



(12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication : **MA 27755 A1** (51) Cl. internationale : **G01V 11/00**

(43) Date de publication :
01.02.2006

(21) N° Dépôt :
28532

(22) Date de Dépôt :
03.10.2005

(30) Données de Priorité :
17.03.2003 GB 0306059.7

(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT :
PCT/GB2004/001144 17.03.2004

(71) Demandeur(s) :
ELECTROMAGNETIC GEOSERVICES AS, STIKLESTADVEIEN 1 N-7041 TRONDHEIM (NO)

(72) Inventeur(s) :
EIDESMO, Terje ; ELLINGSRUD, Svein ; FARESTVEIT, Anders ; PEDERSEN, Hans, Magne ; JOHANSEN, Stale

(74) Mandataire :
ABU-GHAZALEH INTELLECTUAL PROPERTY (TMP AGENTS)

(54) Titre : **PROCEDE ET APPAREIL PERMETTANT D'ETABLIR LA NATURE DE RESERVOIRS SOUS-MARINS**

(57) Abrégé : Un système pour l'étude des strates souterraines. Un champ électromagnétique et un événement sismique sont appliqués à partir du même endroit et les réponses sont détectées en utilisant des récepteurs respectifs situés à la fois à un deuxième endroit éloigné du premier. Les réponses sont combinées pour l'identification de la présence et/ou la nature du réservoir souterrain. Les composants des ondes réfractées sont utilisés.

Résumé

Un système pour l'étude des strates souterraines. Un champ électromagnétique et un événement sismique sont appliqués à partir du même endroit et les réponses sont détectées en utilisant des récepteurs respectifs situés à la fois à un deuxième endroit éloigné du premier. Les réponses sont combinées pour l'identification de la présence et/ou la nature du réservoir souterrain. Les composants des ondes réfractées sont utilisés.

01 FEV 2006

L 27755

**PROCEDE ET APPAREIL PERMETTANT D'ETABLIR LA NATURE DE
RESERVOIRS SOUS-MARINS**

L'invention en question concerne une méthode et un dispositif pour la détection et la détermination de la nature des réservoirs sous-marins et souterrains. L'invention est particulièrement convenable à déterminer si le réservoir contient des hydrocarbures ou de l'eau, et également pour la détection des réservoirs avec des caractéristiques particulières.

Actuellement, les techniques les plus largement utilisées pour la prospection géologique, en particulier dans des situations sous-marines, sont des méthodes sismiques. Ces techniques sismiques sont capables d'indiquer la structure des strates souterraines avec une certaine exactitude. Cependant, alors qu'une étude sismique peut indiquer l'endroit et la forme d'un réservoir potentiel, elle ne peut pas normalement indiquer la nature du réservoir.

La solution est donc de forer un trou de sonde dans le réservoir. Cependant, les coûts impliqués en forant un puits d'exploration tendent à être de l'ordre de 25 millions de livres sterling environ et puisque le taux de succès est généralement de 10 pour 100 environ, ceci tend à être un exercice très coûteux.

L'objet de l'invention est donc de fournir un système pour la localisation d'un réservoir souterrain et pour la détermination de sa nature avec une plus grande certitude, sans la nécessité de creuser un trou de sonde.

Les demandeurs actuels ont donc apprécié que lorsque les propriétés sismiques des strates remplies d'hydrocarbure et des strates aquifères ne diffèrent pas sensiblement, leurs résistivités électromagnétiques sont différentes. Ainsi, en utilisant une méthode de prospection électromagnétique, ces différences et le taux de succès peuvent être exploités en prévoyant que la nature du réservoir peut être sensiblement augmenté.

En conséquence, la méthode et le dispositif renfermant ces principes forment la base de la demande du brevet britannique déposé en attente, sous le numéro No. 0002422.4 de l'actuel demandeur.

Ceci envisage la méthode de la détermination de la nature du réservoir souterrain dont la géométrie et l'endroit approximatifs sont connus, qui comprend : l'application d'un champ électromagnétique à temps variable aux strates contenant le réservoir ; la détection de la réponse du champ de l'onde électromagnétique ; la recherche dans la réponse du champ d'onde, d'un composant représentant l'onde réfractée de la couche d'hydrocarbure ; et la détermination de la teneur du réservoir, basée sur la présence ou l'absence d'un composant d'onde réfractée par la couche d'hydrocarbure.

La méthode envisage également une méthode pour la recherche d'un réservoir souterrain d'hydrocarbure qui comprend : l'application d'un champ électromagnétique à temps variable aux strates souterraines ; la détection de la réponse du champ d'onde électromagnétique ; la recherche dans la réponse du champ d'onde, d'un composant représentant une onde réfractée ; et la détermination de la présence et/ou de la nature de tout réservoir identifié basé sur la présence ou l'absence d'un composant d'onde réfractée par la couche d'hydrocarbure.

