(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) **N° de publication :** **2 997 202**

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **12 60122**

(51) Int Cl[8] : ***G 01 V 1/38*** *(2013.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 24.10.12.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 25.04.14 Bulletin 14/17.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *CGGVERITAS SERVICES SA Société anonyme* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** DOWLE ROBERT et PAYEN THIERRY.

(73) **Titulaire(s) :** CGGVERITAS SERVICES SA Société anonyme.

(74) **Mandataire(s) :** CABINET REGIMBEAU Société civile.

(54) VARIABLE-DEPTH SEISMIC SOURCE AND METHOD.

(57) Procédé et réseau de sources acoustiques marines pour générer une onde acoustique dans une masse d'eau. Le réseau de sources acoustiques marines comprend au moins un sous-réseau. Ledit au moins un sous-réseau comprend un flotteur auquel une pluralité de points de source sont attachés. Les points de source peuvent être prévus sur une ligne incurvée, une droite, ou une autre forme souhaitée de sorte qu'une source à profondeur variable soit obtenue avec un flotteur unique. Les points de source peuvent être divisés en des groupes et les groupes peuvent être prévus sur la ligne incurvée, la droite ou une autre forme souhaitée.

FR 2 997 202 - A1

Source sismique à profondeur variable et procédé

CONTEXTE

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] Les modes de réalisation de l'objet présenté ici concernent généralement des procédés et des systèmes associés à l'exploration sismique et, plus particulièrement, des mécanismes et des techniques pour fournir une source sismique à profondeur variable qui peut fournir une forte énergie basse fréquence, un spectre régulier, et un nombre réduit d'entailles de fantômes haute fréquence.

EXAMEN DU CONTEXTE

[0002] L'acquisition et le traitement de données sismiques marines génèrent un profil (une image) d'une structure géophysique sous les fonds océaniques. Bien que ce profil ne fournisse pas un emplacement précis des gisements de pétrole et de gaz, il suggère aux hommes du métier la présence ou l'absence de ces gisements. Ainsi, la fourniture d'une image de haute résolution des structures sous les fonds océaniques est un processus en cours.

[0003] Pendant un processus de rassemblement sismique, comme montré sur la figure 1, un navire 10 remorque un réseau de récepteurs sismiques 11 prévus sur des flûtes 12. Les flûtes peuvent être disposées horizontalement, c'est-à-dire, se trouver à une profondeur constante par rapport à une surface 14 de l'océan. Les flûtes peuvent être disposées pour qu'elles aient des agencements spatiaux autres

qu'horizontaux, par exemple, un agencement à profondeur variable. Le navire 10 remorque également un réseau de sources sismiques 16 qui est configuré pour générer une onde sismique 18. L'onde sismique 18 se propage vers le bas, vers les fonds océaniques 20, et pénètre dans les fonds océaniques jusqu'à ce que, finalement, une structure de réflexion (réflecteur) 22 réfléchisse l'onde sismique. L'onde sismique réfléchie 24 se propage vers le haut jusqu'à ce qu'elle soit détectée par le récepteur 11 sur la flûte 12. Sur la base de ces données, une image de la sous-surface est générée.

[0004] Dans un effort pour améliorer la résolution de l'image de sous-surface, une solution novatrice (le système BroadSeis de CGGVeritas, Massy, France) a été mise en œuvre sur la base de données sismiques large bande. Le système BroadSeis peut utiliser des flûtes « Sentinel » (produites par Sercel, Nantes, France) avec des caractéristiques de faible bruit et la capacité de déployer les flûtes dans des configurations permettant l'enregistrement d'une octave supplémentaire ou plus de basses fréquences. Les flûtes sont conçues pour enregistrer des données sismiques tout en étant remorquées à des profondeurs plus grandes et sont plus silencieuses que les autres flûtes. Ainsi, les récepteurs de ces flûtes nécessitent un réseau de sources marines large bande.

[0005] Un réseau de sources marines large bande peut comprendre un ou plusieurs sous-réseaux (habituellement trois sous-réseaux), et chaque sous-réseau peut comprendre une pluralité de points de source (par exemple, un canon à air) prévus le long d'une direction X, comme montré sur la figure 2. La figure 2 montre un sous-réseau 17 unique comportant trois points de source 34. Un tel sous-réseau de

sources 17 comprend un flotteur 30 qui peut être connecté à un navire (non montré) par l'intermédiaire d'une connexion 32. Le flotteur 30 est configuré pour flotter à la surface de l'eau ou à proximité de la surface de l'eau et pour supporter la pluralité de points de source 34. Le point de source peut être non seulement un canon à air, mais également n'importe quelle autre source connue dans l'art. Les points de source 34 sont suspendus par des câbles 36 appropriés au flotteur 30 et pourraient également être connectés les uns aux autres par des câbles 38. Un câble ombilical 40 peut relier un ou plusieurs des points de source 34 au navire pour réaliser une connexion mécanique, et également des câbles électriques, pneumatiques et/ou de communication. Les points de source 34 sont généralement prévus à une même profondeur par rapport à une surface de l'eau.

[0006] Certains inconvénients d'un tel réseau de sources sont une faible énergie basse fréquence, un spectre irrégulier, et la présence d'entailles de fantômes haute fréquence. Un autre réseau de sources est examiné dans le document WO 2009/005939, dont le contenu entier est incorporé ici par voie de référence. Cette référence présente l'utilisation d'une pluralité de flotteurs 40 flottant à la surface 42 de l'eau, comme montré sur la figure 3. Il existe des sous-réseaux qui comprennent des sources individuelles 44 prévues à une première profondeur z1 et des sous-réseaux qui comprennent des sources individuelles 46 prévues à une deuxième profondeur z2, supérieure à z1. Cependant, une telle configuration est encore affectée par les inconvénients examinés ci-dessus. En outre, chaque flotteur fournit un support flottant pour des éléments de source situés à une même profondeur.

[0007] Un réseau de sources qui présente de meilleures caractéristiques que les réseaux de sources existants est présenté dans la demande de brevet n° 13/468 589, déposée le 10 mai 2012, et attribuée au même cessionnaire que celui de la présente demande, dont la présentation entière est incorporée ici par voie de référence. Ce réseau de sources est illustré sur la figure 4 en tant que réseau de sources 50. Le réseau de sources 50 peut comprendre trois sous-réseaux 60a-c différents, chaque sous-réseau comportant un flotteur 52a-c correspondant, respectivement. Une pluralité de points de source 64 sont suspendus à chaque flotteur. Cependant, à la différence des sources existantes, on doit noter que les points de source 64 sont suspendus, au même flotteur, à deux profondeurs différentes, et que la configuration des points de source attachés à un flotteur peut être différente de la configuration des points de source attachés à un autre flotteur. Par exemple, la figure 4 montre que le sous-réseau 60a comporte le point de source à plus grande profondeur derrière les points de source peu profonds le long de la direction Y, alors que le sous-réseau 60c comporte le point de source à plus grande profondeur entre les points de source peu profonds le long de la direction Y.

[0008] Cependant, même cette source améliorée semble présenter certaines limitations ; par exemple, une « aspiration » des fréquences moyennes naturelles d'environ 10 dB en profondeur dans son spectre d'énergie et le manque d'énergie intense dans l'intervalle de fréquence de 80 à 120 Hz.

[0009] Ainsi, on souhaite proposer un nouveau réseau de sources qui surmonte ces problèmes et fournit une forte énergie basse fréquence, un spectre régulier, et un nombre réduit d'entailles de fantômes haute fréquence. Des entailles

de fantômes apparaissent lorsqu'une énergie sismique se propageant vers le haut est réfléchie ou dispersée vers le bas à la surface de la mer. Les réflexions des fantômes sont également détectées par les récepteurs sismiques et génèrent des entailles dans les données enregistrées.

RÉSUMÉ

[0010] Selon un exemple d'un mode de réalisation, il existe un réseau de sources acoustiques marines pour générer une onde acoustique dans une masse d'eau. Le réseau de sources acoustiques marines comprend un premier sous-réseau configuré pour être remorqué par un navire, le premier sous-réseau comprenant un premier flotteur et une pluralité de premiers points de source connectés au premier flotteur. La pluralité de premiers points de source sont divisés en au moins trois groupes (G1 à G3) et chaque groupe est prévu à des premières profondeurs (D1 à D3) correspondantes et chaque groupe comprend au moins un point de source.

[0011] Selon un autre exemple de mode de réalisation, il existe un réseau de sources acoustiques marines pour générer une onde acoustique dans une masse d'eau. Le réseau de sources acoustiques marines comprend un premier sous-réseau configuré pour être remorqué par un navire, le premier sous-réseau comprenant un premier flotteur et une pluralité de premiers points de source connectés au premier flotteur. La pluralité de premiers points de source sont prévus à des premières profondeurs (z1 à z4) correspondantes, chaque première profondeur étant différente des autres premières profondeurs.

[0012] Selon encore un autre exemple de mode de réalisation, il existe un procédé pour générer une onde acoustique sous l'eau. Le procédé comprend le remorquage d'un réseau de sources acoustiques marines sous l'eau, dans lequel le réseau de sources acoustiques marines comprend un premier sous-réseau ; la liaison d'une pluralité de premiers points de source du premier sous-réseau à un premier flotteur ; et la génération de l'onde acoustique avec la pluralité de premiers points de source. La pluralité de premiers points de source sont divisés en au moins trois groupes (G1 à G3) et chaque groupe est prévu à des premières profondeurs (D1 à D3) correspondantes.

[0013] Selon encore un autre exemple de mode de réalisation, il existe un procédé pour générer une onde acoustique sous l'eau. Le procédé comprend le remorquage sous l'eau d'un réseau de sources acoustiques marines qui comprend un premier sous-réseau ; la liaison d'une pluralité de premiers points de source à un premier flotteur du premier sous-réseau ; et la génération de l'onde acoustique avec la pluralité de premiers points de source. La pluralité de premiers points de source sont prévus à des premières profondeurs (z1 à z4) correspondantes, chaque première profondeur étant différent des autres premières profondeurs.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0014] Les dessins joints, qui sont incorporés dans la spécification et qui constituent une partie de celle-ci, illustrent un ou plusieurs modes de réalisation et, avec la description, expliquent ces modes de réalisation. Sur les dessins :

[0015] la figure 1 est un schéma d'un système d'étude sismique classique ;

[0016] la figure 2 est un schéma d'un flotteur comportant un ensemble de sources à une même profondeur ;

[0017] la figure 3 est un schéma d'une pluralité de flotteurs comportant chacun un ensemble de sources à une profondeur unique prédéterminée ;

[0018] la figure 4 est une vue globale d'une pluralité de flotteurs comportant chacun deux ensembles de sources répartis à deux profondeurs différentes selon un exemple de mode de réalisation ;

[0019] les figures 5A et 5B sont des schémas de sources sismiques à profondeur variable selon des exemples de modes de réalisation ;

[0020] les figures 6A à 6D sont des schémas d'autres sources sismiques à profondeur variable selon des exemples de modes de réalisation ;

[0021] les figures 7A à 7B sont des schémas illustrant un point de source selon un exemple de mode de réalisation ;

[0022] la figure 8 est un schéma d'encore une autre source sismique à profondeur variable selon un exemple de mode de réalisation ;

[0023] la figure 9 est un schéma d'encore une autre source sismique à profondeur variable selon un exemple de mode de réalisation ;

[0024] la figure 10 est un schéma de sources sismiques étagées selon un exemple de mode de réalisation ;

[0025] la figure 11 est un schéma d'une autre source sismique à profondeur variable selon un exemple de mode de réalisation ;

[0026] les figures 12 et 13 sont des graphes d'une signature de champ lointain et d'un spectre d'amplitude d'une source sismique à profondeur variable selon un exemple de mode de réalisation ;

[0027] la figure 14 est un graphe comparant les spectres d'une source sismique de référence et d'une source sismique à profondeur variable selon un exemple de mode de réalisation ;

[0028] la figure 15 est un graphe d'un spectre d'amplitude d'une source sismique à profondeur variable selon un exemple de mode de réalisation ;

[0029] la figure 16 est un organigramme d'un procédé pour utiliser une source sismique à profondeur variable selon un exemple de mode de réalisation ;

[0030] la figure 17 est un organigramme d'un procédé pour utiliser une autre source sismique à profondeur variable selon un exemple de mode de réalisation ; et

[0031] la figure 18 illustre une flûte incurvée.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0032] La description qui suit des exemples de modes de réalisation fait référence aux dessins joints. Les mêmes numéros de référence sur les différents dessins identifient les mêmes éléments ou des éléments similaires. La description

détaillée qui suit ne limite pas l'invention. Au lieu de cela, l'étendue de l'invention est définie par les revendications jointes. Les modes de réalisation qui suivent sont examinés, par souci de simplicité, en relation avec la terminologie et la structure d'un réseau de sources à profondeur variable remorquées par un navire. Cependant, les modes de réalisation qui seront examinés ensuite ne sont pas limités à des réseaux de sources à profondeur variable, mais peuvent être appliqués à d'autres sources sismiques dont les points de source sont répartis à plusieurs profondeurs, inclinés ou autrement.

[0033] Une référence dans toute la spécification à « un mode de réalisation » signifie qu'une fonctionnalité, une structure ou une caractéristique particulière décrite en relation avec un mode de réalisation est incluse dans au moins un mode de réalisation de l'objet présenté. Ainsi, l'apparition de l'expression « dans un mode de réalisation » à divers emplacements dans toute la spécification ne fait pas nécessairement référence au même mode de réalisation. En outre, les fonctionnalités, structures ou caractéristiques particulières peuvent être combinées de n'importe quelle manière appropriée dans un ou plusieurs modes de réalisation.

