



(51) Classification internationale des brevets :
B06B 1/06 (2006.01) **G10K 9/122** (2006.01)
H04R 1/30 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2012/050212

(22) Date de dépôt international :
31 janvier 2012 (31.01.2012)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1150771 1 février 2011 (01.02.2011) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **IX-BLUE** [FR/FR]; 52 Avenue de l'Europe, F-78160 Marly Le Roi (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **MOSCA, Frédéric** [FR/FR]; 194 Rue Abbé de l'Épée, F-13005 Marseille (FR). **VIAL, Marcel** [FR/FR]; 80 Impasse des Muriers, F-83100 Toulon (FR). **GRENINGUEY, Gilles** [FR/FR]; 71 Boulevard de la Coopérative, F-13610 Le Puy

Ste Reparade (FR). **MATTE, Guillaume** [FR/FR]; Résidence le Pin de la Fade, Avenue Victor Basch, Bâtiment Morgane, F-13600 La Ciotat (FR).

(74) Mandataires : **CHAUVIN, Vincent** et al.; Cabinet HARLE et PHELIP, 14-16 Rue Ballu, F-75009 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : LOW-FREQUENCY ELECTRO-ACOUSTIC TRANSDUCER AND METHOD OF GENERATING ACOUSTIC WAVES

(54) Titre : TRANSDUCTEUR ELECTRO-ACOUSTIQUE BASSE FREQUENCE ET PROCEDE DE GENERATION D'ONDES ACOUSTIQUES

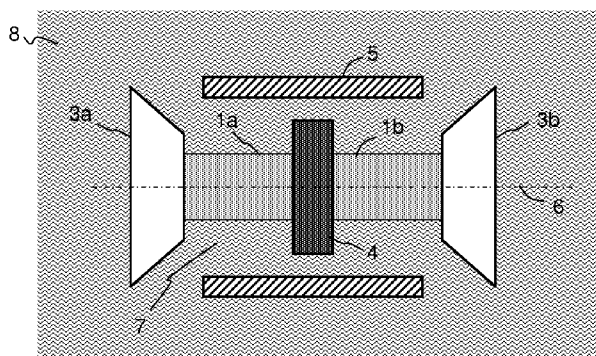


Figure 1

(57) Abstract : The present invention relates to a submersible electro-acoustic transducer that can be immersed in an immersion fluid for underwater acoustic communication or for underwater acoustic tomography, said transducer comprising two horns, a counterweight, two electro-acoustic motors, placed on either side of the counterweight, said motors being aligned along an axis of symmetry, the opposite ends of said motors being linked respectively to a horn, the assembly constituted by said electro-acoustic motors, said counterweight and said horns being able to generate a longitudinal electro-acoustic mode of resonance. According to the invention, said transducer comprises a rigid and hollow cylindrical piece extending around said counterweight, said cylindrical piece having an axis coinciding with the axis of symmetry of the transducer, the interior of said cylindrical piece forming a fluid cavity able to be filled by said immersion fluid, said electro-acoustic motors and said cylindrical piece being dimensioned so that said fluid cavity forms an acoustic coupling between said longitudinal electro-acoustic mode of resonance of said transducer and a circumferential mode of resonance of said cylindrical piece when said fluid cavity is filled with said immersion fluid.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)*

