

ANTENNE OMNIDIRECTIONNELLE

Domaine de l'invention

5 L'invention concerne de manière générale les antennes, et en particulier les antennes omnidirectionnelles.

Art antérieur

10 Les plateformes marines (par exemple les bateaux de surface) sont généralement équipées d'antennes sonar immergées pour détecter et/ou situer des objets sous l'eau. Une antenne sonar comprend un ensemble de transducteurs empilés assurant l'émission des signaux acoustiques et montés sur un support. La réception des signaux est effectuée par un ensemble de récepteurs (par exemple des hydrophones) agencés selon une configuration choisie par rapport à la configuration de l'ensemble des transducteurs d'émission.

15 Dans des réalisations existantes, l'antenne a une forme généralement cylindrique ou sphérique et comprend un ensemble de transducteurs élémentaires d'émission superposés (anneaux piézoélectriques) selon l'axe de l'antenne, chaque transducteur ayant une forme d'anneau comme décrit dans la demande FR2 776 161.

20 De tels transducteurs peuvent être de type « Tonpilz » et assurent à la fois l'émission et la réception. Cependant, le diamètre des anneaux étant lié à la fréquence d'émission souhaitée, plus la fréquence désirée est basse, plus l'anneau doit être grand. De telles antennes sont donc encombrantes et ont un poids relativement important. Par ailleurs, les transducteurs de type « Tonpilz »
25 nécessitent d'équiper l'élément actif (matériau piézoélectrique, magnéto- ou électro-strictif) de pièces mécaniques encombrantes (masse sismique arrière, pavillon et boîtier d'étanchéité notamment). Une telle architecture d'antenne est donc inadaptée à la conception d'antennes basses fréquences pour des bâtiments de surface de faible tonnage (notamment de masse inférieure à 1500 Tonnes) ou
30 pour des sous-marins de faible tonnage (notamment de masse inférieure à 6000 Tonnes).

Dans une autre approche connue, l'antenne sonar omnidirectionnelle comporte un réseau vertical de transducteurs compacts de type « flex-tenseurs » fonctionnant dans une bande de fréquences réduite en mode actif (1800-2300 Hz). Ce type d'antenne est dédié à l'émission uniquement. Cette architecture est suffisamment compacte et présente un poids relativement faible. Toutefois, ce type d'antennes ne permet pas d'obtenir la largeur de bande de fréquences nécessaire pour les sonars large-bande modernes.

Un autre architecture connue d'antenne sonar omnidirectionnelle comprend un réseau vertical d'anneaux d'émission actifs, dans lequel l'intérieur des anneaux est isolé du milieu dans lequel baigne l'antenne (selon une technologie appelée « Air Backed Ring » ou ABR en langue anglo-saxonne). Ce type d'antenne est utilisé notamment pour des applications de sonar héliporté, comme par exemple la solution décrite dans la demande de brevet FR 1303023, et présente l'avantage d'offrir plus de compacité avec un poids faible. Toutefois, ces antennes sont limitées en bande de fréquences du fait du comportement mono-résonnant des anneaux actifs utilisés en mode ABR.

Dans d'autres réalisations encore, comme décrit par exemple dans le brevet EP1356450B1, l'antenne sonar omnidirectionnelle comprend un réseau vertical de transducteurs d'émission compacts et large bande, dont les parois sont en contact avec un fluide à l'état liquide (selon une technologie appelée « Free-flooded Rings » ou FFR en langue anglo-saxonne). La présence de liquide vient améliorer les performances acoustiques de l'antenne. La réception est assurée par un ensemble d'hydrophones omnidirectionnels placés sur une structure légère transparente aux ondes acoustiques dans la bande de fréquence utilisée.

Ce type d'architecture antennes sonar omnidirectionnelle est particulièrement adapté aux antennes SONAR remorquées de bâtiments de surface et à certains SONAR de coque pour bâtiments de surface. Les antennes réalisées avec des anneaux FFR adressant le domaine des moyennes fréquences peuvent être relativement compactes et large-bande. Cependant, de telles antennes présentent

des limitations en termes de compacité et de performance de niveau sonore et largeur de bande dues principalement :

- à la présence autour des éléments actifs de dispositifs d'étanchéité, métalliques et/ou élastomériques ; et
- 5 - à l'espacement régulier entre les anneaux.