[0034] Les technologies émergentes dans les études sismiques marines nécessitent un réseau de sources qui obtient une bonne diversité de volume de canon, un spectre régulier, un intense spectre basse fréquence, et une suppression plus importante des entailles. Un tel réseau de sources a été développé par les présents inventeurs et est illustré schématiquement sur la figure 5A en tant que réseau de sources 500. Le réseau de sources peut ne comprendre qu'un premier sous-réseau 502. Cependant, comme montré sur la figure 5B, le réseau de sources

500 peut comprendre non seulement le premier sous-réseau 502, mais également un deuxième sous-réseau 504. D'autres réseaux de sources peuvent avoir plus de deux sous-réseaux.

[0035] Le premier sous-réseau 502 comporte un flotteur 506 qui est configuré pour flotter à la surface de l'eau 508 ou sous l'eau à une profondeur prédéterminée. Une pluralité de points de source 510a-d sont suspendus au flotteur 506 d'une manière connue (dont un exemple est examiné ultérieurement sur la figure 10). Un premier point de source 510a peut être suspendu au plus près de la tête 506a du flotteur 506, à une première profondeur z1. Un deuxième point de source 510b peut être suspendu ensuite, à une deuxième profondeur z2, différente de z1. Un troisième point de source 510c peut être suspendu ensuite, à une troisième profondeur z3, différente de z1 et de z2, et ainsi de suite. La figure 5A ne montre, par souci de simplicité, que quatre points de source 510a-d, mais une mise en œuvre réelle peut comporter n'importe quel nombre souhaité de points de source. Dans une application, parce que les points de source sont répartis à différentes profondeurs, les points de source aux différentes profondeurs ne sont pas activés simultanément. Autrement dit, le réseau de sources est synchronisé, c'est-à-dire, qu'un point de source plus profond est activé plus tard dans le temps (par exemple, 2 ms pour une différence de profondeur de 3 m lorsque la vitesse du son dans l'eau est de 1500 m/s) de sorte que les signaux sonores correspondants produits par la pluralité de points de source fusionnent, et ainsi, le signal sonore global produit par le réseau de sources apparaît comme étant un signal sonore unique.

[0036] Les profondeurs z1 à z4 des points de source du premier sous-réseau 502 peuvent obéir à diverses relations. Dans une application, les profondeurs des points de source augmentent de la tête vers la queue du flotteur, c'est-à-dire que $z1 < z2 < z3 < z4$. Dans une autre application, les profondeurs des points de source diminuent de la tête vers la queue du flotteur. Dans une autre application, les points de source sont inclinés, c'est-à-dire prévus sur une ligne en pointillés 514. Dans encore une autre application, la ligne 514 est une droite. Dans encore une autre application, la ligne 514 est une ligne incurvée, par exemple, une partie d'une parabole, d'un cercle, d'une hyperbole, etc. Dans une application, la profondeur du premier point de source pour le sous-réseau 502 est d'environ 5 m et la profondeur la plus grande du dernier point de source est d'environ 8 m. Dans une variante de ce mode de réalisation, la plage de profondeur est entre 8,5 et 10,5 m ou entre 11 et 14 m. Dans une autre variante de ce mode de réalisation, lorsque la ligne 514 est une droite, les profondeurs des points de source augmentent de 0,5 m d'un point de source à un point de source adjacent. Les hommes du métier reconnaîtront que ces plages sont illustratives et que ces nombres peuvent varier d'une étude à une autre. Une caractéristique commune de tous ces modes de réalisation est que les points de source ont des profondeurs variables de sorte qu'un sous-réseau unique présente des points de source à de multiples niveaux.

[0037] Un deuxième sous-réseau 504, qui est illustré sur la figure 5B, comprend également un flotteur 520 et une pluralité de points de source 522a-d suspendus au flotteur 520. Les profondeurs d1 à d4 des points de source varient également du premier point de source au dernier point de source dans le sous-réseau 504. Bien que les profondeurs d1 à d4 puissent varier de manière similaire

aux profondeurs z1 à z4 du premier sous-réseau, il peut être plus avantageux que les profondeurs d1 à d4 soient complémentaires des profondeurs z1 à z4 comme examiné ci-après.

[0038] Par exemple, la profondeur d1 (la plus faible des profondeurs d1 à d4) peut être supérieure à la profondeur la plus grande z4 du premier sous-réseau 504. Ainsi, les points de source 522a-d peuvent être prévus sur une ligne 524 qui, de manière similaire à la ligne 514 du premier sous-réseau, peut être linéaire, incurvée, etc. Dans une application, les profondeurs des points de source 522a-d augmentent de la tête vers la queue du flotteur, c'est-à-dire que d1 < d2 < d3 < d4. Dans une autre application, les profondeurs des points de source diminuent de la tête vers la queue du flotteur. Dans une autre application, les points de source sont inclinés, c'est-à-dire prévus sur la ligne en pointillés 524. Dans encore une autre application, la ligne 524 est une droite. Dans encore une autre application, la ligne 524 est une ligne incurvée, par exemple, une partie d'une parabole, d'un cercle, d'une hyperbole, etc. Dans une application, la profondeur du premier point de source pour le sous-réseau 504 est d'environ 5 m, et la profondeur la plus grande du dernier point de source est d'environ 8 m. Dans une variante de ce mode de réalisation, la plage de profondeur est entre 8,5 et 10,5 ou entre 11 et 14 m. Dans une autre variante de ce mode de réalisation, lorsque la ligne 524 est une droite, la profondeur des points de source augmente de 0,5 m d'un point de source à un point de source adjacent. Les hommes du métier reconnaîtront que ces plages sont illustratives et que ces nombres peuvent varier d'une étude à une autre. Une caractéristique commune de tous ces modes de réalisation est que les points de source 522a-d ont des

profondeurs variables de sorte qu'un sous-réseau unique présente des points de source à de multiples niveaux.

[0039] Dans encore un autre exemple d'un mode de réalisation illustré sur la figure 6A, les points de source 510a-d du premier sous-réseau 502 sont répartis à des profondeurs entre 5 et 8 m, les points de source 520a-d du deuxième sous-réseau 504 sont répartis à des profondeurs entre 8,5 et 10,5 m, et les points de source 530a-d (également les points de source 530a-d répartis sur une ligne 534, qui pourrait être linéaire ou incurvée) d'un troisième sous-réseau 530 sont répartis à des profondeurs entre 11 et 14 m. De cette manière, un réseau de sources 600 couvre des profondeurs entre 5 et 14 m, chaque sous-réseau ayant les points de source répartis sur les lignes en pointillés 514, 524 et 534, respectivement, les lignes étant linéaires, incurvées ou une combinaison de celles-ci.

[0040] Dans un exemple de mode de réalisation, les lignes en pointillés 514, 524 et 534 sont des droites et les profondeurs des points de source augmentent avec un pas prédéterminé s (par exemple, 0,5 m) non seulement dans le même sous-réseau, mais également d'un sous-réseau à un sous-réseau suivant. Cependant, dans un autre exemple de mode de réalisation, les profondeurs des points de source augmentent avec un pas prédéterminé s1 pour le premier sous-réseau, un deuxième pas s2 pour le deuxième sous-réseau et un troisième pas s3 pour le troisième sous-réseau. Les pas peuvent être différents d'un sous-réseau à un autre ou les mêmes, c'est-à-dire que s1 = s2 = s3.

[0041] Par exemple, il est possible de réaliser un réseau de sources qui a sept niveaux de profondeur ou plus pour les divers points de source qui constituent

le réseau de sources. L'exemple d'un mode de réalisation de la figure 6A montre chaque point de source prévu à une profondeur différente, c'est-à-dire présentant 12 niveaux de profondeur. Cependant, comme examiné précédemment, les points de source peuvent être prévus sur une ligne incurvée et pas sur une ligne linéaire (c'est-à-dire, pour ne pas être inclinés).

[0042] Selon un autre exemple de mode de réalisation, illustré sur la figure 6B, les points de source ne suivent pas la ligne en pointillés 514 ou 524 ou 534, mais plutôt des groupes de points de source suivent ces lignes. La figure 6B est une vue de dessus d'un exemple de source 650 qui comporte trois sous-réseaux 660, 662 et 664. Les points de source pour chaque sous-réseau sont groupés dans des groupes G1 à G9, chaque groupe comprenant au moins un point de source. Les groupes sont répartis à différentes profondeurs D1 à D5. Une vue latérale du premier sous-réseau 660 est montrée sur la figure 6C, et cette vue illustre que chaque groupe est prévu à une profondeur donnée et qu'il y a une augmentation par pas (ou une autre augmentation) d'un groupe au groupe suivant. Par exemple, l'augmentation peut suivre, comme examiné ci-dessus, une droite ou une courbe (par exemple, une parabole, un cercle, une hyperbole, etc.). Deux sous-réseaux ou plus peuvent avoir la même distribution en profondeur pour les points de source. La figure 6C montre le premier sous-réseau 660 comprenant un flotteur 670 et au moins sept points de source 680a à 680g. Des cordons ombilicaux 682 relient les points de source adjacents pour fournir la puissance, les données et/ou de l'air comprimé selon les besoins pour le fonctionnement des dispositifs constituant les points de source. La figure 6D est une vue latérale du deuxième sous-réseau 662, qui comprend un flotteur 672 et une pluralité de points de source 682a à 682g. Bien que

la profondeur du groupe G4 soit montrée comme étant identique à la profondeur du groupe G3 du premier sous-réseau, dans un mode de réalisation, il est possible que chaque groupe ait une profondeur unique. En outre, le nombre de points de source qui appartiennent à un groupe peut varier entre un et N, N étant un nombre entier positif.

[0043] Un rapport entre la source la moins profonde et la source la plus profonde dans le réseau de sources 600 ou 650, par exemple, entre le point de source 510a et le point de source 530d, peut être de 2,5, c'est-à-dire que h4/z1 = 2,5. En fonction du type d'étude, ce rapport peut être modifié en conséquence, par exemple, à 1,5.

[0044] Le fait d'avoir de nombreux niveaux de profondeur pour les points de source du réseau de sources, avec un rapport étendu de profondeurs (par exemple, 2,5:1), le réseau de sources original peut obtenir une forte énergie basse fréquence, un spectre régulier, et il est presque exempt d'entailles de fantômes haute fréquence. Ces spécifications conflictuelles nécessitent l'utilisation d'un plus grand nombre de variables de système et, en prévoyant de nombreuses profondeurs de points de source, un accès à davantage de variables de système est effectué pour atteindre les objectifs conflictuels.

[0045] Comme noté précédemment, un point de source peut être un canon à air. Un autre type de sources marines (par exemple, un canon à eau, une source vibratoire, etc.) peut être utilisé au lieu du canon à air. Par ailleurs, les modes de réalisation illustrés sur les figures 6A à 6D sont des exemples. Cela signifie que de nombreuses autres configurations peuvent être imaginées pour obtenir la diversité

de profondeurs pour les points de source. Par exemple, un sous-réseau peut avoir les points de source répartis plus profondément alors que la distance par rapport à la tête du flotteur augmente, bien qu'un sous-réseau suivant ait les points de source répartis plus profondément alors que la distance par rapport à la queue du flotteur augmente. En outre, le nombre de points de source connectés à un flotteur peut varier. La figure 6A montre quatre points de source par flotteur en tant qu'exemple d'un mode de réalisation et non destiné à limiter l'invention.

[0046] En outre, un point de source peut comprendre un ou plusieurs canons. Par exemple, comme montré sur la figure 7A, un point de source 510a unique ne comprend rien d'autre qu'un dispositif unique, par exemple, un canon à air. Cependant, si de multiples dispositifs sont prévus les uns avec les autres en tant que point de source, une distance entre ces multiples dispositifs est choisie de sorte que leurs ondes fusionnent. La figure 7B montre deux points de source 700 et 702 indépendants reliés l'un à l'autre par une liaison mécanique 704. Dans ce cas, la liaison mécanique 704 est utilisée pour maintenir une distance relative entre les points de source, et chacun des points de source 700 et 702 est configuré pour générer sa propre onde sismique. La liaison mécanique 704 peut être configurée pour être plus courte que, par exemple, 1,5 m, de sorte que les ondes émises par les points de source 700 et 702 fusionnent et apparaissent en tant qu'onde sismique unique. Dans un mode de réalisation, deux canons à air forment un point de source, mais un canon à air peut être actif et l'autre peut être conservé à des fins de redondance ou à d'autres fins. Plus ou moins de points de source peuvent être attachés à un flotteur unique.

[0047] Les points de source peuvent être répartis d'autres manières le long d'un flotteur, comme illustré sur les figures 8 et 9. La figure 8 montre un mode de réalisation dans lequel un sous-réseau de sources 800 comporte des points de source inclinés vers le bas, jusqu'à une distance maximum 802 par rapport au flotteur 804, après quoi les points de source sont inclinés vers le haut. La figure 9 montre un autre mode de réalisation 900 dans lequel les points de source sont prévus sur une ligne incurvée 902. La ligne incurvée peut être, comme examiné précédemment, une partie d'une parabole, d'une hyperbole, d'un cercle, etc. Si le même profil de ligne incurvée est utilisé pour les points de source pour les trois sous-réseaux qui constituent un réseau de sources (par exemple, les points de source sont prévus sur la surface d'un cylindre), alors le réseau de sources peut générer des ondes acoustiques cylindriques si les points de source sont activés de manière appropriée. En variante, le réseau de sources peut être configuré de sorte que les points de source soient prévus sur une surface sphérique, c'est-à-dire que chaque profil incurvé fait partie d'un cercle, les premier et troisième sous-réseaux ayant le même rayon et le deuxième sous-réseau ayant un rayon différent (par exemple, plus grand que celui des premier et troisième sous-réseaux). Dans ce cas, le réseau de sources peut être configuré pour générer des ondes sphériques.