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

La présente invention concerne un transducteur électro-acoustique submersible dans un fluide d'immersion pour la communication acoustique sous-marine ou pour la tomographie acoustique sous-marine, ledit transducteur comprenant deux pavillons, une contremasse, deux moteurs électro-acoustiques, placés de part et d'autre de la contremasse, lesdits moteurs étant alignés le long d'un axe de symétrie, les extrémités opposées desdits moteurs étant reliées respectivement à un pavillon, l'ensemble constitué par lesdits moteurs électro-acoustiques, ladite contremasse et lesdits pavillons étant apte à générer un mode de résonance électro-acoustique longitudinal. Selon l'invention, ledit transducteur comprend une pièce cylindrique rigide et creuse s'étendant autour de ladite contremasse, ladite pièce cylindrique ayant un axe confondu avec l'axe de symétrie du transducteur, l'intérieur de ladite pièce cylindrique formant une cavité fluide apte à être remplie par ledit fluide d'immersion, lesdits moteurs électro-acoustiques et ladite pièce cylindrique étant dimensionnés pour que ladite cavité fluide forme un couplage acoustique entre ledit mode de résonance électro-acoustique longitudinal dudit transducteur et un mode de résonance circonferentiel de ladite pièce cylindrique lorsque ladite cavité fluide est remplie dudit fluide d'immersion.

Transducteur électro-acoustique basse fréquence et procédé de génération d'ondes acoustiques

La présente invention concerne un transducteur électro-acoustique pour la communication acoustique sous-marine ou encore pour la tomographie acoustique sous-marine. Plus précisément, l'invention concerne un transducteur électro-acoustique submersible fonctionnant dans le domaine basse fréquence (inférieure à 1kHz) compatible avec de grandes profondeurs d'immersion (supérieures à 3000 m.) et ayant une grande autonomie. L'invention concerne également un procédé de génération d'ondes acoustiques à basse fréquence et à large bande passante.

Un transducteur électro-acoustique est utilisé pour l'émission et/ou la réception d'ondes de pression acoustiques. En mode émission, un transducteur acoustique transforme une différence de potentiel électrique en onde de pression acoustique, et inversement en mode de réception. Un transducteur a une bande passante en fréquence et présente une fréquence dite centrale qui correspond au milieu de la bande passante.

Les communications acoustiques sous-marines sur des distances supérieures à une dizaine de kilomètres nécessitent l'emploi de sources acoustiques basse fréquence (de fréquence inférieure à 1kHz) pour atteindre les objectifs de grande portée et large bande (de largeur de bande supérieure à 10% de la fréquence centrale) et permettre des débits de données suffisants.

Divers types de transducteurs basses fréquences sont utilisés couramment en acoustique sous-marine :

- les sparkers sont des éclateurs acoustiques dont le codage de l'onde transmise n'est pas possible ;
- les boomers génèrent des ondes acoustiques par courant de Foucault dans deux plaques métalliques parallèles, mais ne permettent pas une communication codée ;
- les anneaux piézoélectriques sont des systèmes composés d'un ou de plusieurs anneaux métalliques sur la paroi interne desquels sont disposés radialement plusieurs moteurs piézo-électriques. Lorsqu'on excite les moteurs piézo-électriques, les anneaux sont mis en vibration. Ces anneaux remplissent ainsi le rôle de pavillon ou de paroi vibrante. Toutefois, la mise en œuvre des systèmes à anneaux piézoélectriques reste difficile et leur répétabilité est insuffisante.
- les transducteurs Janus-Helmholtz sont compatibles avec un codage mais présentent des limitations à basse fréquence.

Dans la suite du présent document, on s'intéresse plus particulièrement à un transducteur de type Janus-Helmholtz. Un transducteur Janus-Helmholtz, encore appelé double Tonpilz, est basé sur l'utilisation d'un empilement de composants piézo-

électriques formant un moteur piézo-acoustique. Un transducteur Janus-Helmholtz comprend deux moteurs piezo-acoustiques alignés selon un même axe et fixés sur une contermasse centrale, chaque moteur piezo-acoustique étant relié à un pavillon par une tige de précontrainte. Les deux pavillons sont ainsi situés aux extrémités opposées sur l'axe du dispositif et symétriques par rapport à un plan transverse à l'axe. Un transducteur Janus-Helmholtz comprend généralement un boîtier cylindrique rigide, non résonant, qui délimite une cavité fluide située entre la paroi interne du boîtier et les faces arrière des pavillons. Un transducteur Janus-Helmholtz permet de travailler à des fréquences acoustiques plus basses (de 150 Hz à 20 kHz) qu'un transducteur de type Tonpilz (fréquence supérieure à 1kHz). Un transducteur Janus-Helmholtz génère un mode de résonance acoustique longitudinal selon une direction d'émission située le long de l'axe du transducteur. Dans la suite du présent document, nous appelons ce mode de résonance mode de résonance longitudinal. Cependant les transducteurs Janus-Helmholtz présentent des limitations en basse fréquence ($<1\text{kHz}$). En particulier, la fréquence de résonance étant inversement proportionnelle au volume de la cavité, un transducteur Janus-Helmholtz à basse fréquence pose des contraintes d'encombrement.

