connecté entre ledit récepteur (24) et l'émetteur (18) pour amplifier les signaux électriques provenant du récepteur et pour fournir de l'énergie électrique amplifiée correspondante à l'émetteur (18),

20 l'amplificateur ayant un gain de réaction suffisant pour produire des oscillations qui indiquent les caractéristiques de la matière dans laquelle l'énergie acoustique a été transmise; et

un moyen d'indication (40, 42, 44, 46, 48) agencé pour indiquer le caractère desdites oscillations comme une indication du caractère de la matière.

25 2. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit moyen d'indication comprend un moyen de mesure de fréquence (44 ou 40) pour mesurer la fréquence des oscillations.

30 3. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moyen d'indication comprend un moyen d'indication de vitesse (44, 46, 48) pour mesurer la fréquence des oscillations et pour convertir la fréquence en une indication de la vitesse de propagation de l'énergie acoustique dans la matière.

35 4. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moyen d'indication comprend un moyen d'indication de vitesse (44, 46, 48) pour mesurer la fréquence

des oscillations et pour convertir la fréquence en une indication de vitesse en multipliant la fréquence par la distance dans la matière entre l'émetteur et le récepteur.

5. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit dispositif amplificateur (26, 28) comprend un circuit de commande de gain (28) pour régler le gain du dispositif afin de produire des oscillations entretenues.

6. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit dispositif amplificateur comprend un circuit de commande calibré (28) pour régler le gain du dispositif amplificateur afin de produire des oscillations entretenues tout en indiquant la grandeur de ce gain comme une autre indication du caractère de la matière.

7. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moyen d'indication (40, 42, 44, 46, 48) comprend un moyen de mesure de fréquence (44 ou 40) pour indiquer la fréquence des oscillations comme une indication du caractère de la matière dans laquelle l'énergie acoustique est propagée, ledit dispositif amplificateur incluant un circuit de commande de gain calibré (28) pour régler le gain du dispositif amplificateur afin de produire des oscillations entretenues tout en indiquant le gain comme une autre indication du caractère de la matière.

8. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit générateur (18) comprend un moyen pour engendrer des ondes de rotation acoustiques sinusoïdales dans leur ensemble (22) pour leur propagation dans la matière.

9. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit récepteur (24) comprend un géophone.

30 10. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que le générateur (18) comprend un moyen pour engendrer des ondes de rotation acoustiques sinusoïdales dans leur ensemble, ledit récepteur (24) comprenant un géophone.

1,1

2534026