[0048] Dans un autre exemple d'un mode de réalisation illustré sur la figure 10, les liaisons entre les points de source et les connexions au navire de remorquage (non montré) sont illustrées. Le réseau de sources 1000 comprend un flotteur 1002 auquel de multiples plaques 1004 sont suspendues à des profondeurs données, par exemple, z1 à ze. Dans une application, il y a une plaque 1004 pour chaque point de source. Dans une autre application, il y a une plaque 1004 unique

pour tous les points de source. Le flotteur 1002 comporte un corps qui s'étend le long d'un axe longitudinal (X). Bien que les exemples de modes de réalisation examinés ici montrent un flotteur droit, on doit noter que d'autres formes peuvent être utilisées pour le flotteur, par exemple, un cercle, une ellipse, etc. Les câbles 1006 peuvent être utilisés pour suspendre les plaques 1004 au flotteur 1002. Une pluralité de points de source 1008a à 1008e forment le premier sous-réseau. Tous les points de source sont suspendus au même flotteur 1002 par des liaisons 1012 qui s'étendent sensiblement sur un axe vertical (Z). Chaque point de source peut avoir ses propres câbles 1014 (électriques, d'air comprimé, de données, etc.) pour commander et activer le point de source (on doit noter que ces câbles ne sont pas montrés pour toutes les sources). Les câbles peuvent être protégés par un logement 1015. Afin d'obtenir le profil incliné montré sur la figure 10, la longueur des câbles 1006 doit être modifiée lorsqu'un réseau de sources classique est modifié sur la base du concept original examiné ci-dessus. Dans une application, la longueur du logement 1015 reste sensiblement la même lorsque les profondeurs des points de source sont ajustées, ce qui facilite la mise en œuvre de ce procédé sur le site.

[0049] Autrement dit, comme les hommes du métier le reconnaîtront, les connexions entre les plaques 1004 et les points de source 1008a-e et également entre les divers points de source 1008a-e sont difficiles à modifier et/ou à changer. Ainsi, la source inclinée modifie la longueur des câbles 1006 pour obtenir le profil de profondeurs variables souhaité et pas les autres liaisons ou câbles.

[0050] Certains des points de source peuvent être connectés, en option, les uns aux autres par divers moyens 1016, par exemple, des tiges, des chaînes, des

câbles, etc. Une partie avant de la première plaque 1004 et le premier point de source 1008e peuvent également être connectés par l'intermédiaire d'une connexion 1018 à un cordon ombilical 1020 qui peut être connecté au navire (non montré). En option, une liaison 1022 peut connecter le flotteur 1002 au cordon ombilical 1020. Le cordon ombilical 1020 comprend divers câbles et tuyaux pour fournir des données, une puissance et de l'air comprimé aux et à partir des points de source. Dans une application, trois ou plus de ces flotteurs 1002 et des points de source correspondants peuvent former le réseau de sources 1000.

[0051] Selon un autre exemple de mode de réalisation illustré sur la figure 11, un réseau de sources 1100 comprend trois sous-réseaux 1102, 1104 et 1106. Certains sous-réseaux comprennent au moins sept canons à air 1110 prévus à deux niveaux de profondeur D1 et D2. Par exemple, D1 peut être d'environ 5 m et D2 peut être d'environ 7,5 m. Dans une autre application, le rapport D2 sur D1 est d'environ 1,5. Les hommes du métier reconnaîtront que d'autres niveaux de profondeur peuvent être utilisés tels qu'appropriés. Dans une application, on doit noter que les distributions de profondeurs (D1 et D2) des points de source pour le premier sous-réseau 1102 et le troisième sous-réseau 1106 sont identiques, alors que la distribution de profondeurs (D1) des points de source pour le deuxième sous-réseau 1104 est différente. La distribution de profondeurs montrée sur la figure 11 ne correspond pas entièrement à une source étagée/inclinée telle qu'examinée dans les modes de réalisation précédents parce que seulement certains points de source sont prévus sur une ligne inclinée ou incurvée, alors que les points de source restants sont prévus sur une ligne horizontale. En outre, le deuxième sous-réseau a tous les points de source prévus sur une ligne horizontale. Des variantes de cette

configuration sont également envisagées, c'est-à-dire le deuxième sous-réseau ayant au moins deux profondeurs différentes, ou au moins l'un des sous-réseaux ayant une distribution de points de source inclinée ou incurvée.

[0052] En utilisant un logiciel spécialisé type pour l'industrie, la signature temporelle et le spectre d'amplitude du réseau de sources original 1100 et d'une source de référence ont été calculés comme illustré sur les figures 12 et 13. La figure 12 montre une signature temporelle (la pression en fonction du temps mesurée au niveau du réseau de sources), et la figure 13 montre le spectre d'amplitude du réseau de sources original de la figure 11. La figure 14 montre le spectre d'amplitude 1400 du réseau de sources classique superposé au spectre d'amplitude 1410 du réseau de sources original de la figure 11. On doit noter la présence de l'entaille 1402 de la source classique et l'absence de celle-ci dans le spectre d'amplitude 1410 de la source originale 1100.

[0053] Le spectre d'amplitude du réseau de sources original illustré sur les figures 5 à 10 est illustré sur la figure 15. Plus spécifiquement, la figure 15 montre le spectre d'amplitude pour le réseau de sources original montré sur la figure 6B. On doit noter la réduction du fantôme autour de 100 Hz lors d'une comparaison avec la source classique, mais également avec le réseau de sources original illustré sur la figure 11.

[0054] Selon un exemple de mode de réalisation, un procédé pour générer une onde acoustique sous l'eau est maintenant examiné en faisant référence à la figure 16. Le procédé comprend une étape 1600 de remorquage d'un réseau de sources acoustiques marines sous l'eau, dans lequel le réseau de sources

acoustiques marines comprend un premier sous-réseau, une étape 1602 de liaison d'une pluralité de premiers points de source du premier sous-réseau à un premier flotteur, et une étape 1604 de génération de l'onde acoustique avec la pluralité de premiers points de source, dans lequel la pluralité de premiers points de source sont divisés en au moins trois groupes (G1 à G3), et chaque groupe est prévu à des premières profondeurs (D1 à D3) correspondantes.

[0055] Selon encore un autre exemple de mode de réalisation, il existe un procédé pour générer une onde acoustique sous l'eau tel qu'illustré sur la figure 17. Le procédé comprend une étape 1700 de remorquage sous l'eau d'un réseau de sources acoustiques marines qui comprend un premier sous-réseau, une étape 1702 de liaison d'une pluralité de premiers points de source à un premier flotteur du premier sous-réseau, et une étape 1704 de génération de l'onde acoustique avec la pluralité de premiers points de source, dans lequel la pluralité de premiers points de source sont prévus à des premières profondeurs (z1 à z4) correspondantes, chaque première profondeur étant différente des autres premières profondeurs.

[0056] Les modes de réalisation ci-dessus ont été examinés sans spécifier quels types de récepteurs sismiques sont utilisés pour enregistrer les données sismiques. Dans ce sens, on sait dans l'art utiliser, pour une étude sismique marine, des flûtes qui sont remorquées par un ou plusieurs navires et les flûtes comprennent les récepteurs sismiques. Les flûtes peuvent être horizontales ou inclinées ou avoir un profil incurvé comme illustré sur la figure 18.

[0057] La flûte incurvée 1800 de la figure 18 comprend un corps 1802 ayant une longueur prédéterminée ; une pluralité de détecteurs 1804 prévus le long du

corps ; et une pluralité de poissons (« bird » en terminologie anglo-saxonne) 1806 prévus le long du corps pour maintenir le profil incurvé sélectionné. La flûte est configurée pour circuler sous l'eau lors de son remorquage de sorte que la pluralité de détecteurs soient répartis le long du profil incurvé. Le profil incurvé peut être décrit par une courbe paramétrée, par exemple, une courbe décrite par (i) une profondeur z_0 d'un premier détecteur (mesurée par rapport à la surface de l'eau 1812), (ii) une pente s_0 d'une première partie T du corps avec un axe 1814 parallèle à la surface de l'eau 1812, et (iii) une distance horizontale prédéterminée h_c entre le premier détecteur et une extrémité du profil incurvé. On doit noter que la flûte entière n'a pas nécessairement le profil incurvé. Autrement dit, le profil incurvé ne devrait pas être interprété comme s'appliquant toujours à la longueur entière de la flûte. Bien que cette situation soit possible, le profil incurvé peut n'être appliqué qu'à une partie 1808 de la flûte. Autrement dit, la flûte peut avoir (i) uniquement une partie 1808 ayant le profil incurvé ou (ii) une partie 1808 ayant le profil incurvé et une partie 1810 ayant un profil plat, les deux parties étant attachées l'une à l'autre.

[0058] Un ou plusieurs des exemples de modes de réalisation examinés ci-dessus produisent un meilleur réseau de sources large bande, tandis que le réseau de sources supprime des entailles dans le spectre d'amplitude en ayant les points de source individuels prévus à différentes profondeurs par rapport à la surface de l'eau ou au flotteur. En outre, les flotteurs existants peuvent être utilisés pour le réseau de sources original avec des modifications minimales. Les flotteurs existants ne sont pas nécessairement des flotteurs droits, mais peuvent être d'autres types comme cela est connu dans l'art, par exemple, des flotteurs utilisés avec la source en éventail ou la source en tour.

[0059] Les exemples de modes de réalisation présentés fournissent un système et un procédé pour réaliser un réseau de sources étagées large bande. On devrait comprendre que cette description n'est pas destinée à limiter l'invention. Au contraire, les exemples de modes de réalisation sont destinés à couvrir les variantes, les modifications et les équivalents, qui sont inclus dans l'esprit et l'étendue de l'invention telle que définie par les revendications jointes. En outre, dans la description détaillée des exemples de modes de réalisation, de nombreux détails spécifiques sont exposés afin de permettre une compréhension détaillée de l'invention revendiquée. Cependant, un homme du métier comprendra que divers modes de réalisation peuvent être mis en pratique sans ces détails spécifiques.

[0060] Bien que les caractéristiques et les éléments des exemples de modes de réalisation actuels soient décrits dans les modes de réalisation dans des combinaisons particulières, chaque caractéristique ou élément peut être utilisé seul sans les autres caractéristiques et éléments des modes de réalisation ou dans diverses combinaisons avec ou sans autres caractéristiques et éléments présentés ici.

[0061] Cette description écrite utilise des exemples de l'objet présenté pour permettre à n'importe quel homme du métier de mettre en pratique le susdit, comprenant la réalisation et l'utilisation de n'importe quels dispositifs ou systèmes et l'exécution de n'importe quels procédés incorporés. L'étendue brevetable de l'objet est définie par les revendications, et peut comprendre d'autres exemples qui apparaissent aux hommes du métier. Ces autres exemples sont destinés à être dans l'étendue des revendications.

REVENDICATIONS

1. Réseau de sources acoustiques marines pour générer une onde acoustique dans une masse d'eau, le réseau de sources acoustiques marines comprenant :

un premier sous-réseau configuré pour être remorqué par un navire, le premier sous-réseau comprenant un premier flotteur et une pluralité de premiers points de source connectés au premier flotteur,

dans lequel la pluralité de premiers points de source sont divisés en au moins trois groupes (G1 à G3) et chaque groupe est prévu à des premières profondeurs (D1 à D3) correspondantes et chaque groupe comprend au moins un point de source.

2. Réseau de sources selon la revendication 1, comprenant en outre :

un deuxième sous-réseau configuré pour être remorqué par le navire et comportant une pluralité de deuxièmes points de source, dans lequel la pluralité de deuxièmes points de source sont divisés en au moins trois groupes (G4 à G6) et chaque groupe est prévu à des deuxièmes profondeurs correspondantes.

3. Réseau de sources selon la revendication 2, dans lequel les premières profondeurs sont différentes des deuxièmes profondeurs.

4. Réseau de sources selon la revendication 2, dans lequel les premières profondeurs se superposent aux deuxièmes profondeurs.

5. Réseau de sources selon la revendication 1, dans lequel les premières profondeurs forment une première droite imaginaire, et

dans lequel une pluralité de deuxièmes points de source qui forment un deuxième sous-réseau sont divisés en au moins trois groupes (G4 à G6) et chaque groupe est prévu à des deuxièmes profondeurs correspondantes, et les deuxièmes profondeurs forment une deuxième droite imaginaire.

6. Réseau de sources selon la revendication 1, dans lequel les premières profondeurs forment une première ligne incurvée imaginaire,

dans lequel la pluralité de deuxièmes points de source qui forment un deuxième sous-réseau sont divisés en au moins trois groupes (G4 à G6) et chaque groupe est prévu à des deuxièmes profondeurs correspondantes et les deuxièmes profondeurs forment une deuxième ligne incurvée imaginaire, et

dans lequel la deuxième ligne incurvée est identique à la première ligne incurvée de sorte que la pluralité de premiers et deuxièmes points de source du réseau de sources sont répartis sur une surface cylindrique.

7. Réseau de sources selon la revendication 1, dans lequel les premières profondeurs forment une première ligne incurvée imaginaire,

dans lequel la pluralité de deuxièmes points de source qui forment un deuxième sous-réseau sont divisés en au moins trois groupes (G4 à G6) et chaque groupe est prévu à des deuxièmes profondeurs correspondantes et les deuxièmes profondeurs forment une deuxième ligne incurvée imaginaire, et

dans lequel les première et deuxième lignes incurvées sont des parties d'un cercle, mais ont différents rayons de sorte que la pluralité de premiers et deuxièmes points de source du réseau de sources sont répartis sur une surface sphérique.

8. Réseau de sources acoustiques marines pour générer une onde acoustique dans une masse d'eau, le réseau de sources acoustiques marines comprenant :

un premier sous-réseau configuré pour être remorqué par un navire, le premier sous-réseau comprenant un premier flotteur et une pluralité de premiers points de source connectés au premier flotteur,

dans lequel la pluralité de premiers points de source sont prévus à des premières profondeurs (z1 à z4) correspondantes, chaque première profondeur étant différente des autres premières profondeurs.