La méthode envisage en plus un dispositif pour la détermination de la nature d'un réservoir souterrain dont la géométrie et l'endroit approximatifs sont connus, ou pour la recherche d'un réservoir souterrain d'hydrocarbure, le dispositif comprenant : un moyen pour l'application du champ électromagnétique à temps variable aux strates contenant le réservoir ; un moyen de détection de la réponse de champ d'onde électromagnétique ; et un moyen pour la recherche, dans la réponse du champ d'onde, d'un composant représentant une onde réfractée, permettant de ce fait la présence et/ou la nature du réservoir à déterminer.

L'onde réfractée se comporte différemment, selon la nature de la strate dans laquelle elle est propagée. En particulier, les pertes de propagation dans la strate d'hydrocarbure sont beaucoup inférieures que dans une strate aquifère tandis que la vitesse de la propagation est beaucoup plus élevée. Ainsi, quand le réservoir contenant du pétrole est présent, et le champ Electromagnétique (EM) est appliqué, une onde forte et rapidement réfractée et propagée peut être détectée. Ceci peut donc indiquer la présence du réservoir ou de sa nature si sa présence est déjà connue.

Des techniques de prospection électromagnétiques sont elles-mêmes connues. Cependant, elles ne sont pas largement utilisées en pratique. En général, les réservoirs

d'intérêt sont d'un kilomètre ou plus au-dessous du fond de la mer. Afin d'effectuer la prospection électromagnétique comme une technique autonome dans ces conditions, avec n'importe quel degré raisonnable de résolution, les longueurs d'onde courtes sont nécessaires. Malheureusement, de telles longueurs d'onde courtes souffrent d'une atténuation très élevée. Les grandes longueurs d'onde ne fournissent pas de résolution suffisante.

L'objet de l'invention en question est de fournir une méthode et un dispositif pour localiser et identifier sûrement les réservoirs sous-marins, en particulier, les réservoirs d'hydrocarbure, mais à un coût réduit et à des conditions opérationnelles réduites.

Selon un aspect de l'invention, il est pourvu une méthode de production d'un rapport d'étude des strates souterraines qui comprend l'usage d'un émetteur du champs électromagnétique EM ; l'usage d'une source sismique sensiblement au même endroit que l'émetteur du champ électromagnétique EM ; l'usage d'un récepteur du champ électromagnétique à une distance excentrée prédéterminée de l'émetteur ; l'usage d'un récepteur sismique sensiblement au même endroit que le récepteur du champ électromagnétique ; l'application d'un champ Electromagnétique EM aux strates en utilisant l'émetteur du champ électromagnétique ; la détection de la réponse du champ d'onde électromagnétique en utilisant le récepteur du champ électromagnétique ; l'application d'un événement sismique aux strates en utilisant la source sismique sensiblement au même endroit que l'émetteur du champ électromagnétique EM ; la détection de la réponse sismique en utilisant le récepteur sismique sensiblement au même endroit que le récepteur du champ électromagnétique EM ; l'analyse de la réponse du champ d'onde électromagnétique EM ; l'analyse de la réponse sismique et la cohésion des deux réponses afin de produire un rapport sur la présence et la nature des strates.

De préférence la méthode inclut l'extraction et l'usage de l'information de phase et/ou d'amplitude de réponses. De préférence, la méthode inclut l'identification du composant d'onde réfractée de la réponse du champ d'onde électromagnétique EM, l'identification du composant d'onde réfractée de la réponse sismique, et l'usage des deux composants à onde réfractée afin de produire le rapport d'étude. De préférence, l'information de phase et/ou d'amplitude des deux composants à onde réfractée est utilisée.

Selon un autre aspect de l'invention, pourvu qu'il y a une méthode de production d'un rapport d'étude des strates souterraines en utilisant une réponse du champ d'onde électromagnétique EM à partir d'un champ électromagnétique EM appliqué et une réponse sismique à partir d'un événement sismique appliqué, la méthode comprenant : l'identification du composant d'onde réfractée de la réponse du champ d'onde électromagnétique EM ; l'identification du composant d'onde réfractée de la réponse sismique ; et l'usage des deux composants à onde réfractée afin de produire un rapport sur la présence et la nature des strates.

Encore, de préférence, l'information de phase et/ou d'amplitude des deux composants à onde réfractée est utilisée. La méthode inclut de préférence les étapes de : l'usage d'un émetteur du champ électromagnétique EM ; l'usage d'une source sismique ; l'usage d'un récepteur du champ électromagnétique EM à un excentrage prédéterminé à partir de l'émetteur du champ électromagnétique ; l'usage d'un récepteur sismique à un excentrage prédéterminé à partir de la source sismique ; l'application d'un champ électromagnétique EM aux strates en utilisant l'émetteur de champ électromagnétique EM ; la détection de la réponse du champ d'onde électromagnétique EM en utilisant le récepteur du champ électromagnétique EM ; l'application d'un événement sismique aux strates en utilisant la source sismique ; et la détection de la réponse sismique en utilisant le récepteur sismique.