Définition générale de l'invention

L'invention a notamment pour but de pallier les inconvénients précités, en
10 proposant une antenne omnidirectionnelle destinée à équiper un sonar, l'antenne étant centrée autour d'un axe longitudinal et comprenant un ensemble d'anneaux d'émission empilés selon l'axe longitudinal, chaque anneau d'émission étant formé autour de l'axe longitudinal. Avantageusement, les anneaux d'émission sont
15 assemblés par groupe d'anneaux, l'antenne comprenant au moins deux groupes d'anneaux et chaque groupe d'anneaux comprenant au moins deux anneaux. Les espacements inter-anneaux entre les anneaux d'un même groupe et les espacements inter-groupe entre deux groupes d'anneaux successifs sont choisis de manière à optimiser la largeur de bande d'émission et le niveau sonore. En particulier, les espacements inter-anneaux entre les anneaux d'un même groupe
20 peuvent être une fonction de la fréquence de cavité du groupe d'anneaux tandis que les espacements inter-groupe entre deux groupes d'anneaux successifs sont une fonction de la fréquence d'utilisation opérationnelle des anneaux d'émission.

Selon une caractéristique, les anneaux peuvent être en matériau piézoélectrique.

25 Dans un mode de réalisation, la somme de l'espacement inter-groupe entre deux groupes d'anneaux (p), de l'espacement inter-anneau (d) entre deux d'anneaux et du double de la hauteur (h) d'un anneau peut être sensiblement égale à la demi-longueur d'onde de la fréquence d'utilisation opérationnelle des anneaux
30 d'émission (20).

Selon une autre caractéristique, l'espacement inter-anneaux entre les anneaux d'un même groupe peut être également choisi en fonction de la fréquence radiale du groupe d'anneaux.

Selon une autre caractéristique, l'espacement inter-anneaux entre deux anneaux d'un même groupe peut notamment être choisi de manière à positionner la fréquence de cavité du groupe d'anneaux en dessous de la fréquence radiale dudit anneau.

5

En particulier, la fréquence de cavité de chaque anneau peut être couplée avec la fréquence radiale dudit anneau.

Selon une autre caractéristique, les anneaux d'émission peuvent être immergés directement dans un fluide diélectrique.

10

La cavité interne de chaque anneau d'émission peut notamment être en contact avec le fluide diélectrique.

15

Dans un mode de réalisation, l'antenne peut être logée dans une enceinte étanche remplie du fluide diélectrique.

L'enceinte peut également être sur-pressurisée ou être mise en équilibre hydrostatique avec le milieu extérieur.

20

Selon une autre caractéristique, les anneaux sont alimentés par groupe en parallèle.

L'espacement inter-anneaux entre deux anneaux peut varier au sein d'un même groupe.

25

L'espacement inter-groupes entre deux groupes de l'antenne peut varier pour l'ensemble des groupes de l'antenne.

30

Les modes de réalisation proposés permettent ainsi de réduire la masse et le volume de l'antenne acoustique d'émission du SONAR, ainsi que sa complexité de réalisation, tout en optimisant le niveau sonore et la largeur de bande de fréquences d'émission, ce qui permet d'obtenir des performances acoustiques optimales.

35

Description des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit et des figures des dessins annexés dans lesquels:

- 5 - La figure 1 est un schéma représentant un exemple de plateforme marine sur laquelle peut être fixée une antenne omnidirectionnelle selon les différents modes de réalisation;
- La figure 2 est une vue en perspective d'une antenne sonar omnidirectionnelle, selon un mode de réalisation de l'invention ;
- 10 - La figure 3 est une vue en perspective d'un exemple de base de réception ;
- La figure 4 représente un exemple de structure d'anneau élémentaire ;
- La figure 5 représente un autre exemple de structure d'anneau élémentaire ;
- La figure 6 représente un autre exemple encore de structure d'anneau élémentaire ;
- 15 - La figure 7 est un schéma représentant l'antenne sonar omnidirectionnelle, selon un mode de réalisation ;
- La figure 8 représente un diagramme de réponse fréquentielle obtenu avec différents exemples de réalisation d'antenne omnidirectionnelle ; et
- La figure 9 représente un diagramme de réponse fréquentielle obtenu avec des
- 20 exemples de réalisation d'antenne omnidirectionnelle selon l'invention comprenant un ensemble de groupes d'anneaux empilés.

Les dessins et les annexes à la description pourront non seulement servir à mieux faire comprendre la description, mais aussi contribuer à la définition de l'invention,

25 le cas échéant.

Description détaillée

La figure 1 est un schéma représentant un exemple de structure 1 sur laquelle

30 peut être montée une antenne omnidirectionnelle 100, selon certains modes de réalisation.

L'antenne omnidirectionnelle 100 est destinée à être immergée au moins partiellement dans l'eau (par exemple en pleine eau) pour détecter des objets sous l'eau par émission d'ondes sonores. Elle peut être montée sur toute structure 1 fixe ou mobile, comme par exemple sous une plateforme marine flottante ou ancrée ou un bâtiment de surface comme illustré sur la figure 1.