9. Réseau de sources selon la revendication 8, comprenant en outre :

un deuxième sous-réseau comportant une pluralité de deuxièmes points de source, dans lequel la pluralité de deuxièmes points de source sont prévus à des deuxièmes profondeurs (d1 à d4) correspondantes, chaque deuxième profondeur étant différente des autres deuxièmes profondeurs.

10. Procédé pour générer une onde acoustique sous l'eau, le procédé comprenant :

le remorquage d'un réseau de sources acoustiques marines sous l'eau, dans lequel le réseau de sources acoustiques marines comprend un premier sous-réseau ;

la connexion d'une pluralité de premiers points de source du premier sous-réseau à un premier flotteur ; et

la génération de l'onde acoustique avec la pluralité de premiers points de source, dans lequel la pluralité de premiers points de source sont divisés en au moins trois groupes (G1 à G3) et chaque groupe est prévu à des premières profondeurs (D1 à D3) correspondantes.

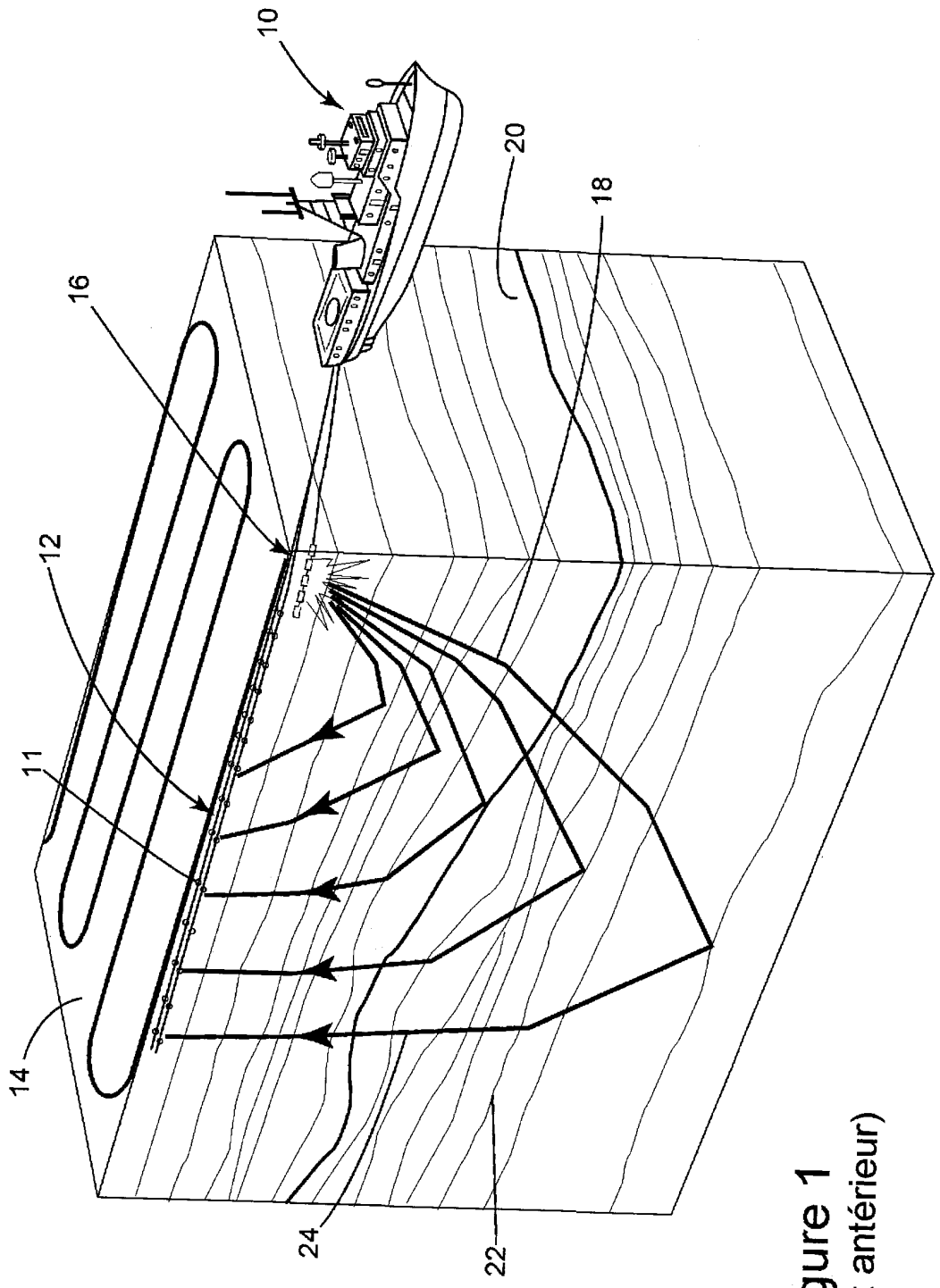


Figure 1
(Art antérieur)

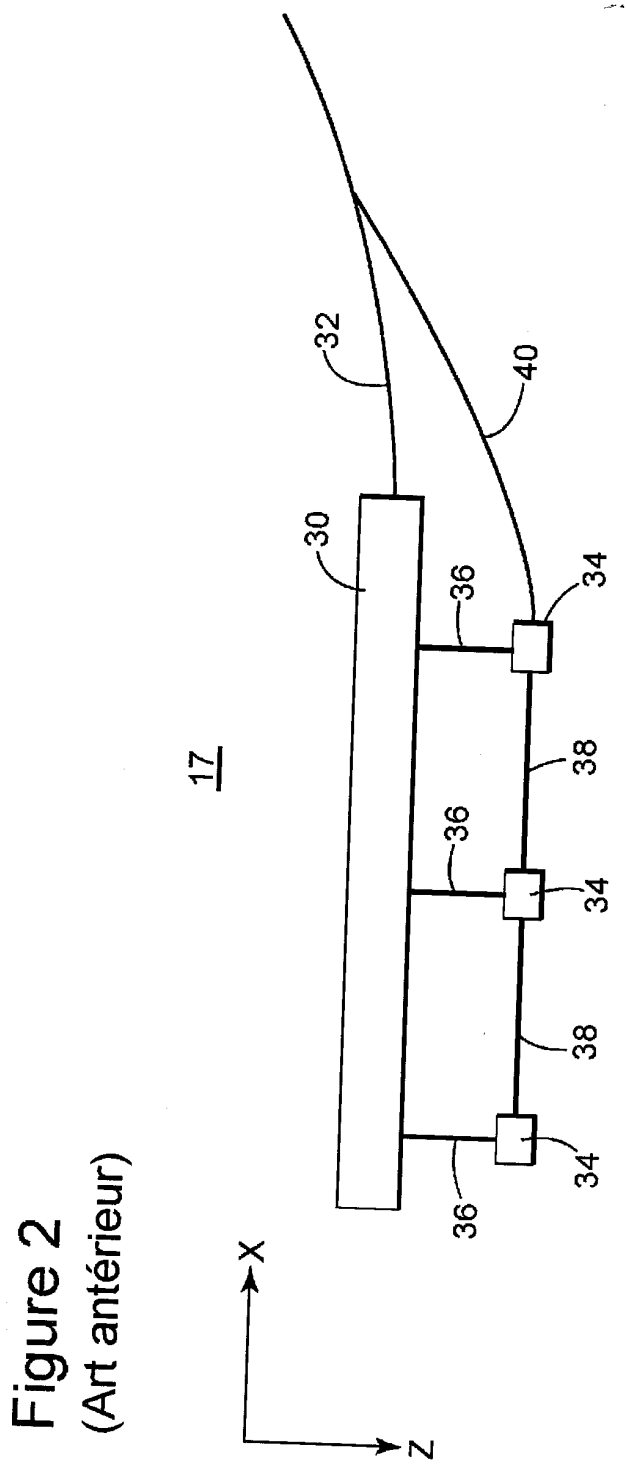


Figure 2
(Art antérieur)

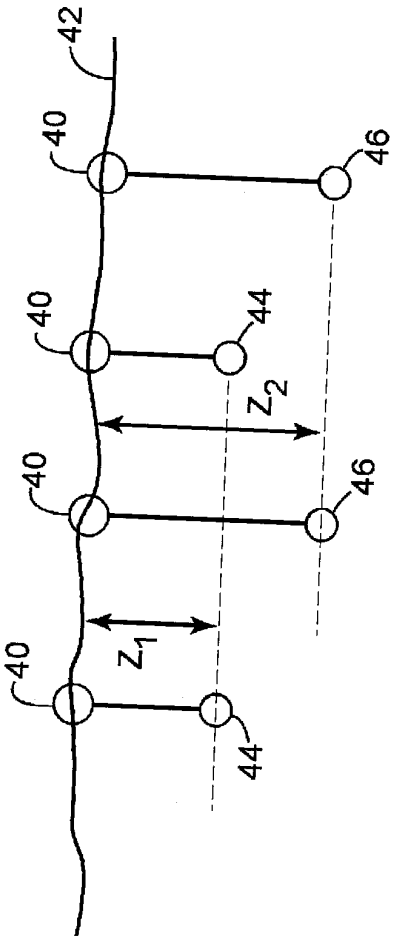


Figure 3
(Art antérieur)