De préférence, l'émetteur du champ électromagnétique EM , la source sismique et les deux récepteurs sont tous dans le même plan . De préférence, la distance entre les deux récepteurs est de 25 m ou moins, de préférence 5 m ou moins, et la distance entre l'émetteur du champ électromagnétique EM et la source sismique est $\leq 0,01$ fois la valeur d'excentrage entre l'émetteur du champ électromagnétique EM et le récepteur du champ électromagnétique EM. De préférence l'émetteur du champ électromagnétique EM et la

source sismique sont sensiblement au même endroit, et le récepteur du champ électromagnétique EM et le récepteur sismique sont sensiblement au même endroit.

De préférence, l'émetteur du champ électromagnétique EM comprend une antenne à dipôle électrique, et le récepteur du champ électromagnétique EM comprend une antenne de dipôle électrique.

Alors que de plus grandes longueurs d'onde appliquées par des techniques électromagnétiques EM ne peuvent pas fournir des informations suffisantes pour fournir une indication précise des frontières des diverses strates qu'elles peuvent être utilisées pour déterminer la nature d'une formation identifiée particulière, si les possibilités pour la nature de cette formation ont des caractéristiques électromagnétiques sensiblement différentes. La résolution n'est pas particulièrement importante et des longueurs d'onde tellement plus longues qui ne souffrent pas de l'atténuation excessive peuvent être utilisées.

Les techniques de prospection sismique, peuvent toutefois détecter les frontières des strates souterraines avec une certaine exactitude, mais ne peuvent pas aisément identifier la nature des strates localisées. Ainsi en utilisant les deux techniques, les résultats peuvent être combinés et des réservoirs potentiels d'hydrocarbure peuvent être identifiés avec une plus grande certitude.

Les ondes électromagnétiques et sismiques obéissent aux équations d'ondes de base semblables. Ainsi la réponse harmonique de l'onde d'une couche enterrée dans un fond uniforme (terrains de recouvrement) est obtenue à partir de la même théorie de base dans les deux cas. La différence principale est que, dans le cas électromagnétique, il y a un nombre complexe d'onde (constante de propagation) donnant lieu à l'atténuation et la dispersion (c'est à dire la déformation d'impulsion dans le domaine de temps).

Il y a généralement trois contributions au signal résultant qui correspond à la propagation le long de différents chemins entre la source (l'émetteur) et le récepteur : le signal direct, le signal reflété, et le signal réfracté. Le signal réfracté est provoqué par un mode perméable de guide d'onde qui est excité dans la couche et, dans la limite d'une couche infiniment épaisse, il est transformé en une onde latérale ou une onde de tête qui est propagée le long de l'interface supérieure mais à l'intérieur de la couche.

Dans le cas électromagnétique, l'onde réfractée est fortement excitée, seulement avec les antennes en ligne à dipôle d'émetteur et du récepteur. Comme des fonctions de la distance excentrée, la phase de retard et l'atténuation exponentielle de cette onde dépendront toutes les deux uniquement des propriétés de la couche, c'est à dire de l'épaisseur de la couche et du contraste de résistivité relativement aux terrains de recouvrement. Dans ce cas- l'onde directe est tout à fait faible et, avec des terrains de recouvrement de basse résistivité, l'onde directe et l'onde reflétée sont fortement atténuées pour de grands excentrages. Avec un arrangement d'antennes à dipôle parallèle ou à dipôle de flanc, il y a une onde plus forte et une onde réfractée beaucoup plus faible, de sorte que les contributions soient principalement vues des ondes directes et reflétées.

La phase et l'amplitude de l'onde réfractée dépendent à la fois de l'épaisseur et de la résistivité relative de la couche, et ces dépendances sont exprimées par les formules mathématiques simples qui peuvent être utilisées pour des mesures quantitatives. Cependant, l'amplitude a également une dépendance excentrée additionnelle provoquée par l'onde géométrique s'étendant sur la couche. Par conséquent, les mesures de phase combinées avec des mesures d'amplitude rapporteront des informations maximales sur la nature de la couche. L'information additionnelle peut être obtenue en effectuant un enregistrement à des différentes fréquences et en utilisant la dépendance connue de fréquence de la phase et de l'amplitude de l'onde réfractée.

Avec les ondes sismiques P la situation est généralement semblable aux ondes électromagnétiques et aux antennes dans la configuration de flanc : Ce sont principalement les ondes directes et reflétées qui contribueront. C'est généralement le cas si la couche contient des hydrocarbures de gaz ou de liquide. Cependant, avec une matière solide de couche, il peut y avoir une conversion de mode aux interfaces (par exemple des ondes P aux ondes S et réciproquement) dans ce cas, par exemple, les ondes P de la source sismique peuvent exciter un mode perméable de guide d'onde à onde S dans la couche. Ce mode peut alors être réfracté de nouveau dans les terrains de recouvrement comme une onde P. Cette situation est analogue à l'excitation de l'onde réfractée avec les antennes en ligne dans le cas électromagnétique ; la différence principale est que maintenant c'est le contraste dans les vitesses d'ondes sismiques, plutôt que le contraste de résistivité, qui détermine la retard de la phase (et le temps associé du mouvement) de l'onde sismique réfractée. Une

détermination plus fiable de la nature du réservoir souterrain peut donc être obtenue en combinant la connaissance de sa réponse sismique et sa réponse électromagnétique.