La figure 2 illustre l'agencement des différents éléments de l'antenne selon certains modes de réalisation.

L'antenne omnidirectionnelle 100 comprend une base d'émission 2 comprenant un ensemble de transducteurs élémentaires 200 empilés selon un axe 10 (appelé ci-après « axe longitudinal de l'antenne »), les transducteurs étant configurés pour émettre d'ondes sonores. L'antenne 100 peut notamment être fixée sur le fond de la structure 1. Les transducteurs d'émission 200 peuvent coopérer avec une base de réception 3 comprenant un ensemble de récepteurs omnidirectionnels pour la réception des signaux. En particulier, la base d'émission (formant antenne d'émission) constituée par les transducteurs élémentaires 200 peut être distincte de la base de réception (formant antenne de réception).

Dans une forme de réalisation, l'antenne omnidirectionnelle 100 peut être une antenne sonar destinée à équiper un sonar actif. La suite de la description sera faite en référence à une antenne 100 de type antenne sonar à titre d'exemple non limitatif. Dans une telle forme de réalisation, les récepteurs de la base d'émission sont des hydrophones.

L'antenne omnidirectionnelle 100 peut avoir une forme généralement cylindrique pour être omnidirectionnelle en gisement. La directivité en site dépend de son extension suivant son axe de révolution 10.

Les transducteurs élémentaires 200 comprennent un ensemble d'anneaux d'émission 20, chaque anneau étant centré autour d'un axe parallèle à l'axe 10 de l'antenne 100. Les anneaux d'émission 20 sont superposés le long de l'axe longitudinal de l'antenne. En particulier, les anneaux d'émission peuvent être sensiblement identiques et centrés autour de l'axe longitudinal de l'antenne 100.

Le diamètre D de chaque anneau 20 est adapté à la fréquence d'émission.

Selon un aspect de l'invention, les anneaux 20 sont assemblés par groupes, chaque groupe constituant un transducteur élémentaire 200 (dans la suite de la description, les groupes d'anneaux seront ainsi désignés par la référence 200). Les groupes d'anneaux 200 sont espacés les uns des autres d'un pas choisi (le pas sera également appelé ci-après « espacement intergroupe ») dans la direction d'empilement, définie par l'axe 10.

Selon une autre caractéristique, chaque groupe 200 (transducteur élémentaire d'émission) comprend un nombre choisi d'anneaux. Dans une forme de réalisation, les différents groupes d'anneaux 200 comprennent le même nombre d'anneaux et sont espacés les uns des autres d'une même distance (i.e. l'espacement intergroupe est identique entre les différents groupes).

Dans le mode de réalisation de la figure 2, la base d'émission 2 comprend trois paires d'anneaux espacée l'une de l'autre, selon le même espacement intergroupe choisi (noté « p »), et chaque groupe d'anneaux 200 comprend une paire d'anneaux.

Les groupes d'anneaux 200 sont maintenus en position par une structure de maintien.

L'antenne 100 peut être raccordée via des câbles ou des connecteurs à des équipements électroniques disposés par exemple sur la structure 1 et configurés pour assurer l'alimentation électrique de l'antenne 100 et l'échange de données avec l'antenne 100. En particulier, chaque anneau d'émission 20 peut être commandé séparément au moyen d'un amplificateur de puissance de manière à réaliser un lobe d'émission en site vers le bas, par exemple par découplage acoustique. En variante, chaque groupe d'anneaux 200 peut être alimenté séparément, en utilisant une alimentation en parallèle.

Une telle configuration des anneaux 20 permet d'optimiser la largeur de bande d'émission de l'antenne et le niveau sonore.

Dans certains modes de réalisation, la base de réception 3 peut être placée de manière coaxiale à la base d'émission.

Selon une autre caractéristique, des tirants d'assemblage 202 peuvent être utilisés pour solidariser les anneaux d'un même groupe entre eux ou de toute l'antenne, comme illustré sur la figure 2. Les tirants 202 peuvent être par exemple des tirants métalliques.

- 5 En complément, des cales de serrage inter-groupes 204 peuvent être placées dans les intervalles séparant deux groupes d'anneaux successifs. Les cales de serrage 204 peuvent faire partie de l'assemblage et peuvent se présenter par exemple sous la forme de cales plastiques à travers lesquelles passent les tirants 202. Les tirants 202 peuvent comprendre des tirants métalliques passant à travers
10 des cales plastiques qui servent de cales. L'ensemble des éléments de la base d'émission 2 peut être serré entre les pièces 205 (couronne) qui permettent la tenue mécanique de l'antenne d'émission de façon indépendante de toute la structure environnante. Une des couronnes 205 peut faire l'interface avec la structure support 1 représentée sur la figure 1.
- 15 Dans les formes de réalisation où les anneaux sont de dimensions sensiblement identiques et centrés autour de l'axe longitudinal de l'antenne 10, ils peuvent être superposés les uns au dessus des autres de sorte que les cales de serrage inter-groupes 204 soit en vis-à-vis les unes des autres dans la direction définie par l'axe longitudinal 10.
- 20 L'antenne 100 peut en outre comprendre une couronne profilée 205 de diamètre au moins égal au diamètre des anneaux placée à chaque extrémité de l'empilement pour maintenir l'ensemble des anneaux et faciliter l'installation de l'antenne d'émission 100.