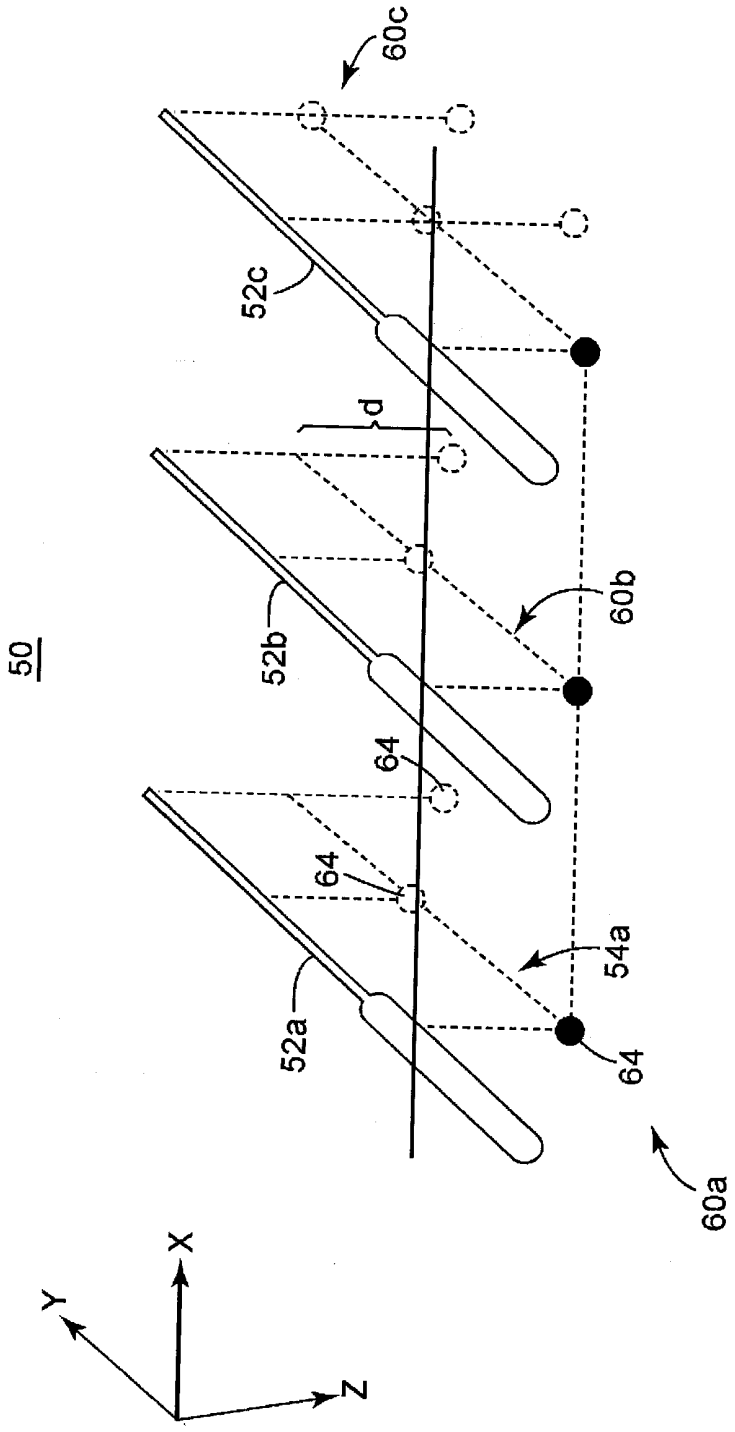


Figure 4

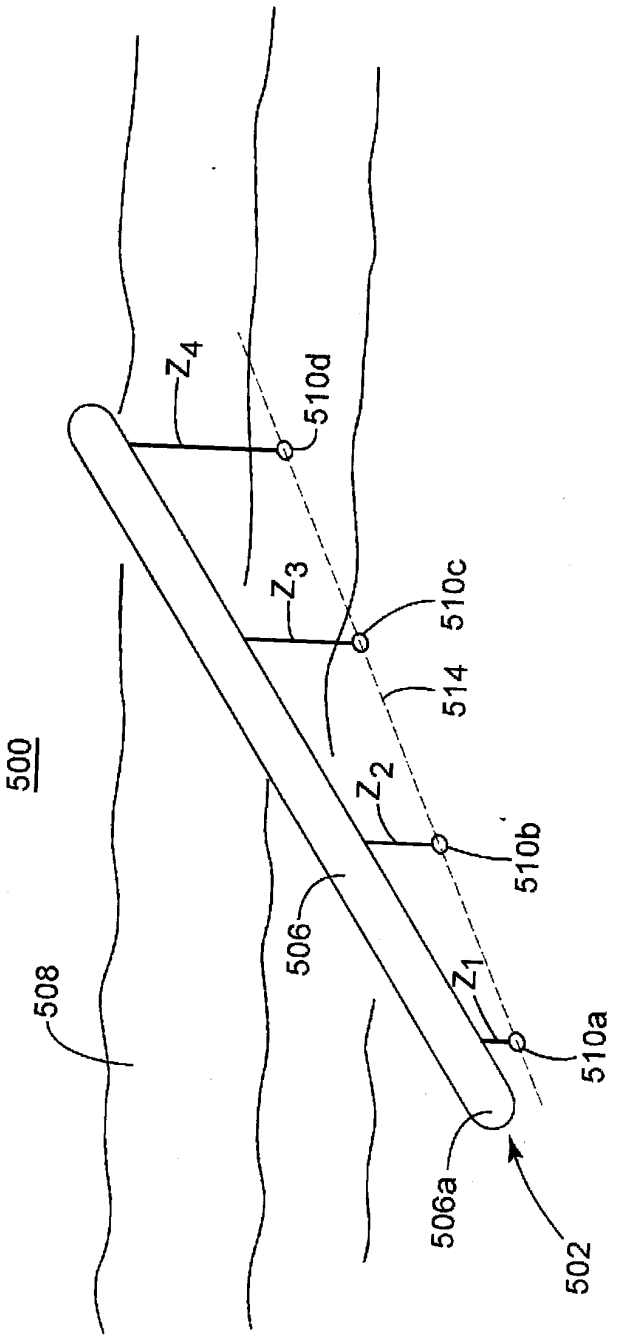


Figure 5A

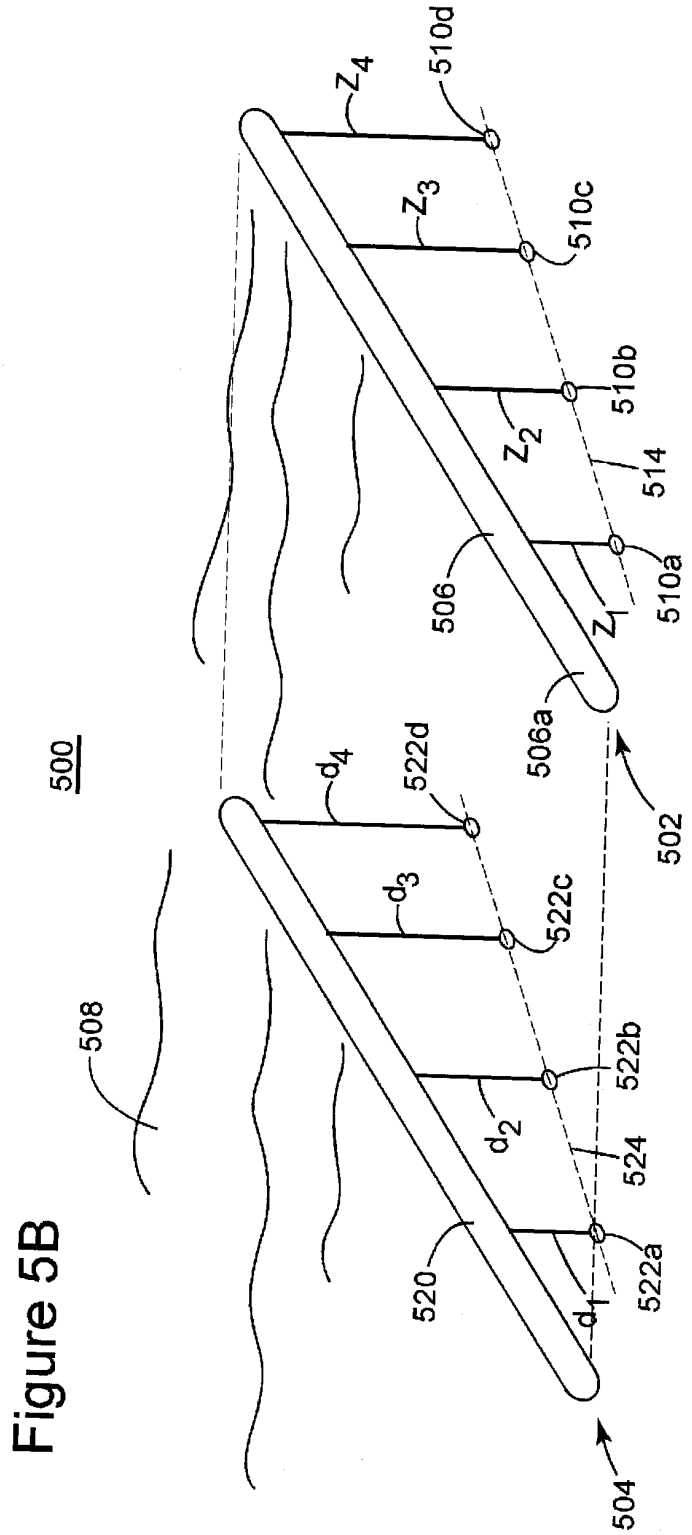

500
508
520
504
502
506
506a
514
524
z_4
z_3
z_2
z_1
d_4
d_3
d_2
d_1
510d
510c
510b
510a
522d
522c
522b
522a

Figure 5B

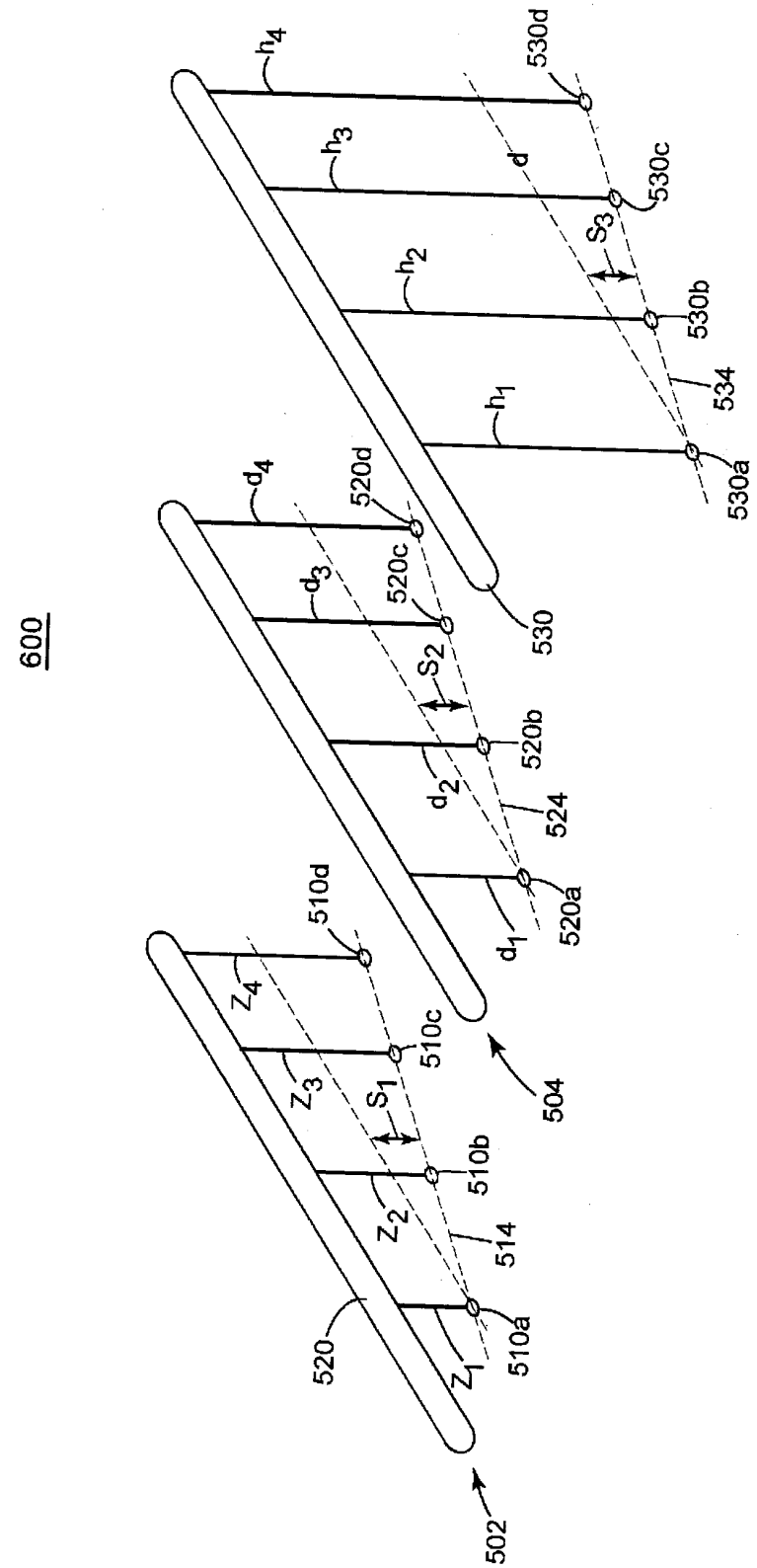
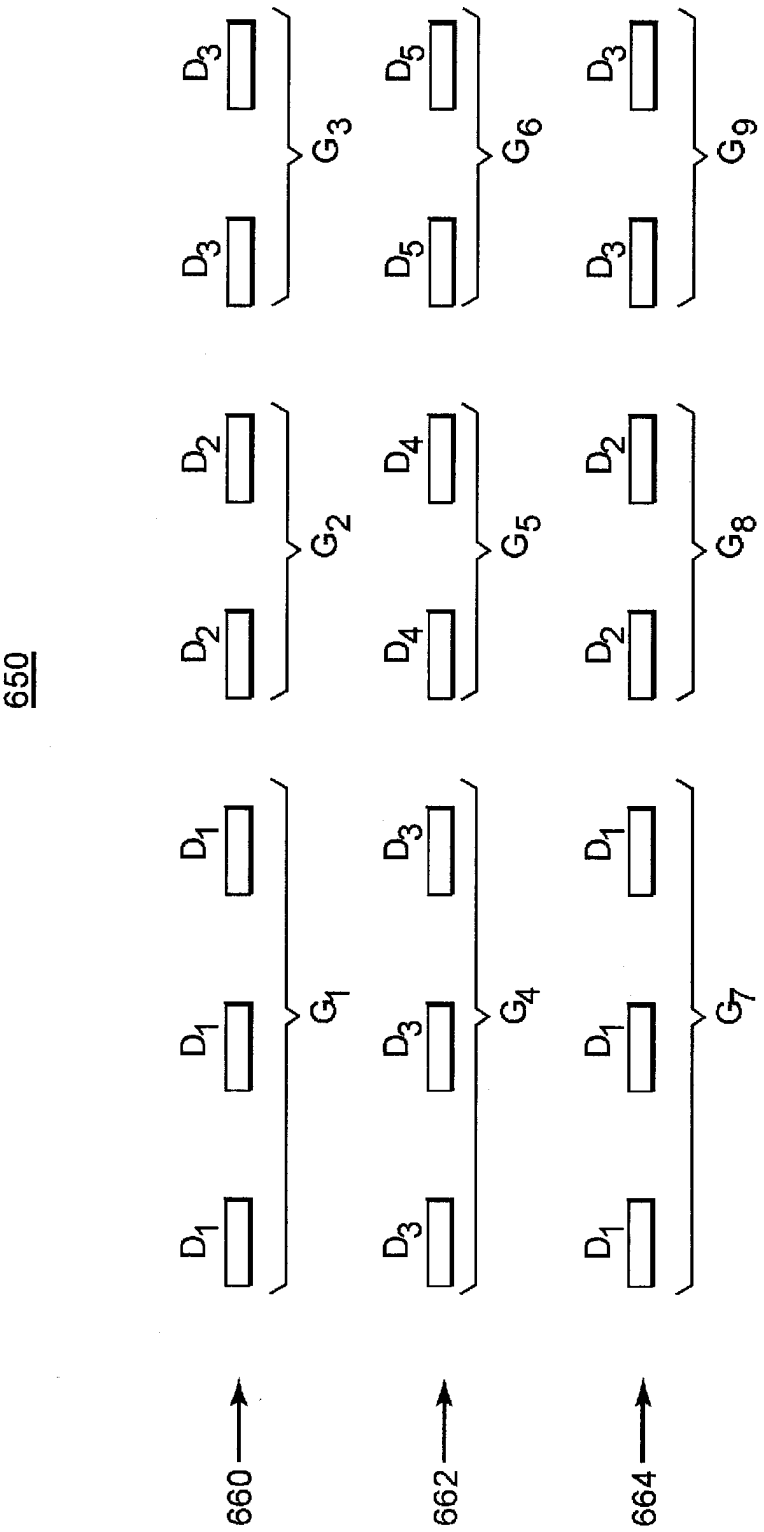

600
502
504
520
530
534
524
514
540
510a
510b
510c
510d
520a
520b
520c
520d
530a
530b
530c
530d
z_1
z_2
z_3
z_4
s_1
s_2
s_3
d_1
d_2
d_3
d_4
h_1
h_2
h_3
h_4
d'