En ce qui concerne les ondes électromagnétiques, les grands excentrages sont nécessaires pour l'enregistrement des ondes sismiques réfractées. Donc les deux techniques peuvent être commodément combinées dans une étude commune dans lequel des enregistrements électromagnétiques et sismiques sont simultanément effectués. Si les antennes électromagnétiques d'enregistrement sont en contact avec le fond de la mer, elles peuvent être combinées avec les systèmes sismiques d'enregistrement 4C qui permettent à la fois l'enregistrement des ondes P et S.

De préférence, l'antenne de récepteur et le récepteur sismique sont montés sur la même structure, par exemple dans une période de 5 à 25 secondes l'un par rapport à l'autre, et le champ électromagnétique EM et l'événement sismique sont appliqués simultanément. Alternativement, le champ électromagnétique EM et l'événement sismique sont étroitement et séquentiellement appliqués par exemple dans une période de 5 à 25 secondes.

Dans un système préféré, la réponse du champ de l'onde électromagnétique EM et/ou la réponse sismique est analysée afin d'identifier le composant respectif de l'onde réfractée. Puis, les deux composants d'ondes réfractées sont utilisés pour la détermination de la présence et de la nature des strates. De préférence, le système inclut en plus l'extraction et l'usage de l'information de phase et/ou d'amplitude à partir des réponses, mieux à partir des réponses à onde réfractée. De préférence, l'onde reflétée est identifiée dans la réponse sismique, et le composant d'onde reflétée est utilisé pour identifier les strates souterraines.

En plus, la méthode peut inclure l'usage d'un récepteur magnétique au même endroit que les autres récepteurs ; la détection d'une réponse du champ magnétique ; et l'usage de la réponse du champ magnétique en combinaison avec la réponse du champ d'onde électromagnétique EM et la réponse sismique. En ce qui concerne le champ électrique, la réponse du champ magnétique est provoquée par la transmission électromagnétique EM et le signal magnéto-tellurique qui est toujours présent comme un fond de bruit.

La résistivité de l'eau de mer est de 0,3 ohms-m environ et celle des terrains de recouvrement sous le fond de la mer serait typiquement de 0,5 à 4 ohms-m, par exemple de 2 ohms-m environ. Cependant, la résistivité d'un réservoir d'hydrocarbure est susceptible d'être de 20-300ohms-m environ. Donc la résistivité d'une formation contenant de l'hydrocarbure sera typiquement de 20 à 300 fois plus grandes qu'une formation aquifère. Cette grande différence peut être exploitée en utilisant des techniques électromagnétique EM.

La résistivité électrique d'un réservoir d'hydrocarbure est normalement bien plus élevée que le matériel environnant (terrains de recouvrement). Les ondes électromagnétiques EM s'atténuent plus rapidement, et plus lentement à l'intérieur d'un milieu de basse résistivité, comparé à un milieu de résistivité élevée. En conséquence, le réservoir d'hydrocarbure atténuera moins les ondes électromagnétiques EM, comparé à des terrains de recouvrement de résistivité inférieure. En outre, la vitesse des ondes électromagnétiques EM sera plus élevée à l'intérieur du réservoir.

Ainsi, une antenne d'émetteur à dipôle électrique sur ou près du fond sous-marin induit les champs électromagnétiques EM et les courants dans l'eau de mer et dans les strates de la sous surface. Dans l'eau de mer, les champs électromagnétiques EM sont fortement atténués à cause de la conductivité élevée dans l'environnement salin, tandis que les strates de la sous-surface, avec une moindre conductivité, cause moins d'atténuation. Si la fréquence est assez basse (dans l'ordre de 1 hertz), l'énergie électromagnétique EM peut pénétrer profondément dans la sous-surface, et des couches géologiques profondément enterrées ayant une résistivité électrique plus élevée que les terrains de recouvrement (comme par exemple un réservoir rempli par hydrocarbure) affecteront les ondes électromagnétiques EM. Selon l'angle d'incidence et l'état de polarisation, un incident d'onde électromagnétique EM sur une couche résistive élevée peut exciter un mode d'onde (guidé) canalisé dans la couche. Le mode canalisé est propagé latéralement le long de la couche et fuit encore l'énergie vers les terrains de recouvrement et les récepteurs placés sur le fond sous-marin. Dans l'application en question, un tel mode d'onde est désigné sous le nom d' « onde réfractée ».