- La figure 3 illustre un exemple de positionnement de la base de réception 3. Dans
25 l'exemple de la figure 3, les récepteurs 31 sont des hydrophones fixés sur la structure mécanique de maintien 33 de la base d'émission 2. La structure de maintien 33 peut être notamment transparente aux ondes acoustiques dans la bande de fréquences utilisée.

- L'ensemble de récepteurs 31 peut faire partie de la structure mécanique de
30 maintien de l'antenne d'émission. Les récepteurs 31 de l'antenne de réception 3

peuvent par exemple être des hydrophones répartis autour de l'antenne d'émission 100 et sans lien physique avec l'antenne d'émission 100.

En particulier, les récepteurs 31 formant l'antenne de réception peuvent être disposés sensiblement en colonne ou en quinconce sur la structure de maintien 33 entourant l'antenne d'émission, selon l'axe longitudinal 10.

Comme représenté sur la figure 3, les hydrophones 31 peuvent comprendre un ensemble d'hydrophones élémentaires répartis autour de l'antenne d'émission 100 sur des supports 32 et sans lien physique avec l'antenne d'émission 100. Dans le mode de réalisation de la figure 3, les hydrophones élémentaires sont agencés en trois couronnes coaxiales représentées schématiquement par les courbes en pointillés 311, 312 et 313 et centrées autour de l'axe 10. Les couronnes 311, 312 et 313 sont espacées l'une de l'autre, suivant l'axe 10, d'une distance choisie.

L'antenne d'émission 100 peut être agencée au l'intérieur de la structure de maintien 33 et maintenue par celle-ci.

Les anneaux d'émission 20 peuvent être des anneaux actifs en matériau piézoélectrique (par exemple anneaux actifs de céramique piézoélectrique). Chaque anneau 20 peut par exemple comprendre un ensemble de segments placés à l'intérieur d'une couronne de matière isolante (par exemple, en fibre de verre/résine enroulée directement sur les céramiques) comme représenté sur la figure 4 ou sous la forme d'un anneau de composite formant frette comme représenté sur la figure 5. De tels segments 201 peuvent être séparés les uns des autres par des pièces métalliques en forme de coins 202 amovibles vers le centre de l'anneau au moyen d'un dispositif, ce qui permet d'écarter les segments les uns des autres et d'imposer une précontrainte mécanique dans l'anneau de céramique. Les segments peuvent être plaqués contre une couronne de frettage (ou assemblés par collage). En particulier, chaque anneau peut être un anneau précontraint par un conformateur formé d'un ensemble de segments piézoélectriques groupés pour former des secteurs sensiblement identiques.

En variante, chaque anneau peut être réalisé en une seule pièce de céramique (forme monolithique) comme illustré sur la figure 6.

Dans certains modes de réalisation, l'antenne d'émission et/ou la cavité interne des anneaux d'émission 20 peuvent baigner dans un fluide diélectrique 207 non-ionique, comme par exemple de huile.

- 5 En particulier, l'antenne d'émission 100 peut être placée dans une enceinte 208 étanche qui peut être sur-pressurisée et qui peut contenir le fluide diélectrique non-ionique 207. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'utiliser un dispositif d'isolation électrique et/ou d'étanchéité autour des anneaux d'émission 20 (tel que par exemple un enrobage, un surmoulage autour des anneaux ou des pièces
- 10 mécaniques d'isolation électrique et d'étanchéité des anneaux).

La suppression des étanchéités par matière visco-élastique permet de minimiser les pertes par échauffement de ces matières et d'augmenter ainsi notablement le rendement électro-acoustique. Le rendement classique de 50% environ obtenu

15 avec les antennes d'émission classiques peut être augmenté jusqu'à 75% environ.

En complément, il peut être utile de prévoir une fine couche de vernis sur les anneaux principalement pour protéger les anneaux lors de leur manipulation ou de leur transport en phase d'assemblage de l'antenne omnidirectionnelle 100.

20

En supprimant toutes les pertes induites par la présence des matériaux usuellement utilisés pour réaliser les fonctions d'étanchéité et d'isolation électrique, le rendement électro-acoustique de chaque anneau d'émission 20, et par suite le rapport « niveau sonore sur encombrement » et le rapport « niveau

25 sonore sur masse » de l'antenne d'émission 100, sont optimisés.