Un résonateur piézo-acoustique est généralement placé dans un boîtier de protection étanche. La face externe du pavillon est en contact direct avec le milieu d'immersion ou placée derrière une membrane acoustiquement transparente. La cavité intérieure du boîtier est remplie soit d'air soit d'un fluide choisi pour avoir une bonne impédance acoustique sans perte, c'est-à-dire sans rupture d'impédance avec l'eau. Le fluide utilisé est généralement une huile. Quand la cavité est remplie d'air, le couplage acoustique entre le transducteur et le milieu d'immersion se fait par la face externe du pavillon. Quand la cavité est remplie d'huile, le couplage acoustique entre le transducteur et le milieu d'immersion se fait par le pavillon à travers l'huile et le boîtier. Le transducteur immergé transforme l'onde de vibration du résonateur en onde de pression acoustique qui se propage dans le milieu d'immersion.

Il est connu que les performances des céramiques piézo-électriques varient de manière importante dans le cas d'utilisation en immersion profonde, car les forces de pression hydrostatique croissent linéairement avec la profondeur d'immersion.

Il existe des transducteurs électro-acoustiques comprenant un boîtier étanche rempli de gaz, mais le boîtier doit être suffisamment solide pour résister aux pressions d'immersion dans le liquide, ce qui alourdit considérablement le poids du transducteur quand la profondeur d'immersion est importante.

Il existe des transducteurs électro-acoustiques comprenant un système de compensation pneumatique pour compenser les efforts de la pression hydrostatique sur le boîtier et augmenter la résistance à la pression externe en immersion profonde.

Ces systèmes complexes de compensation pneumatique sont toutefois limités à des profondeurs d'immersion inférieures à 3000 m.

Dans les transducteurs électro-acoustiques comprenant un boîtier, on cherche généralement à atténuer la transmission d'ondes acoustiques au travers du boîtier, cette transmission du boîtier étant à l'origine de pertes par rayonnement dans des directions d'émission ou de réception indésirables. Il existe différents dispositifs de découplage entre le boîtier et l'empilement piézo-électriques, basés notamment sur l'utilisation de moyens d'absorption ou de diffraction des ondes acoustiques dans des directions transverses à l'axe du transducteur.

D'autre part, afin de diminuer la fréquence de résonance d'un transducteur acoustique, une solution connue consiste à placer des tubes compliants remplis de gaz dans la cavité résonante. Un tel transducteur présente alors une fréquence de résonance comprise entre 500 et 1000 Hz. Cependant, les tubes compliants étant soumis à la pression hydrostatique du milieu d'immersion, ils subissent un écrasement aux fortes pressions, ce qui limite la profondeur d'immersion du transducteur à moins de 1000 m.

Un des buts de l'invention est de fournir un système de communication acoustique sous-marin autonome pour émettre des ondes acoustiques à grande profondeur d'immersion et à basse fréquence. Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de génération d'ondes acoustiques à basse fréquence et à large bande passante.

Le problème technique est de réduire la fréquence de résonance d'un transducteur électro-acoustique submersible de type Janus-Helmholtz sans augmenter les dimensions ni le poids du transducteur afin d'assurer un rendement électro-acoustique et une autonomie élevés à grande profondeur d'immersion.