La distance entre la source électromagnétique EM et un récepteur est désignée sous le nom de l'excentrage. Étant donné qu'une onde réfractée dans une formation contenant de

l'hydrocarbure sera moins atténuée qu' une onde directe en eau de mer (ou dans les terrains de recouvrement), pour toute formation donnée contenant du H/C (hydrocarbure), il y aura un excentrage critique auquel l'onde réfractée et l'onde directe auront la même force de signal. Celle ci peut être typiquement environ de deux à trois fois plus grande que la distance la plus courte à partir de la source ou du récepteur jusqu' à la formation contenant du H/C. Ainsi, quand l'excentrage est plus grand que l'excentrage critique, les ondes électromagnétiques EM radiales qui sont réfractées, et guidées par le réservoir, renverront une contribution importante au signal reçu. Le signal reçu sera d'une grandeur importante et arrivera plus tôt (c'est à dire aura un déphasage) comparé au cas où il n'y a aucun réservoir du H/C. Dans de nombreux cas, le changement de phase et/ou le changement de grandeur enregistré à des distances plus grandes que l'excentrage critique, peut être directement utilisé pour le calcul de la résistivité du réservoir. En outre, la profondeur du réservoir peut être impliquée à partir de l'excentrage critique et/ou de la pente d'une courbe représentant le déphasage enregistré du signal ou la grandeur enregistrée du signal en fonction de l'émetteur – l'excentrage du récepteur. L'excentrage le plus utile de la combinaison électromagnétique EM source-récepteur est en général plus grand que « l'excentrage critique ». A des excentrages plus grands que l'excentrage critique, un changement de la pente d'une courbe représentant le déphasage enregistré du signal ou la grandeur enregistrée du signal en fonction de l'excentrage de la combinaison source-récepteur peut indiquer la frontière du réservoir.

L'excentrage peut être changé en déplaçant les récepteurs ; ou l'émetteur et la source sismique, ou même tous les deux. Alternativement, l'excentrage peut être maintenu constant en déplaçant à la fois la source réceptrice, émettrice et sismique.

Les ondes électromagnétiques et sismiques obéissent aux équations de base semblables. Ainsi, la réponse de l'onde harmonique du temps d'une couche enterrée dans un fond uniforme (terrains de recouvrement) est obtenue à partir de la même théorie de base dans les deux cas. La différence principale est que, dans le cas électromagnétique, il y a un nombre complexe d'onde (la constante de propagation) donnant lieu à l'atténuation et la dispersion (c'est à dire la déformation d'impulsion dans le domaine du temps).

Si l'excentrage entre l'émetteur électromagnétique EM et le récepteur électromagnétique EM est sensiblement plus grand trois fois que la profondeur d'un réservoir du fond de la mer (c'est à dire l'épaisseur des terrains de recouvrement), il serait

préférable que l'atténuation de l'onde réfractée du réservoir soit souvent inférieure, moins que celle de l'onde directe et de l'onde reflétée. La raison est le fait que le chemin de l'onde réfractée sera efficacement la distance de l'émetteur vers le bas au réservoir c'est à dire l'épaisseur des terrains de recouvrement, plus l'excentrage le long du réservoir, plus la distance à partir du réservoir jusqu'aux récepteurs c'est à dire encore une fois l'épaisseur des terrains de recouvrement.

Si aucun réservoir de H/C n'est présent dans la zone de l'émetteur électromagnétique EM et du récepteur électromagnétique EM, la réponse de l'onde détectée sera composée d'une onde directe et probablement d'une onde reflétée. Elle sera donc fortement atténuée et sa phase changera rapidement avec l'augmentation de l'excentrage.

Cependant, si un réservoir de H/C est présent, il y aura un composant d'onde réfractée dans la réponse d'onde et ceci peut prédominer. En raison de la vitesse plus élevée de phase (la vitesse d'onde) dans des strates remplies d'H/C, ceci aura un effet sur la phase de la réponse reçue d'onde.

En fonction de l'excentrage entre la source et le récepteur, la phase de l'onde réfractée changera presque linéairement et beaucoup plus lentement que les phases des ondes directes et reflétées et, puisque les dernières ondes sont également beaucoup plus fortement atténuées avec l'augmentation de l'excentrage, il y aura une transition d'une variation de phase rapide à une variation de phase lente par rapport à la pente presque constante, indiquant la présence du réservoir de H/C. Si le bord du réservoir est croisé, cette variation de phase lente changera en une variation de phase rapide et une atténuation forte. Ainsi, pour de grands excentrages, un changement d'une variation de phase lente et linéaire à une variation rapide, ou vice versa, indiquera la frontière d'un réservoir de H/C.

Si un excentrage constant est maintenu entre l'émetteur et le récepteur tout en changeant la position de l'une ou de tous les deux, le déphasage enregistré devrait être constant aussi longtemps que la résistivité des strates de la sous-surface au-dessous et entre la source et le récepteur est constante. Si un changement de déphasage est détecté tout en déplaçant l'émetteur et/ou le récepteur à un excentrage constant, ceci indiquerait qu'un des instruments est dans les alentours de la frontière d'un réservoir de H/C.

La polarisation de la transmission de source déterminera la quantité d'énergie transmise dans la couche contenant du pétrole dans la direction du récepteur. Une antenne de dipôle est donc l'émetteur choisi. En général, il est préférable d'adopter un dipôle pour lequel le moment est actuel c'est à dire le produit de la longueur courante et utile, est grand. Le dipôle d'émetteur peut donc être de 100 à 1000 mètres de longueur et peut être remorqué dans deux directions différentes, qui peuvent être orthogonales. La longueur optimale du dipôle de récepteur est déterminée par le moment actuel du dipôle de source et l'épaisseur des terrains de recouvrement.