Le fluide diélectrique 207 dans lequel baignent les anneaux d'émission 20 peut avoir en outre une fonction de drainage thermique de la chaleur générée par les anneaux actifs lors de l'émission. En effet, il se comporte comme un fluide caloporteur qui refroidit les anneaux de céramique par convection naturelle

30 notamment, ce qui permet d'optimiser le niveau sonore émis et la durée d'utilisation à pleine charge.

Dans les modes de réalisations où les anneaux 20 baignent dans le fluide 207, chaque anneau 20 constitue un anneau vibrant dans un fluide environnant et présente donc au moins deux fréquences de résonance acoustiquement couplées au fluide :

- 5 - un mode radial, obtenu à partir d'alternances extension/compression du matériau composant l'anneau, dans lequel la déformation de l'anneau correspond à de telles alternances d'extension/compression radiale autour de la position au repos de l'anneau;
- un mode de cavité, obtenu par la mise en résonance du fluide contenu à
10 l'intérieur du volume défini par l'anneau et dépendant, au premier ordre, de la hauteur de l'anneau.

Le mode de cavité peut être activé en alimentant chaque groupe d'anneaux en parallèle.

15

Dans le mode de réalisation où chaque anneau d'émission 20 est réalisé en matière piézo-électrique, l'énergie nécessaire à la résonance radiale peut être fournie par l'excitation électrique alternative injectée sur la céramique. L'énergie utilisée pour la mise en résonance du mode de cavité peut être lui aussi induit par
20 le mode radial de l'anneau.

Dans certains modes de réalisation, le mode de cavité et le mode radial sont couplés pour obtenir une bande de fréquences de fonctionnement importante de sorte que chaque anneau 20 puisse fonctionner en large bande. En particulier,
25 pour chaque anneau 20, la fréquence de cavité est choisie inférieure à la fréquence radiale, ce qui permet fonctionnement optimal.

La figure 7 est un schéma montrant plus en détail l'agencement des anneaux d'émission 20. Comme montré sur la figure 7, les groupes d'anneaux 200 sont
30 distants les uns des autres d'une distance p constituant l'« espacement inter-groupes ». La figure 7 montre plus précisément 4 groupes d'anneaux 200, chaque groupe comprenant 2 anneaux. Selon une autre caractéristique de l'invention,

l'espacement inter-groupes p entre les différents groupes 200 d'anneaux est choisi de manière à optimiser le fonctionnement de l'antenne.

Selon une autre caractéristique, l'espacement inter-anneaux, noté « d », entre les anneaux d'un même groupe (par exemple paire) est choisi de manière à maîtriser la fréquence de cavité du groupe d'anneaux 200. En particulier, l'espacement inter-anneaux, noté « d », entre les anneaux d'un même groupe (par exemple paire) est choisi en fonction de la fréquence de cavité du groupe d'anneaux 200 et/ou de la fréquence radiale du groupe d'anneau.

En particulier, dans les formes de réalisation où les anneaux 20 d'un même groupe 200 sont placés dans un même domaine fluide et où la distance inter-anneaux d est grande devant la longueur d'onde des ondes acoustiques émises (représentant le rapport entre la célérité du son dans le fluide du domaine considéré et la fréquence d'utilisation de l'antenne), la fréquence de cavité et la fréquence radiale du groupe d'anneau 200 sont sensiblement identiques à celles obtenues pour un anneau seul. Dans les modes de réalisation où l'espacement d est petit devant la longueur d'onde des ondes acoustiques émises, la fréquence de cavité du groupe d'anneaux peut baisser en fréquence jusqu'au cas limite où $d=0$. En particulier, dans le mode de réalisation où $d=0$, la fréquence de cavité du couple peut être deux fois plus basse que celle de l'anneau seul.

L'antenne omnidirectionnelle 100 peut notamment être configurée de sorte que, quelque soit l'espacement inter-anneaux d , la fréquence radiale des anneaux élémentaires reste inchangée.

L'optimisation de l'espacement inter-anneaux d pour une antenne donnée permet ainsi de faire varier la fréquence de cavité de l'antenne et de l'optimiser pour un fonctionnement donné.

La distance d inter-anneaux entre les anneaux élémentaires permet ainsi de positionner au mieux la fréquence de cavité de l'antenne par rapport aux besoins de l'antenne 100.