La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients des dispositifs antérieurs et concerne plus particulièrement un transducteur électro-acoustique submersible dans un fluide d'immersion pour la communication acoustique sous-marine, ledit transducteur comprenant deux pavillons, une contremasse, deux moteurs électro-acoustiques, placés de part et d'autre de la contremasse, lesdits moteurs étant alignés le long d'un axe de symétrie, les extrémités opposées desdits moteurs étant reliées respectivement à un pavillon, l'ensemble constitué par lesdits moteurs électro-acoustiques, ladite contremasse et lesdits pavillons étant apte à générer un mode de résonance électro-acoustique longitudinal. Selon l'invention, ledit transducteur comprend une pièce cylindrique rigide et creuse s'étendant autour de ladite contremasse, ladite pièce cylindrique ayant un axe confondu avec l'axe de symétrie du transducteur, l'intérieur de ladite pièce cylindrique formant une cavité fluide apte à être

remplie par ledit fluide d'immersion, lesdits moteurs électro-acoustiques et ladite pièce cylindrique étant dimensionnés pour que ladite cavité fluide forme un couplage acoustique entre ledit mode de résonance électro-acoustique longitudinal dudit transducteur et un mode de résonance circonférentiel de ladite pièce cylindrique lorsque ladite cavité fluide est remplie dudit fluide d'immersion.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, ladite pièce cylindrique est fixée à ladite contremasse par des moyens de suspension aptes à découpler acoustiquement ladite pièce cylindrique de ladite contremasse.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, ladite pièce cylindrique est en matériau métallique ou en matériau composite apte à produire un mode de vibration acoustique de type circonférentiel.

Selon un aspect de l'invention, ledit transducteur est apte à fournir une source d'émission acoustique de fréquence acoustique inférieure à 10000Hz et ayant une largeur de bande passante supérieure à 10% de la fréquence acoustique centrale. Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, ledit transducteur est apte à fournir une source d'émission acoustique de fréquence acoustique inférieure à 1000Hz et ayant une largeur de bande passante supérieure à 10% de la fréquence acoustique centrale.

Selon des aspects particuliers de l'invention :

- ladite pièce cylindrique a une section annulaire ;
- les parois de ladite pièce cylindrique sont pleines ;
- ladite cavité fluide est remplie d'eau ;
- la différence de fréquence entre le mode de résonance longitudinal de l'empilement piézoélectrique et le mode circonférentiel de la pièce cylindrique est inférieure ou égale à environ 10% de la fréquence centrale du transducteur.

L'invention concerne également un procédé d'émission d'ondes acoustiques basse fréquence dans un fluide d'immersion comprenant les étapes suivantes :

- Génération d'ondes acoustiques dans un fluide d'immersion suivant un mode de résonance longitudinal d'un résonateur comprenant deux empilements piézo-électriques disposés de part et d'autre d'une contremasse et alignés suivant un axe, les extrémités opposées desdits empilements étant reliées respectivement à deux pavillons ;
- Couplage de ladite résonance longitudinale via une cavité fluide ouverte sur ledit fluide d'immersion à un mode de résonance acoustique

circonférentiel d'une pièce cylindrique coaxiale avec lesdits empilements et entourant ladite contremasse, ladite pièce cylindrique délimitant ladite cavité fluide.

L'invention trouvera une application particulièrement avantageuse dans les systèmes de communication acoustiques sous-marins. Une autre application du transducteur de l'invention concerne la tomographie acoustique sous-marine.

La présente invention concerne également les caractéristiques qui ressortiront au cours de la description qui va suivre et qui devront être considérées isolément ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles.

Cette description donnée à titre d'exemple non limitatif fera mieux comprendre comment l'invention peut être réalisée en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente une vue en coupe d'un transducteur électro-acoustique selon un mode de réalisation de l'invention.

Le transducteur de la figure 1 est un transducteur électro-acoustique permettant la communication acoustique sous-marine par couplage résonant entre un empilement piézoélectrique et une pièce cylindrique de section annulaire d'axe confondu avec l'empilement piézo-électrique. La pièce cylindrique est à résonance circonférentielle, ce mode de résonance étant aussi appelé mode de respiration.