La technique de l'invention peut être applicable en explorant les réservoirs souterrains sur terre mais elle est particulièrement applicable aux réservoirs sous-marins et souterrains. De préférence, le champ est appliqué en utilisant un ou plusieurs émetteurs situés sur la surface de la terre, et la détection est effectuée par un ou plusieurs récepteurs situés sur la surface de la terre. Dans une application préférée, l'/les émetteur (s) et/ou les récepteurs sont situés sur ou près du fond de la mer ou du lit d'une autre zone de l'eau.

Le champ électromagnétique EM transmis peut être vibré, cependant, une onde continue, cohérente facultativement avec des fréquences interposées, est préférée. Elle peut être transmise pendant une période significative de temps, durant laquelle l'émetteur devrait de préférence être stationnaire (bien qu'il pourrait se déplacer lentement), et la transmission stable. Ainsi, le champ peut être transmis pendant une période de 3 secondes à 60 minutes, de préférence de 10 secondes à 5 minutes, par exemple environ pour 1 minute environ. Les récepteurs électromagnétiques EM peuvent également être arrangés pour détecter une onde directe et reflétée comme l'onde réfractée du réservoir, et l'analyse peut inclure des données de distinction de phase et d'amplitude de l'onde réfractée à partir de données correspondantes de l'onde directe.

La longueur d'onde de la transmission devrait être de préférence dans l'ordre de

$$0,1 \text{ s} \leq \lambda \leq 5 \text{ s} ;$$

où λ est la longueur d'onde de la transmission par les terrains de recouvrement et s est la distance à partir du fond de la mer jusqu' au réservoir. Plus, de préférence de 0,5 s à 2 s

environ . La fréquence de transmission peut être de 0,01 hertz à 1 kilohertz, de préférence de 0,1 à 20 hertz, par exemple 1 hertz.

La distance entre l'émetteur et un récepteur devrait, de préférence, être dans l'ordre de $0,5 \lambda \leq L \leq 10 \lambda$;

où λ est la longueur d'onde de la transmission par les terrains de recouvrement et L est la distance entre l'émetteur et le premier récepteur.

Il sera apprécié que l'invention en question puisse être utilisée pour la détermination de la position, l'ampleur, la nature et le volume d'une strate particulière, elle peut également être utilisée pour la détection des changements de ces paramètres sur une certaine période de temps par exemple en laissant les récepteurs (et probablement aussi l'émetteur du champ électromagnétique EM et la source sismique) in situ.

Les signaux électromagnétiques sont sensibles à la résistivité électrique des couches souterraines et, en conséquence, les méthodes électromagnétiques sont bien convenables à la détection des couches résistives élevées telles que les réservoirs de H/C. Cependant, les couches sans hydrocarbures peuvent également avoir des résistivités électriques élevées, par exemple, les couches composées de sel , de basalte, des cordes de calcite, ou d'autres roches denses de basses porosités et de basses teneurs en eau. Les couches à des résistivités élevées de ce type auront généralement des vitesses sismiques plus élevées que les terrains de recouvrement de basses résistivités , tandis que les réservoirs de H/C à haute résistivité ont généralement des vitesses sismiques inférieures que les terrains de recouvrement de basses résistivités. Des méthodes sismiques peuvent donc être utilisées pour la distinction des réservoirs de H/C de résistivité élevée des autres couches de résistivité élevée.

Une distinction entre les réservoirs de H/C et d'autres couches de résistivité élevée peut être faite en se basant sur des données sismiques disponibles de réflexion pour la perspective en question. Cependant, une distinction plus fiable sera obtenue à partir des données sismiques de réfraction enregistrées avec de grands excentrages entre la source sismique et le récepteur sismique. Ceci peut de préférence être effectué en combinaison avec la collecte de données électromagnétiques.

Les antennes à récepteur électromagnétique qui sont situées au fond marin seront de préférence combinées avec les récepteurs sismiques qui sont également en contact avec le fond marin. Ceci signifie que seulement une étude sera exigée pour enregistrer les données électromagnétiques et sismiques, et il sera possible d'effectuer un enregistrement sismique à quatre composants complets-4C- (trois composants du vecteur de déplacement en plus de la pression) à la fois des composants des ondes P et S des signaux sismiques réfractés.

Ca serait appréciable que l'absence de n'importe quel composant d'onde réfractée dans la réponse du champ d'onde électromagnétique EM ou la réponse sismique n'indiquera aucune formation en présence d'une résistivité différente ou des propriétés acoustiques différentes. La présence d'un composant d'onde réfractée dans la réponse du champ électromagnétique EM et la réponse sismique indiquera la présence d'une formation avec la résistivité élevée et la vitesse acoustique élevée (basse porosité) qui suggérerait par exemple le basalte ou un dôme de sel. La présence d'un composant d'onde électromagnétique EM réfractée et l'absence d'un composant sismique à onde réfractée indiqueront la résistivité élevée ainsi que la basse vitesse acoustique et la porosité tellement basse, qui suggéreraient un réservoir de H/C (hydrocarbure) probablement dans une formation de roche poreuse telle que le grès.