Figure 6A

Figure 6B



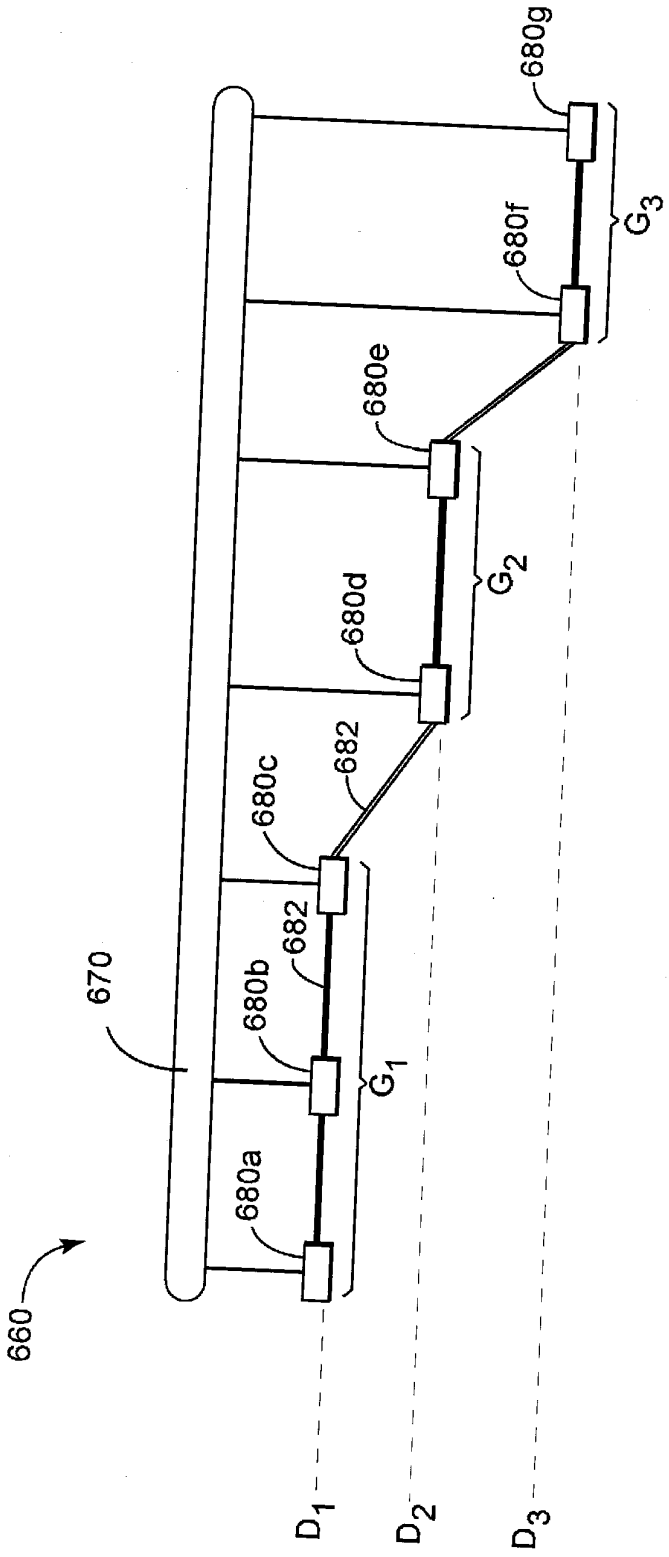

680g
680f
680e
680d
680c
682
682
680b
680a
670
660
G3
G2
G1
D1
D2
D3

Figure 6C

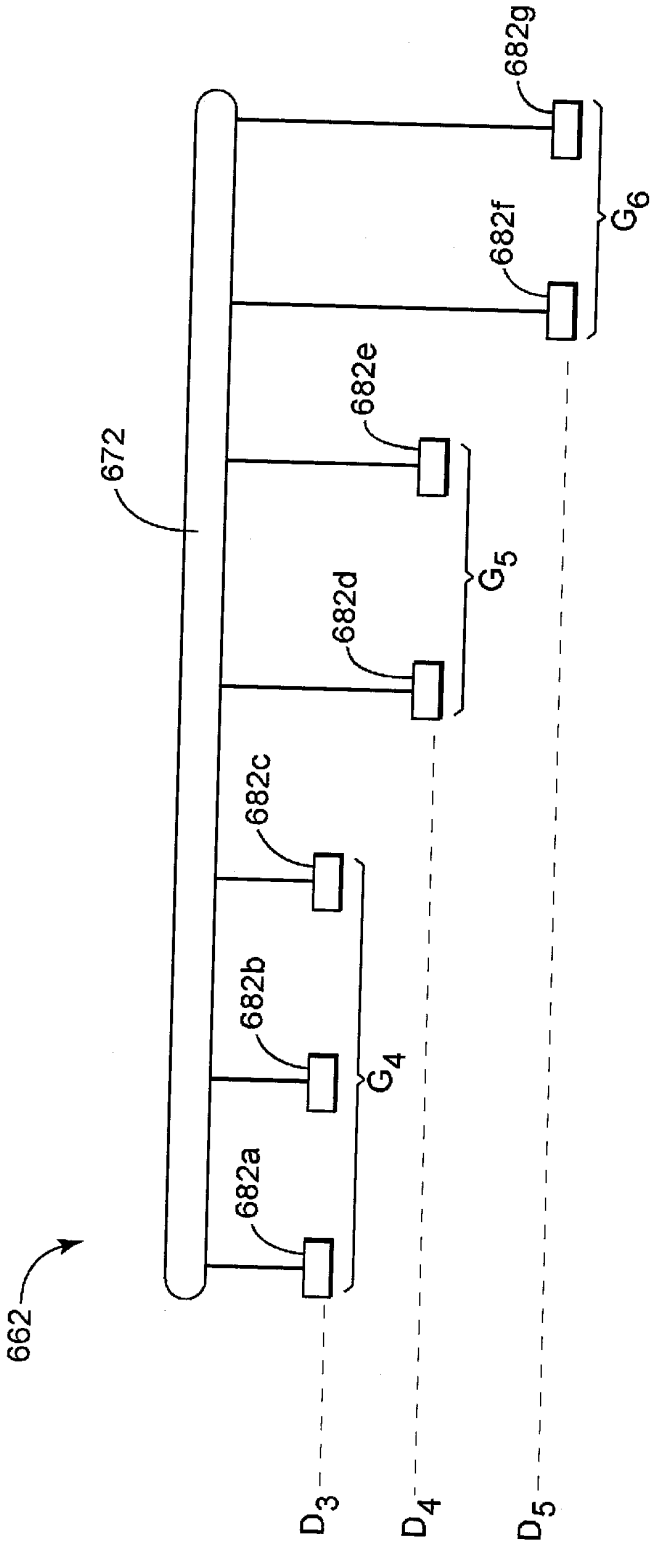


Figure 6D

Figure 7A

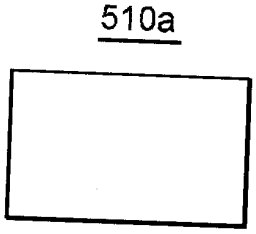
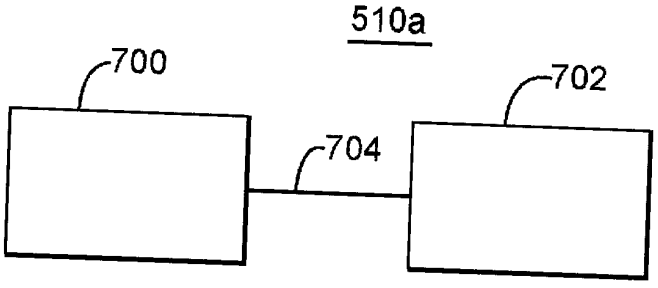


Figure 7B



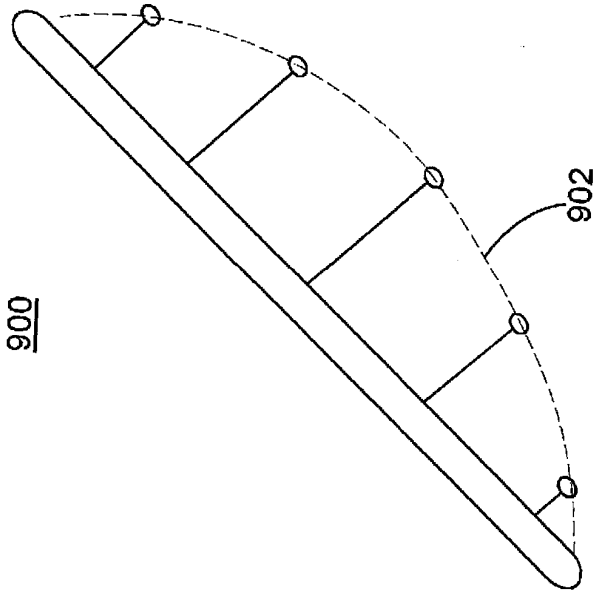


Figure 9

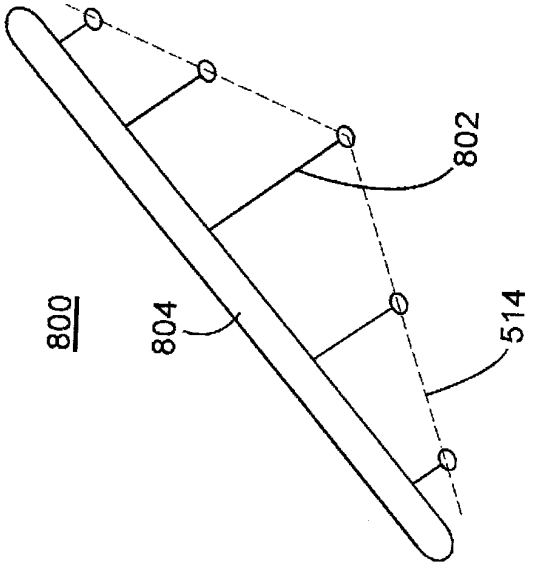


Figure 8

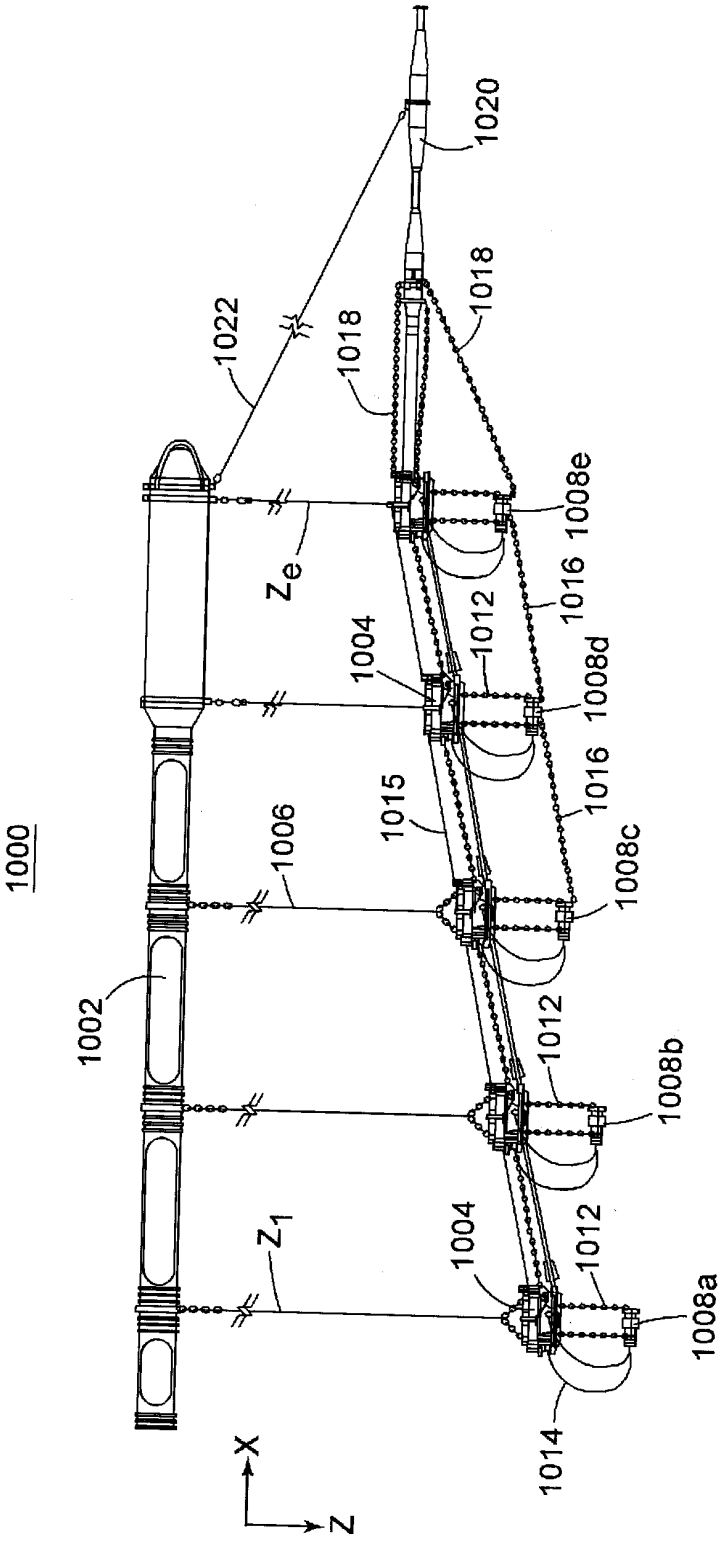

1000
1002
1004
1004
1006
1008a
1008b
1008c
1008d
1008e
1012
1012
1012
1014
1015
1016
1016
1018
1018
1020
1022
z_1
z_e
X
Z