Plus précisément, la figure 1 représente schématiquement une vue en coupe d'un transducteur comprenant deux moteurs piezo-électrique (1a, 1b) alignés suivant un axe longitudinal (6). Les moteurs piezo-électriques sont fixés de part et d'autre d'une contremasse centrale (4). Les extrémités opposées des deux moteurs (1a, 1b) sont fixées respectivement à un pavillon (3a, 3b). L'ensemble constitué des moteurs piézo-électriques (1a, 1b), de la contremasse (4) et des pavillons (3a, 3b) est maintenu précontraint par des tiges, dites de précontrainte, qui peuvent être soit extérieures, soit intérieures au pilier axial.

Le transducteur comporte en outre une pièce cylindrique (5), de préférence de section annulaire, creuse et coaxiale avec l'axe longitudinal (6). La pièce cylindrique (5) est disposée autour de la contremasse (4) et de préférence centrée sur le plan de symétrie du transducteur. Sur le schéma de la figure 1, la longueur de la pièce cylindrique (5) est inférieure à la longueur totale des empilements piézo-électriques et de la contremasse, ou encore inférieure à la distance séparant les deux pavillons (3a, 3b). Le diamètre extérieur de la pièce cylindrique (5) est sensiblement égal au diamètre extérieur des pavillons. L'épaisseur de la pièce cylindrique est typiquement de l'ordre du centimètre. Les parois de la pièce cylindrique sont de préférence pleines, la pièce cylindrique (5) comportant deux ouvertures à ses deux extrémités opposées.

Les dimensions de la pièce cylindrique (5) creuse sont telles que celle-ci délimite une cavité interne fluide (7). La cavité fluide (7) est ouverte sur l'extérieur par les ouvertures situées à ses deux extrémités de sorte que lorsque le transducteur est

immergé le volume de la cavité (7) est rempli par le fluide d'immersion (8), par exemple de l'eau de mer. Ainsi, les composants du transducteur sont en permanence en équipression vis-à-vis de la pression hydrostatique du milieu d'immersion, quelle que soit la profondeur d'immersion. La structure du transducteur lui permet de supporter de fortes pressions hydrostatiques associées aux grandes profondeurs d'immersion, sans requérir de système de compensation pneumatique.

Les paramètres physiques de la pièce cylindrique (5) sont déterminés de manière à ce qu'elle soit apte à générer un mode de résonance acoustique circonférentiel. Pour une pièce en anneau, le premier mode de résonance circonférentielle est déterminé par la formule suivante :

$$F_r = 1 / (2 * \pi * \sqrt{(S_r * \rho * a^2)})$$

où F_r représente la fréquence de résonance, S_r , la souplesse radiale, ρ , la masse volumique du matériau et a le rayon moyen. L'application de cette formule donne typiquement pour un disque d'aluminium de 1m de diamètre une fréquence de résonance proche de 1500Hz. Dans le transducteur de l'invention, l'excitation du mode de résonance circonférentiel de la pièce cylindrique (5) se fait par l'excitation électrique d'un résonateur piézoélectrique (1a, 1b) via un couplage acoustique de la cavité fluide (7).

Selon un mode de réalisation préféré, le transducteur électro-acoustique constitue une source d'émission acoustique basse fréquence (<1000Hz) large bande basée sur le couplage de deux résonateurs. Le premier résonateur est le résonateur piézo-électrique de type masse-ressort, dont le mode fondamental est longitudinal, dit de dilatation-compression. Le second résonateur est un résonateur formé de la pièce cylindrique (5) ayant un mode de résonance circonférentiel ou radial. Le mode de résonance longitudinal et le mode de résonance circonférentiel sont couplés via la cavité fluide (7) constituée de l'eau de mer du milieu environnant. Le couplage est réalisé via la cavité fluide (7) contenue au sein de la pièce cylindrique (5). Le mode de résonance longitudinal de l'empilement piézoélectrique est dimensionné pour être proche en fréquence du mode circonférentiel de la pièce annulaire afin de permettre un couplage efficace entre les deux résonances.