Ainsi, pour de grands excentrages, une couche de résistivité élevée avec des hydrocarbures est caractérisée par la présence d'une onde électromagnétique réfractée sans aucune onde sismique réfractée. En revanche, une couche de résistivité élevée qui est sans hydrocarbures est caractérisée par la présence d'une onde électromagnétique réfractée et d'une onde sismique réfractée. En enregistrant tous les deux types d'ondes à la fois dans la même étude, il est possible d'obtenir une identification plus fiable des réservoirs de H/C.

L'équipement sismique, y compris la source et le récepteur sont vraisemblablement conventionnels à la fois dans leur conception et leur usage.

L'invention permet aux opérateurs d'éviter l'effort et les dépenses d'une étude 3D en effectuant des quantités à une première étude sismique 2D et puis en adoptant une méthode selon l'invention par rapport aux zones d'intérêt potentiel indiquées par l'étude initiale.

L'invention en question s'étend à un assemblage de récepteurs comprenant : une structure de soutènement ; une antenne de récepteur à dipôle électrique montée sur la structure de soutènement ; un récepteur sismique de trois axes monté sur la structure de soutènement ; un arrangement de géophones (détecteurs par le son) monté sur la structure de soutènement ; un hydrophone monté sur la structure de soutènement ; et une ancre arrangée pour être attachée à la structure de soutènement au fond marin.

L'invention s'étend également à une méthode d'étude des strates sous-marines comme décrit ci-dessus par rapport à la production du rapport d'étude, et également à un rapport d'étude produit par les méthodes de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Une méthode pour la production d'un rapport d'étude des strates souterraines qui comprend : l'usage d'un émetteur du champs électromagnétique EM ; l'usage d'une source sismique sensiblement au même endroit que l'émetteur du champ électromagnétique EM ; l'usage d'un récepteur du champ électromagnétique EM à une distance excentrée prédéterminée de l'émetteur ; l'usage d'un récepteur sismique sensiblement au même endroit que le récepteur du champ électromagnétique EM ; l'application d'un champ Electromagnétique EM aux strates en utilisant l'émetteur du champ électromagnétique EM ; la détection de la réponse du champ d' onde électromagnétique EM en utilisant le récepteur du champ électromagnétique EM ; l'application d'un événement sismique aux strates en utilisant la source sismique sensiblement au même endroit que l'émetteur du champ électromagnétique EM ; la détection de la réponse sismique en utilisant le récepteur sismique sensiblement au même endroit que le récepteur du champ électromagnétique EM ; l'analyse de la réponse du champ d'onde électromagnétique EM ; l'analyse de la réponse sismique et la réconciliation des deux réponses, afin de produire un rapport sur la présence et la nature des strates.
2. Une méthode selon la revendication 1, qui inclut en plus l'extraction et l'usage de l'information de phase et/ou d'amplitude à partir des réponses.
3. Une méthode selon n'importe quelle revendication précédente, qui inclut l'identification du composant d'onde réfractée de la réponse du champ d'onde électromagnétique EM , l'identification du composant d'onde réfractée de la réponse sismique, et l'usage des deux composants des ondes réfractées pour produire le rapport d'étude.
4. Une méthode selon la revendication 3, dans laquelle l'information de phase et/ou d'amplitude des deux composants des ondes réfractées est utilisée.
5. Une méthode pour produire un rapport d'étude des strates souterraines en utilisant une réponse du champ d'onde électromagnétique EM à partir d'un champ électromagnétique EM appliqué et une réponse sismique à partir d'un événement sismique appliqué, la méthode comprend : l'identification du composant d'onde réfractée de la réponse du champ électromagnétique EM ; l'identification du composant d'onde réfractée de la réponse

séismique ; et l' usage des deux composants d'ondes réfractées pour produire un rapport sur la présence et la nature des strates.

6. Une méthode selon la revendication 5, dans laquelle l'information de phase et/ou d'amplitude des deux composants à onde réfractée est utilisée.

7. Une méthode selon la revendication 5 ou la revendication 6, qui inclut les étapes d' usage d'un émetteur de champ électromagnétique EM ; l'usage d'une source séismique ; l'usage d'un récepteur de champ électromagnétique EM à un excentrage prédéterminé de l'émetteur du champ électromagnétique EM ; l'usage d'un récepteur séismique à un excentrage prédéterminé de la source séismique ; l'application d'un champ électromagnétique EM aux strates en utilisant l'émetteur de champ électromagnétique EM ; la détection de la réponse de champ d'onde électromagnétique EM en utilisant le récepteur du champ électromagnétique EM ; l'application d'un événement séismique aux strates en utilisant la source séismique ; et la détection de la réponse séismique par l' usage du récepteur séismique.

8. Une méthode selon la revendication 7, dans laquelle l'émetteur du champ électromagnétique EM , la source séismique et les deux récepteurs sont dans le même plan.