L'espacement inter-groupes p entre deux groupes de l'antenne peut être avantageusement choisi de manière à optimiser le rendement acoustique de la base d'émission 2. En particulier, l'espacement inter-groupes p peut être choisi en fonction de la fréquence d'utilisation opérationnelle de la base d'émission. Dans un mode de réalisation, l'espacement inter-groupes p peut être choisi égal à la demi-longueur d'onde de la fréquence d'utilisation opérationnelle de la base d'émission 2. L'espacement inter groupe p peut ainsi être optimisé soit d'un point de vue acoustique (largeur de bande et sensibilité à l'émission) soit d'un point de vue plus général, incluant la chaîne d'émission, afin de disposer du maximum de puissance active dans l'antenne sur la plus grande bande de fréquences possible.

Les groupes d'anneaux séparés de la distance intergroupe d peuvent être alimentés avec un déphasage approprié pour obtenir un mode d'antenne permettant d'émettre avec un dépointage du lobe principal suivant l'axe de révolution de l'antenne.

Dans les modes de réalisation où l'antenne 100 est plongée dans un fluide et comprend un fluide dans la cavité interne de chaque anneau d'émission 20, la présence de fluide permet d'utiliser les anneaux en mode FFR (technologie « Free-flooded Rings » en langue anglo-saxonne) et donc d'obtenir un fonctionnement large-bande. Dans le mode FFR, les parois internes des anneaux d'émission 20 sont en contact avec un fluide à l'état liquide.

Dans un tel mode FFR, lorsque la distance minimale inter-anneaux « d » entre anneaux d'un même groupe est choisie de manière à optimiser le fonctionnement acoustique suivant le mode de cavité de l'anneau, le rendement électro-acoustique obtenu est très supérieur à celui obtenu avec les antennes d'émission omnidirectionnelles classiques.

Le fluide diélectrique dans lequel baigne l'antenne d'émission 100 et/ou qui est en contact avec la cavité interne de chaque anneau (dans le mode FFR) peut avoir des caractéristiques acoustiques (en particulier, densité, célérité du son, impédance acoustique) similaires à l'eau, comme par exemple une huile minérale spécifique.

Le fluide diélectrique peut également avoir des caractéristiques thermiques optimisées vis-à-vis du refroidissement par convection naturelle des anneaux actifs.

- 5 Dans les modes de réalisation où l'antenne d'émission est placée dans une enceinte 208 remplie du fluide diélectrique, l'enceinte 208 est une enceinte acoustiquement transparente, comme par exemple en matériau composite en fibre, en résine (verre, carbone,...), ou en élastomère caoutchouc ou polyuréthane.

10

Une telle enceinte 208 peut être notamment sur-pressurisée pour repousser les limites en cavitation de l'antenne d'émission 100.

15

L'enceinte 208 peut être en outre configurée pour être en équilibre hydrostatique avec le milieu extérieur, ce qui peut avoir un intérêt particulier pour les applications embarquées sur véhicule à immersion variable (comme par exemple un sous-marin, un corps remorqué, un drone, etc.).

20

En complément ou en variante, l'enceinte 208 peut être partiellement revêtue de matériau acoustique (par exemple anéchoïque ou par masquage) afin d'optimiser le diagramme de rayonnement de l'antenne d'émission et/ou la réponse signal de l'antenne et/ou le bruit de la base de réception associée (3).

25

L'antenne omnidirectionnelle 100 selon les différents modes de réalisation présente une compacité optimisée par rapport aux solutions classiques. En effet, les différents modes de réalisation permettent d'adresser la partie basse de la bande de fréquences par un mode de fluide qui a une dépendance limitée par rapport à la structure physique de l'antenne (pour une dimension physique donnée, la bande de fréquences est élargie vers les basses fréquences).

30

Les différents modes de réalisation de l'invention facilitent ainsi l'installation de l'antenne acoustique sur une plateforme marine telle qu'un bâtiment de surface,

notamment de faible tonnage et tirant d'eau réduit, ou sur un sous-marin, pour lequel le volume disponible en superstructures est très contraint.

L'antenne omnidirectionnelle selon les différents modes de réalisation peut également être utilisée dans tout type d'application sonar, comme par exemple dans des applications de type sonar aéroporté ou des dispositifs fixes ou mobiles de surveillance maritime.

La figure 8 montre le diagramme de réponse fréquentielle obtenu avec différents exemples de réalisation d'antenne omnidirectionnelle.

Sur le diagramme de la figure 8, l'axe horizontal correspond à l'axe des fréquences (en Hz) et l'axe vertical correspond à la sensibilité à l'émission (sensibilité en tension Sv en dB μ Pa/V). Les courbes sont caractérisées par deux maximums correspondant respectivement au mode de cavité et au mode radial :

Sur le diagramme de la figure 8 :

- La courbe C1 correspond à la réponse fréquentielle obtenue avec une antenne classique de type « Free Flooded ». Le premier maximum est observé à la fréquence F_c correspondant à un fonctionnement en mode cavité et à la longueur d'onde de résonance de la cavité λ_c , tandis que le deuxième maximum est observé à la fréquence F_r correspondant au fonctionnement en mode radial et à la longueur d'onde λ_r .