Figure 10

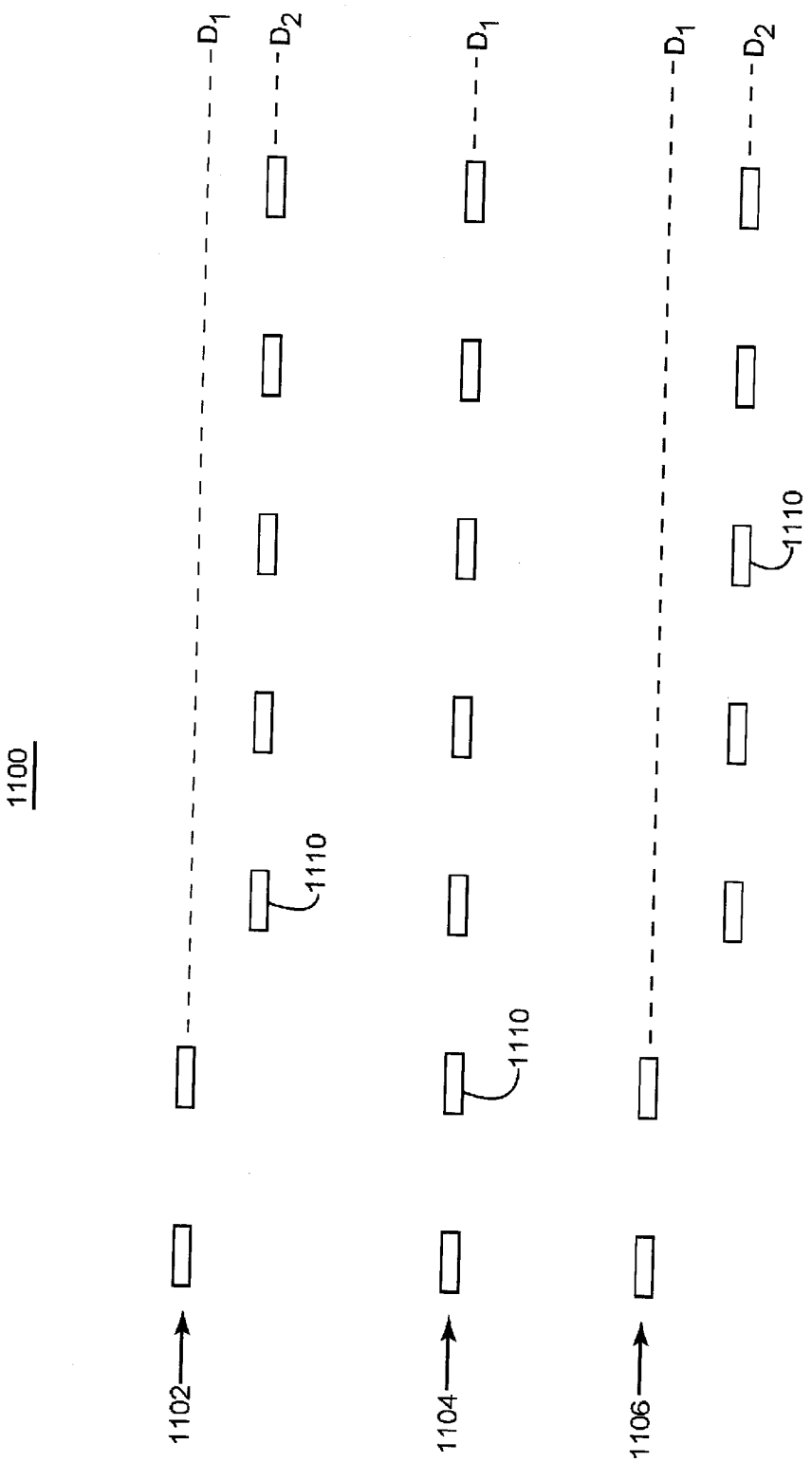


Figure 11

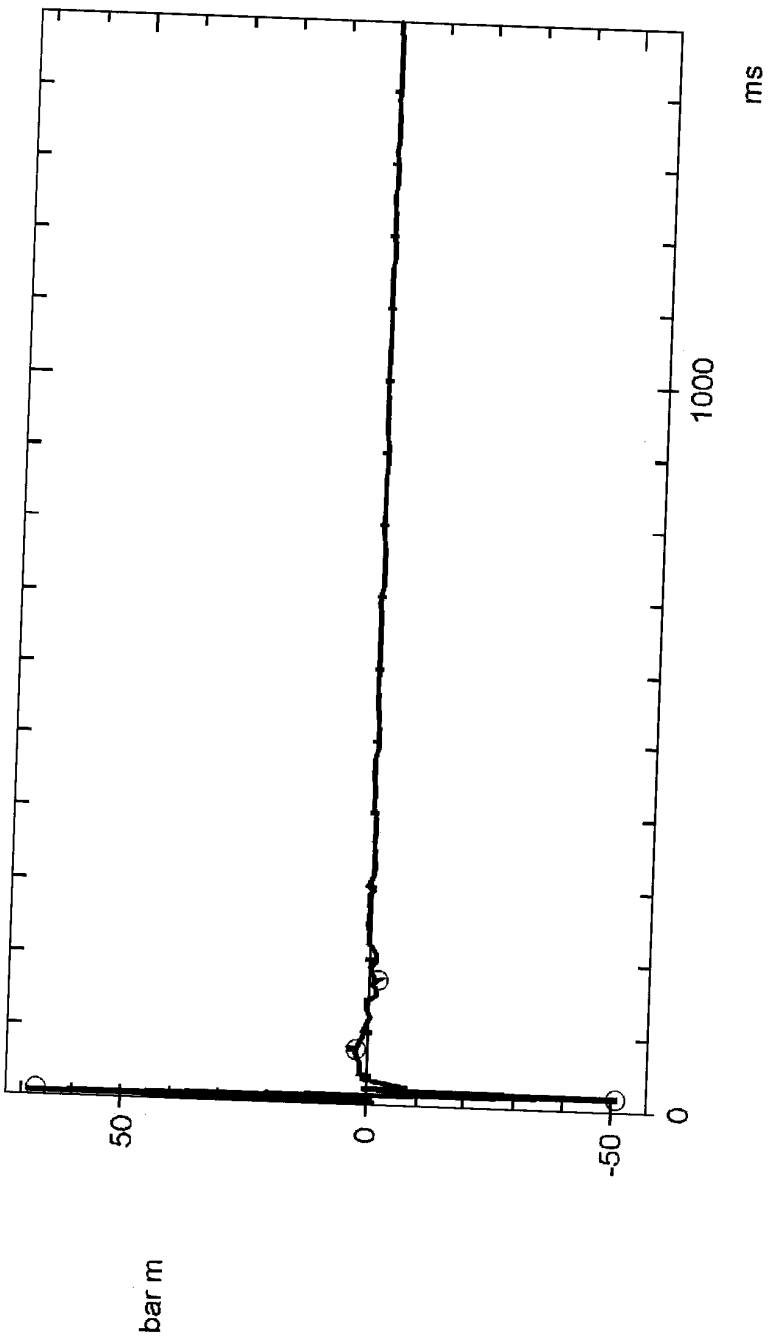


Figure 12

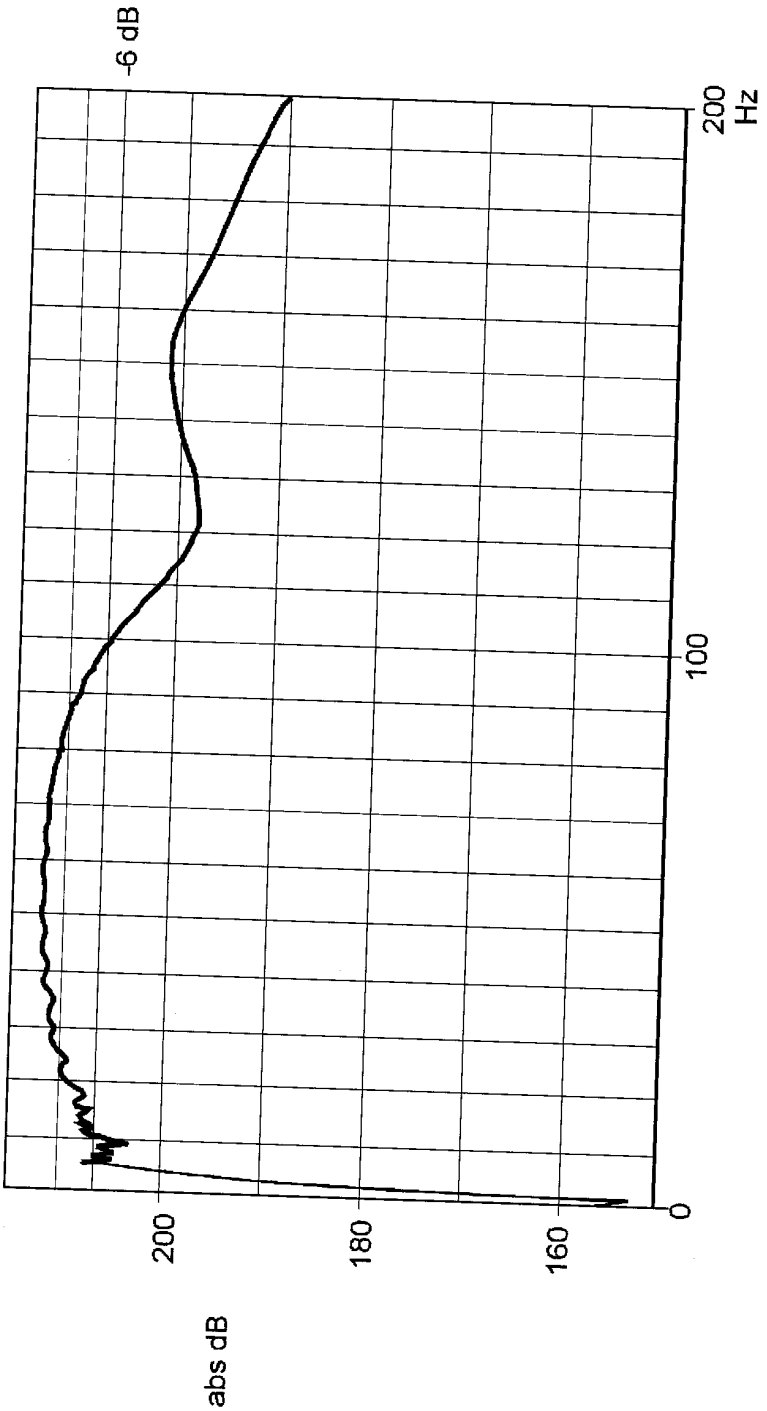


Figure 13

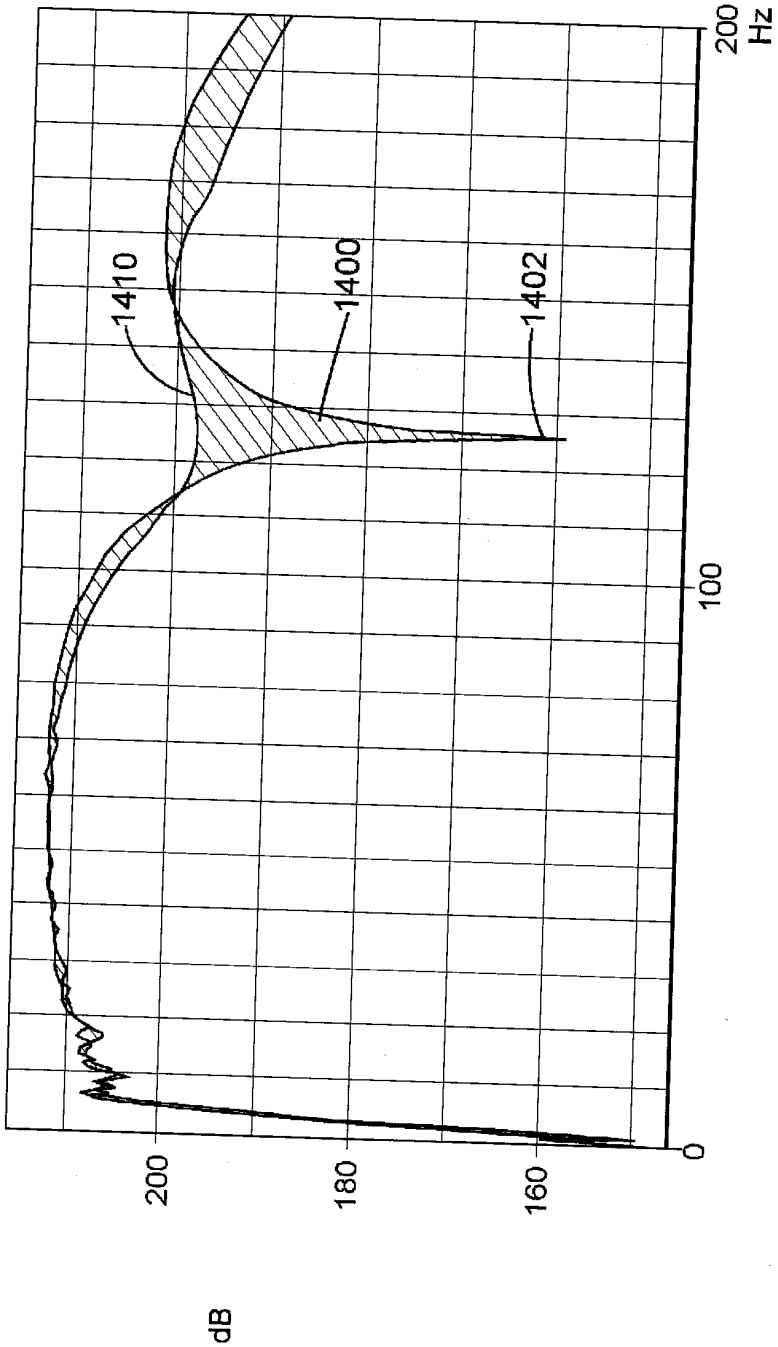


Figure 14

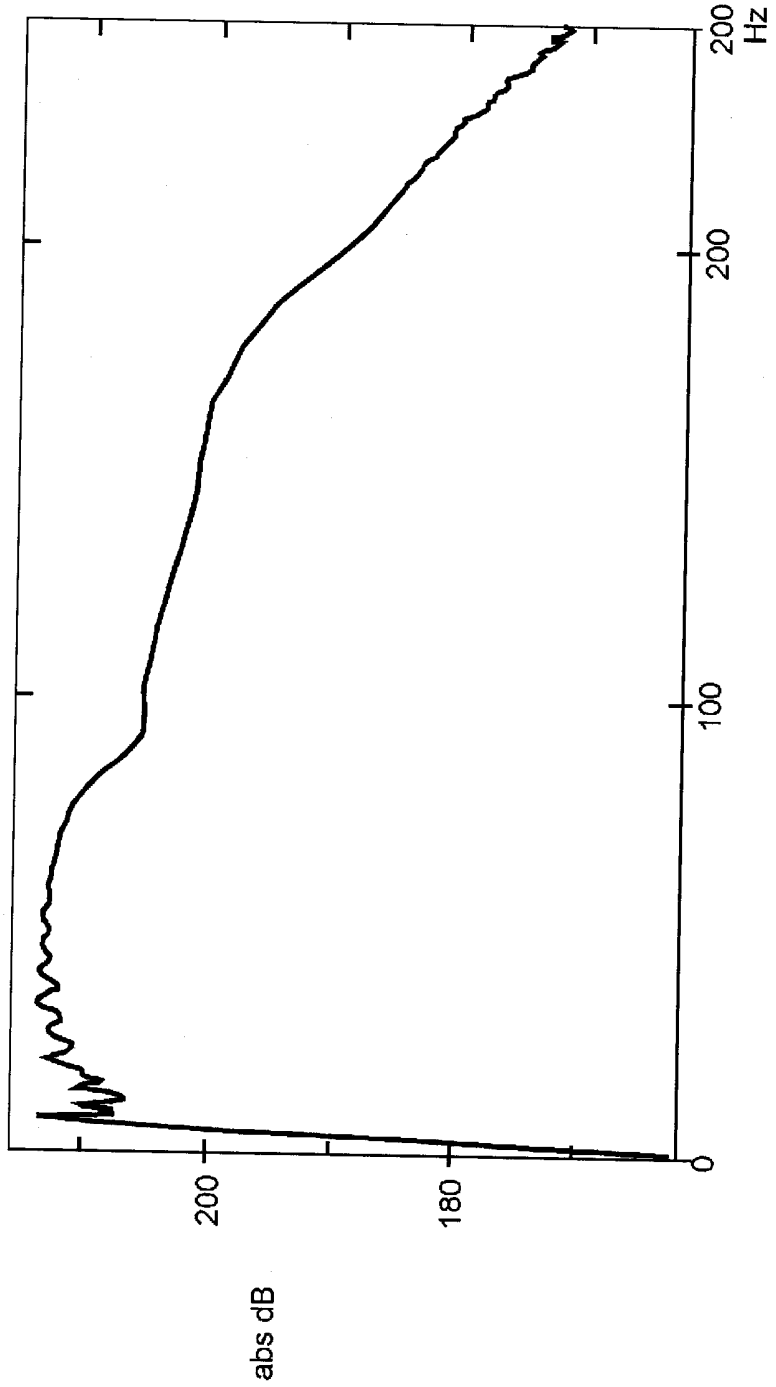


Figure 15

Figure 16

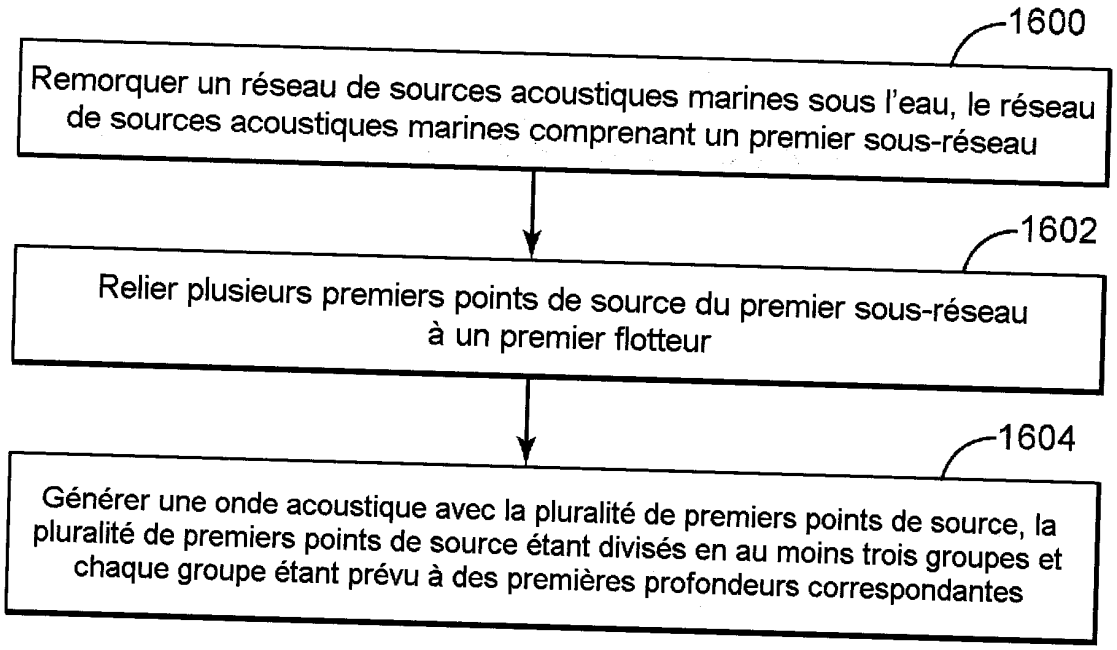
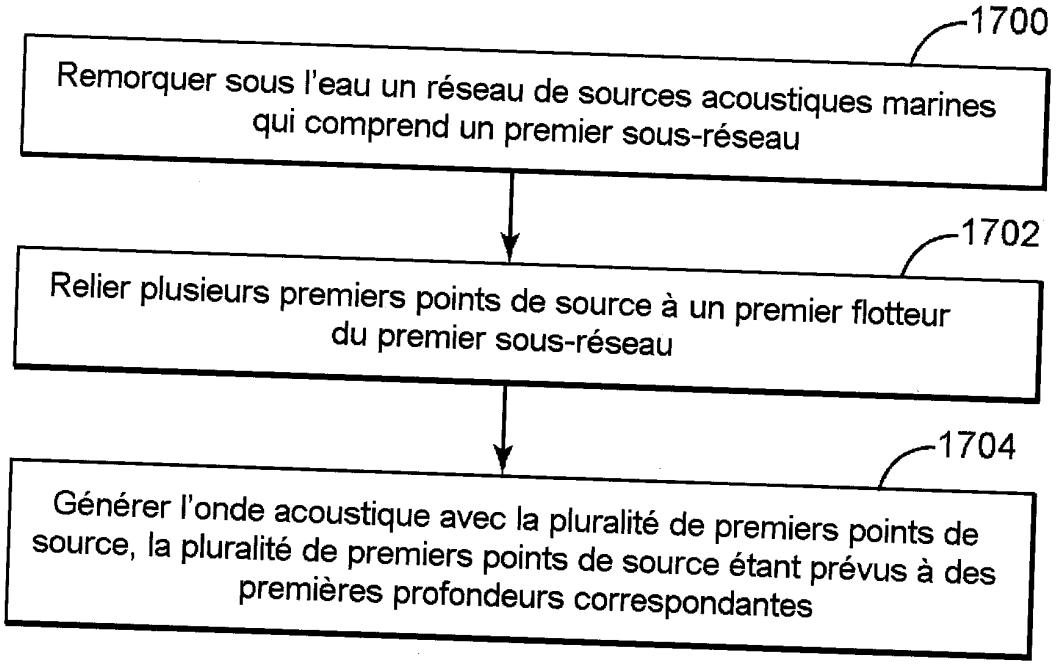

1600
Remorquer un réseau de sources acoustiques marines sous l'eau, le réseau de sources acoustiques marines comprenant un premier sous-réseau
1602
Relier plusieurs premiers points de source du premier sous-réseau à un premier flotteur
1604
Générer une onde acoustique avec la pluralité de premiers points de source, la pluralité de premiers points de source étant divisés en au moins trois groupes et chaque groupe étant prévu à des premières profondeurs correspondantes

Figure 17


1700
Remorquer sous l'eau un réseau de sources acoustiques marines qui comprend un premier sous-réseau
1702
Relier plusieurs premiers points de source à un premier flotteur du premier sous-réseau
1704
Générer l'onde acoustique avec la pluralité de premiers points de source, la pluralité de premiers points de source étant prévus à des premières profondeurs correspondantes

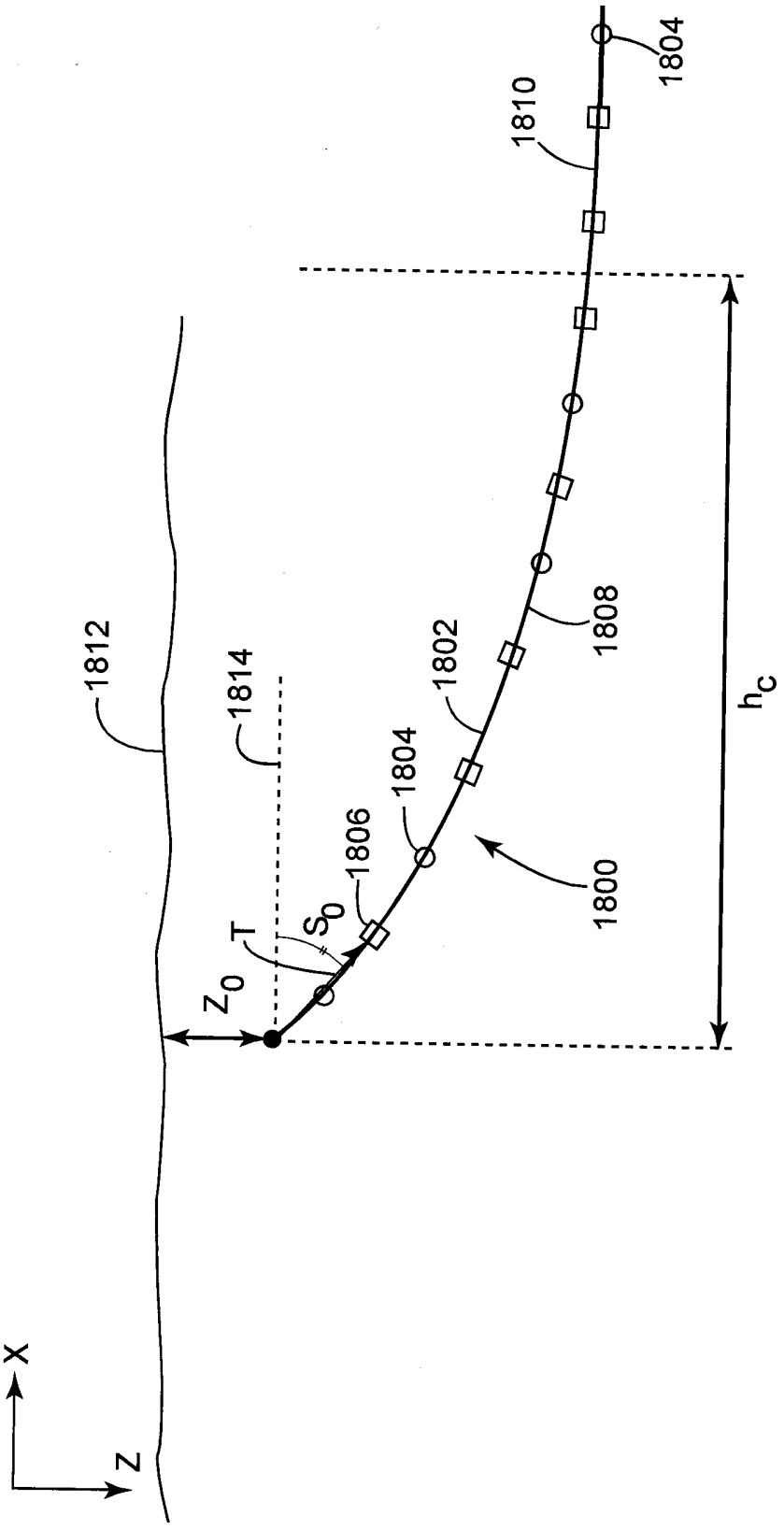