9. Une méthode selon la revendication 7 ou la revendication 8, dans laquelle la distance entre les deux récepteurs est de 25 m ou moins, de préférence 5 m ou moins.

10. Une méthode selon l'une des revendications 7 à 9, dans laquelle la distance entre l'émetteur du champ électromagnétique EM et la source séismique est $\leq 0,01$ fois la valeur de l'excentrage entre l'émetteur du champ électromagnétique EM et le récepteur du champ électromagnétique EM.

11. Une méthode selon l'une des revendications 7 à 10, dans laquelle l'émetteur du champ électromagnétique EM et la source séismique sont sensiblement au même endroit.

12. Une méthode selon l'une des revendications 7 à 11, dans laquelle le récepteur du champ électromagnétique EM et le récepteur séismique sont sensiblement au même endroit.

13. Une méthode selon l'une des revendications 1 à 4 ou des revendications 7 à 13, dans laquelle l'émetteur du champ électromagnétique EM comprend une antenne à dipôle électrique.
14. Une méthode selon l'une des revendications 1 à 4 ou des revendications 7 à 14, dans laquelle le récepteur du champ électromagnétique EM comprend une antenne à dipôle électrique.
15. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le récepteur du champ électromagnétique EM et le récepteur sismique sont montés sur la même structure.
16. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le champ électromagnétique EM et l'événement sismique sont appliqués simultanément.
17. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le champ électromagnétique EM et l'événement sismique sont appliqués étroitement et séquentiellement par exemple 5 à 25 secondes.
18. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le composant d'onde réflétiée de la réponse sismique est identifié et le composant d'onde réflétiée est utilisée pour identifier les strates souterraines.
19. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, qui inclut : en plus, l'usage d'un récepteur magnétique sensiblement au même endroit que le récepteur du champ électromagnétique EM ; la détection d'une réponse du champ magnétique ; et l'usage de la réponse du champ magnétique en combinaison avec la réponse du champ d'onde électromagnétique EM et la réponse sismique.
20. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, qui comprend la répétition du procédé avec l'émetteur du champ électromagnétique EM et la source sismique, et/ou le récepteur du champ électromagnétique EM et le récepteur sismique, dans des différents endroits pour une pluralité de transmissions électromagnétiques EM et d'événements sismiques.

21. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le procédé est répété à des différents excentrages.
22. Une méthode selon l'une des revendications précédentes qui inclut le déploiement et l'usage d'une pluralité de récepteurs du champ électromagnétique EM et/ou d'une pluralité de récepteurs sismiques.
23. Une méthode selon la revendication 22, dans laquelle les récepteurs du champ électromagnétique EM et les récepteurs sismiques sont montés sur un câble.
24. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle l'émetteur du champ électromagnétique EM et/ou de la source sismique, et/ou le récepteur électromagnétique EM et/ou le récepteur sismique, sont situés sur ou près du fond de la mer ou du lit d'une autre zone d'eau.
25. Une méthode selon la revendication 24, dans laquelle la source sismique est située à ou près de la surface de l'eau.
26. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la fréquence du champ électromagnétique EM est sans interruption variable au cours de la période de transmission.
27. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le champ électromagnétique EM est transmis pendant une période de 3 secondes à 60 minutes.
28. Une méthode selon la revendication 27, dans laquelle le temps de transmission est de 10 secondes à 5 minutes.
29. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la longueur d'onde de la transmission est donnée par la formule :

$$0,1 \text{ s} \leq \lambda \leq 10 \text{ s} ;$$

dans laquelle λ est la longueur d'onde de la transmission par les terrains de recouvrement et s est la distance à partir du fond de la mer jusqu'au réservoir.

30. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle l'excentrage entre l'émetteur du champ électromagnétique EM et le récepteur du champ électromagnétique EM est indiqué par la formule :

$$0,5 \lambda \leq L \leq 10 \lambda ;$$

où λ est la longueur d'onde de la transmission par les terrains de recouvrement et L est la distance entre l'émetteur et le récepteur.

31. Une méthode selon l'une des revendications précédentes 26 à 30, dans laquelle la fréquence de transmission est de 0,01 hertz à 1 kilohertz.

32. Une méthode selon la revendication 31, dans laquelle la fréquence de transmission est de 0,1 à 20 hertz.

33. Une méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le récepteur séismique marque un enregistrement séismique du composant à écoulement complet, comprenant trois composants de vecteur de déplacement et un composant de pression.

34. Dispositif pour l'usage en effectuant une méthode selon l'une des revendications précédentes, y compris un assemblage de récepteurs comprenant : une structure de soutènement ; une antenne de récepteurs à dipôle électrique montées sur la structure de soutènement ; un récepteur séismique de trois axes monté sur la structure de soutènement ; un arrangement de géophones (détecteurs par le son) montés sur la structure de soutènement ; un hydrophone monté sur la structure de soutènement ; et une ancre arrangée pour fixer la structure de soutènement au fond marin.

35. Un rapport d'étude produit par une méthode selon l'une des revendications 1 à 33.