- La courbe C2 correspond à la réponse fréquentielle obtenue avec un exemple de réalisation d'antenne omnidirectionnelle selon l'art antérieur comprenant une paire d'anneaux collés : les maximums sont atteints pour une fréquence $\frac{F_c}{2}$ et F_r .

- La courbe C3 correspond à la réponse fréquentielle obtenue avec un exemple de réalisation d'antenne omnidirectionnelle selon l'invention comprenant un groupe d'anneaux, les anneaux étant espacés d'une distance $d = \frac{\lambda_c}{5,5} - h$, avec h désignant la hauteur de chaque anneau pour des anneaux de même hauteur (représentée sur la figure 7) ou $d = \frac{\lambda_c}{5,5} - \frac{h_1}{2} - \frac{h_2}{2}$ si les deux anneaux adjacents d'un même groupe ont des hauteurs h_1 et h_2 différentes. La suite de la description

sera faite en référence à des anneaux de même hauteur h à titre d'exemple non limitatif. Dans l'exemple de réalisation correspondant à la courbe C3, les maximums sont atteints pour une fréquence F'_c , la fréquence F'_c pouvant prendre toutes les valeurs entre $\frac{F_c}{2}$ et F_c en fonction de la distance d .

- 5 Les inventeurs ont ainsi établi qu'un espacement d entre les anneaux (espacement inter-anneaux) d'un même groupe très petit et fonction de la longueur d'onde de résonance de la cavité λ_c (par exemple $d = \frac{\lambda_c}{5,5} - h$ comme représenté sur la courbe C3) permet d'optimiser la réponse dans une bande de fréquences plus large que dans les réalisations classiques. Ainsi, l'espacement
- 10 inter-anneaux d peut être avantageusement choisi tel que :

$$d = f(\lambda_c) - h, \text{ où } f \text{ est une fonction de } \lambda_c.$$

Par exemple, la fonction f peut être choisi égale à $f(\lambda_c) = \frac{\lambda_c}{\alpha}$, avec α compris entre 5 et 6.

15

Il convient de noter que ce critère relatif à l'espacement d entre les anneaux peut être alternativement formulé sous la forme d'un critère relatif à la hauteur h des anneaux, étant donné que $h = f(\lambda_c) - d$, ou d'un critère relatif à la distance L entre deux groupes d'anneaux successifs (représentée sur la figure 7), avec

20 $L = d + 2h + p$ (d désignant la distance inter-anneaux, p la distance inter-groupe et h la hauteur des anneaux) comme illustré par le diagramme de la figure 7.

25

La figure 9 représente la réponse fréquentielle obtenue avec un exemple de réalisation d'antenne omnidirectionnelle selon l'invention comprenant un ensemble de groupes d'anneaux 200 empilés, les anneaux d'un même groupe d'anneaux étant espacés d'une distance $d = \frac{\lambda_c}{5,5} - h$. Les différentes courbes représentées sur la figure 9 (C4, C5 et C6) correspondent à une distance L entre deux groupes d'anneaux successifs prise égale à la demi-longueur d'onde de la fréquence d'utilisation opérationnelle des anneaux d'émission ($\frac{\lambda}{2}$), la distance L étant définie

par $L = d + 2h + p$ (d désignant la distance inter-anneaux, p la distance inter-groupe et h la hauteur des anneaux), pour différentes valeurs de fréquences.

Plus précisément :

- 5 - La courbe C4 correspond à $L = \frac{\lambda}{2}$ à une fréquence F'_c ;
- La courbe C5 correspond à $L = \frac{\lambda}{2}$ à une fréquence F_r ;
- La courbe C6 correspond à $L = \frac{\lambda}{2}$ à une fréquence $\frac{F'_c + F_r}{2}$.

10 La figure 9 montre ainsi que la bande de fréquences obtenue avec certains modes de réalisation de l'invention est plus large que pour une antenne classique et présente un niveau sonore égalisé sur toute la bande de fréquences. Les inventeurs ont établi qu'un tel résultat est lié au choix des distances inter-groupe p et inter-anneaux d . En particulier, les distances p et d peuvent être choisies de manière à optimiser le niveau sonore en fonction des besoins.

15 Les différents modes de réalisation permettent d'optimiser le niveau sonore et la largeur de bande des fréquences d'émission. La performance acoustique de l'antenne d'émission est avantageusement optimisée de façon à couvrir l'ensemble des conditions d'environnement et de propagation, que ce soit en
20 conditions grands fonds ou de petits fonds, potentiellement fortement réverbérant.