Figure 18

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 772247
FR 1260122

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X Y	US 4 956 822 A (BARBER HAROLD P [US] ET AL) 11 septembre 1990 (1990-09-11) * colonne 10, ligne 45 - ligne 56 * * colonne 16, ligne 7 - ligne 66; figures 1,2,3 *	1,8,10 2-7,9	G01V1/38
Y	WO 2008/073178 A2 (SERCEL INC [US]; LANSLEY ROY MALCOLM [US]; BERRAKI MADJID [FR]; GROS M) 19 juin 2008 (2008-06-19) * figures 2-4 *	2-4,9	
Y	US 5 841 733 A (BOUYOUCOS JOHN V [US] ET AL) 24 novembre 1998 (1998-11-24) * revendication 1; figure 4 *	5	
Y	G.C. SMITH: "Three-Dimensional Air Gun Arrays", SEG TECHNICAL PROGRAM EXPANDED ABSTRACTS, 1984, pages 282-285, XP002698873, * page 283 - page 284 *	6,7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01V

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
14 juin 2013	Lorne, Benoît

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1260122 FA 772247

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 14-06-2013
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4956822 A	11-09-1990	AUCUN	
WO 2008073178 A2	19-06-2008	EP 2087313 A2	12-08-2009
		US 2011299360 A1	08-12-2011
		WO 2008073178 A2	19-06-2008
US 5841733 A	24-11-1998	AUCUN	

EPO FORM P0465