La pièce radiale, peut être métallique ou en matériau composite (tels que fibre de carbone/époxy) et est maintenue solidaire de l'empilement piézoélectrique par la contremasse centrale. La pièce radiale est reliée à la contremasse centrale par des moyens de suspension formant un découpleur acoustique. Selon un mode de réalisation préféré, les moyens de suspension sont réalisés par des blocs de suspension (ou silence bloc), par exemple sous la forme de rondelles de caoutchouc. Les moyens de suspension ne sont pas représentés sur la figure 1, afin d'illustrer le découplage acoustique entre la contremasse (4) et la pièce cylindrique (5). De plus, les

moyens de suspension ne sont pas étanches et ne font pas obstacle à la cavité fluide ouverte.

La structure mécanique du transducteur permet son utilisation par grande profondeur d'immersion (supérieure à 3000 m). De plus, le transducteur ne comporte aucune partie fluide interne remplie d'air ou d'huile. Le transducteur de l'invention présente ainsi une grande robustesse.

REVENDICATIONS

1. Transducteur électro-acoustique submersible dans un fluide d'immersion (8) pour la communication acoustique sous-marine, ledit transducteur comprenant :
 - deux pavillons (3a, 3b),
 - une contremasse (4),
 - deux moteurs électro-acoustiques (1a, 1b), placés de part de d'autre de la contremasse (4), lesdits moteurs (1a, 1b) étant alignés le long d'un axe (6) de symétrie, les extrémités opposées desdits moteurs (1a, 1b) étant reliées respectivement à un pavillon (3a, 3b),l'ensemble constitué par lesdits moteurs électro-acoustiques (1a, 1b), ladite contremasse (4) et lesdits pavillons (3a, 3b) étant apte à générer un mode de résonance électro-acoustique longitudinal, caractérisé en ce que ledit transducteur comprend :
 - une pièce cylindrique (5) rigide et creuse s'étendant autour de ladite contremasse (4), ladite pièce cylindrique (5) ayant un axe confondu avec l'axe de symétrie (6) du transducteur, l'intérieur de ladite pièce cylindrique (5) formant une cavité fluide (7) apte à être remplie par ledit fluide d'immersion (8),
 - lesdits moteurs électro-acoustiques et ladite pièce cylindrique (5) étant dimensionnés pour que ladite cavité fluide (7) forme un couplage acoustique entre ledit mode de résonance électro-acoustique longitudinal dudit transducteur et un mode de résonance circonférentiel de ladite pièce cylindrique (5) lorsque ladite cavité fluide (7) est remplie dudit fluide d'immersion (8).
2. Transducteur électro-acoustique selon la revendication 1 caractérisé en ce que ladite pièce cylindrique (5) est fixée à ladite contremasse (4) par des moyens de suspension aptes à découpler acoustiquement ladite pièce cylindrique (5) de ladite contremasse (4).
3. Transducteur électro-acoustique selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que ladite pièce cylindrique (5) est en matériau métallique ou en matériau composite apte à produire un mode de vibration acoustique de type circonférentiel.
4. Transducteur électro-acoustique selon l'une des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que ladite pièce cylindrique (5) a une section annulaire.