25 Bien que non limités à de telles applications, les modes de réalisation proposés ont des avantages particuliers dans le domaine des systèmes SONAR basses et moyennes fréquences permettant la détection/classification de sous-marins.

30 L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits ci-avant à titre d'exemple non limitatif. Elle englobe toutes les variantes de réalisation qui pourront être envisagées par l'homme du métier. En particulier, l'invention n'est pas limitée à un agencement particulier des récepteurs 31 formant l'antenne de
réception 3, ni à une architecture particulière pour réaliser les anneaux d'émission
20. L'invention n'est pas non plus limitée à un espacement d entre anneaux d'un même groupe (espacement inter-anneaux) constant au sein d'un même groupe.

Par exemple, l'espacement inter-anneaux d peut être variable au sein d'un même groupe afin d'adapter au mieux les modes de cavité de chaque groupe à sa position dans l'antenne. De même, l'invention n'est pas non plus limitée à un espacement inter-groupes p constant entre deux groupes successifs. Un

5 espacement inter-groupes variable peut être choisi par exemple en fonction des performances requises, de la position du groupe par rapport à l'axe de l'antenne, etc. Par ailleurs, l'invention n'est pas limitée à des anneaux 20 de dimensions identiques au sein d'un même groupe 20. Par exemple, Par exemple, les anneaux

20 d'un même groupe 200 peuvent avoir une hauteur différente. Plus

10 généralement, la configuration des différents groupes 200 peut différer d'un groupe à l'autre.

Revendications

1. Antenne omnidirectionnelle (100) destinée à équiper un sonar, l'antenne étant centrée autour d'un axe longitudinal (10) et comprenant un ensemble d'anneaux d'émission (20) empilés selon ledit axe longitudinal, chaque anneau d'émission (20) étant formé autour dudit axe longitudinal, caractérisé en ce que les anneaux d'émission (20) sont assemblés par groupe d'anneaux (200), l'antenne (100) comprenant au moins deux groupes d'anneaux (200) et chaque groupe d'anneaux comprenant au moins deux anneaux (20), et en ce que les espacements inter-anneaux entre les anneaux d'un même groupe sont une fonction de la fréquence de cavité du groupe d'anneaux (200) tandis que les espacements inter-groupe entre deux groupes d'anneaux successifs sont une fonction de la fréquence d'utilisation opérationnelle des anneaux d'émission (20).
2. Antenne omnidirectionnelle (100) selon la revendication 1, caractérisé en ce que les anneaux (20) sont en matériau piézoélectrique.
3. Antenne omnidirectionnelle (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la somme de l'espacement inter-groupe entre deux groupes d'anneaux p , de l'espacement inter-anneau d entre deux d'anneaux et du double de la hauteur d'un anneau est sensiblement égale à la demi-longueur d'onde de la fréquence d'utilisation opérationnelle des anneaux d'émission (20).
4. Antenne omnidirectionnelle (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'espacement inter-anneaux entre les anneaux d'un même groupe est choisi en outre en fonction de la fréquence radiale du groupe d'anneaux.
5. Antenne omnidirectionnelle (100) selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'espacement inter-anneaux entre deux anneaux d'un même groupe est choisi de manière à positionner la fréquence de cavité du groupe d'anneaux en dessous de la fréquence radiale dudit anneau.

6. Antenne omnidirectionnelle (100) selon l'une des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que la fréquence de cavité de chaque anneau est couplée avec la fréquence radiale dudit anneau.

5 7. Antenne omnidirectionnelle (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que les anneaux d'émission (20) sont immergés directement dans un fluide diélectrique.

10 8. Antenne omnidirectionnelle (100) selon la revendication 7, caractérisée en ce que la cavité interne de chaque anneau d'émission (20) est en contact avec ledit fluide diélectrique.

15 9. Antenne omnidirectionnelle (100) selon l'une des revendications 7 et 8, caractérisé en ce que l'antenne (100) est logée dans une enceinte étanche (208) remplie dudit fluide diélectrique.

10. Antenne omnidirectionnelle (100) selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'enceinte (208) est sur-pressurisée.

20 11. Antenne omnidirectionnelle (100) selon l'une des revendications 9 et 10, caractérisé en ce que l'enceinte (208) est mise en équilibre hydrostatique avec le milieu extérieur.

25 12. Antenne omnidirectionnelle (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les anneaux (20) sont alimentés par groupe en parallèle.

13. Antenne omnidirectionnelle (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'espacement inter-anneaux entre deux anneaux (20) varie au sein d'un même groupe.

30 14. Antenne omnidirectionnelle (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'espacement inter-groupes entre deux groupes de l'antenne varie pour l'ensemble des groupes de l'antenne (200).