5. Transducteur électro-acoustique selon l'une des revendications 1 à 4 caractérisé en ce que les parois de ladite pièce cylindrique (5) sont pleines.
6. Transducteur électro-acoustique selon l'une des revendications 1 à 5 caractérisé en ce que ledit transducteur est apte à fournir une source d'émission acoustique de fréquence acoustique inférieure à 10000Hz et ayant une largeur de bande passante supérieure à 10% de la fréquence acoustique centrale.
7. Transducteur électro-acoustique selon la revendication 6 caractérisé en ce que ledit transducteur est apte à fournir une source d'émission acoustique de fréquence acoustique inférieure à 1000Hz et ayant une largeur de bande passante supérieure à 10% de la fréquence acoustique centrale.
8. Transducteur électro-acoustique selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisé en ce que ladite cavité fluide (7) est remplie d'eau.
9. Transducteur électro-acoustique selon l'une des revendications 1 à 8 caractérisé en ce que la différence de fréquence entre le mode de résonance longitudinal de l'empilement piézoélectrique et le mode circonférentiel de la pièce cylindrique (5) est inférieure ou égale à environ 10% de la fréquence centrale du transducteur.
10. Procédé d'émission d'ondes acoustiques basse fréquence dans un fluide d'immersion comprenant les étapes suivantes :
 - Génération d'ondes acoustiques dans un fluide d'immersion (8) suivant un mode de résonance longitudinal d'un résonateur comprenant deux empilements piézo-électriques (1a, 1b) disposés de part et d'autre d'une contremasse (4) et alignés suivant un axe (6), les extrémités opposées desdits empilements étant reliées respectivement à deux pavillons (3a, 3b) ;
 - Couplage de ladite résonance longitudinale via une cavité fluide (7) ouverte sur ledit fluide d'immersion (8), à un mode de résonance acoustique circonférentiel d'une pièce cylindrique (5) coaxiale avec lesdits empilements (1a, 1b) et entourant ladite contremasse (4), ladite pièce cylindrique (5) délimitant ladite cavité fluide (7).

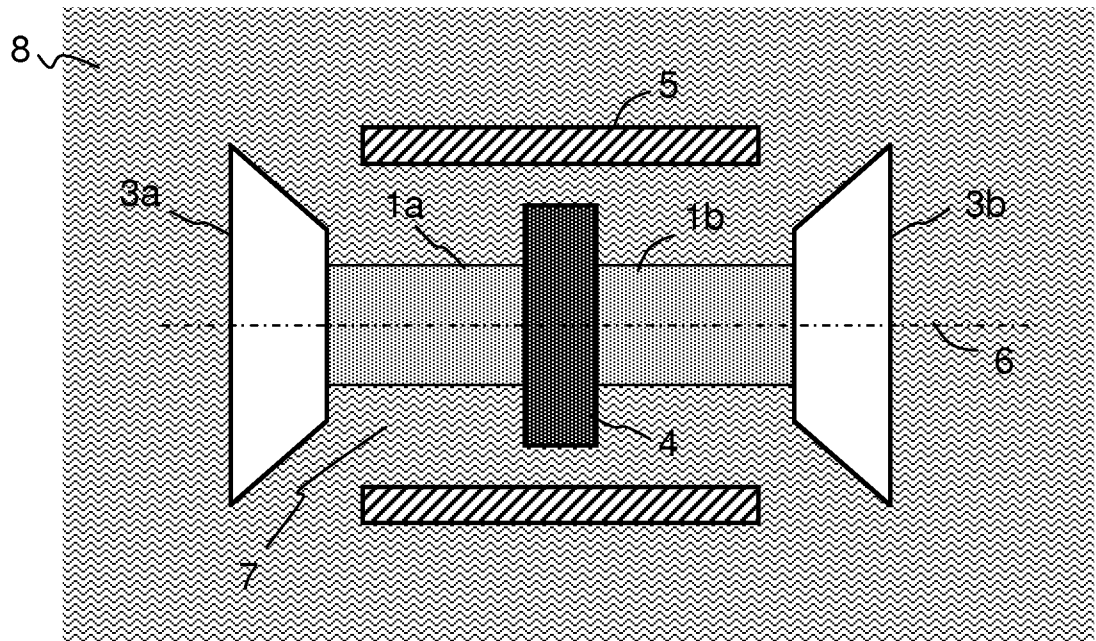


Figure 1