



(43) Date de la publication internationale
14 janvier 2016 (14.01.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/005489 A2

(51) Classification internationale des brevets : Non classée

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2015/065678

(22) Date de dépôt international :
9 juillet 2015 (09.07.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1456686 10 juillet 2014 (10.07.2014) FR

(71) Déposants : **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE** [FR/FR]; 3 Rue Michel Ange, F-75016 Paris (FR). **UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE** [FR/FR]; Jardin du Pharo, 58 boulevard Charles Livon, F-13284 Marseille Cedex 07 (FR). **ECOLE CENTRALE DE MARSEILLE** [FR/FR]; Technopole de Château Gombert, 38 rue Frédéric Joliot-Curie, F-13013 Marseille (FR).

(72) Inventeurs : **BELLIZZI, Sergio**; 27 Chemin Joseph Aiguier, F-13009 Marseille (FR). **COCHELIN, Bruno**; 21 Place des Naudins, F-13380 Plan de Cuques (FR). **COTE, Renaud**; 5, Rue Pierre Bully, F-04000 Digne les Bains

(FR). **HERZOG, Philippe Martin**; 325 Chemin de Pierresca, F-13360 Roquevaire (FR). **MATTEI, Pierre-Olivier**; 68 rue Saint-Jacques, F-13006 Marseille (FR). **PACHEBAT, Marc**; Bat Sirocco 48 bd du Collet, F-13008 Marseille (FR). **PINHEDE, Cédric**; 5 bd Amédée Autran, F-13007 Marseille (FR).

(74) Mandataire : **HAUTIER, Nicolas**; Cabinet Hautier, 20 Rue de la Liberté, F-06000 Nice (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, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : SOUND ATTENUATION DEVICE AND METHOD

(54) Titre : DISPOSITIF ET MÉTHODE D'ATTÉNUATION DU SON

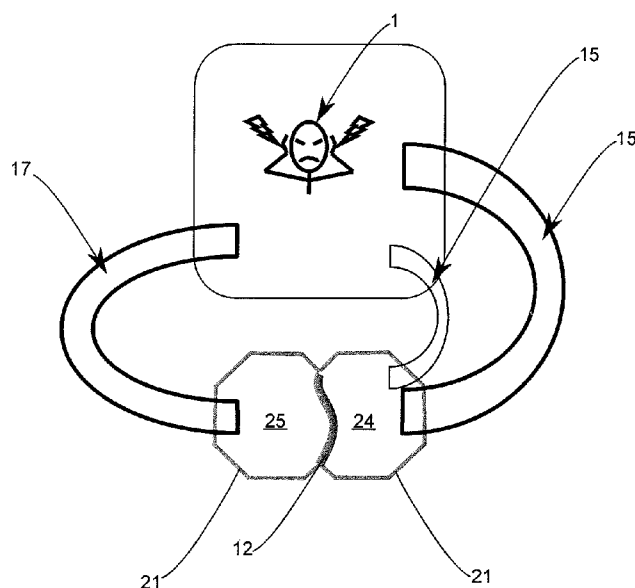


Figure 4b

(57) Abstract : The invention relates, in particular, to an attenuation device intended for attenuating sound waves generated by a source (1) emitting sound waves of which the frequencies are between f_1 and f_2 and of which the pressure levels are between n_1 and n_2 , the attenuation device comprising at least one sound absorber (11) comprising at least one non-linear membrane; - the attenuation device being configured such that the first face (13) of the absorber (11) is in acoustic communication with the source (1); - the attenuation device comprises at least one coupling element (16) for coupling the second face (14) with the source (1), the coupling element (16) being configured to transmit, to the second face (14), sound waves depending on the sound waves emitted by the source (1), and of which the phase and/or the amplitude results in a pressure differential of the sound waves arriving at the first and second faces respectively at the same time. The invention also comprises a sound attenuation system and method.

(57) Abrégé : L'invention porte notamment sur un dispositif d'atténuation destiné à atténuer des ondes acoustiques générées par une source (1) émettant des ondes acoustiques dont

[Suite sur la page suivante]



DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

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

les fréquences sont comprises entre f1 et f2 et dont les niveaux de pression sont compris entre n1 et n2, le dispositif d'atténuation comprenant au moins un absorbeur (11) acoustique comprenant au moins une membrane non-linéaire; - le dispositif d'atténuation étant configuré de manière à ce que la première face (13) de l'absorbeur (11) soit en communication acoustique avec la source (1); - le dispositif d'atténuation comprend au moins un élément de couplage (16) de la deuxième face (14) avec la source (1), l'élément de couplage (16) étant configuré pour transmettre à la deuxième face (14) des ondes acoustiques fonction des ondes acoustiques émises par la source (1), et dont la phase et/ou l'amplitude conduit à un différentiel de pressions des ondes acoustiques parvenant respectivement sur les première et deuxième face au même instant. L'invention comprend également un système et un procédé d'atténuation des sons.

5

10

15

«Dispositif et méthode d'atténuation du son»

20

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

L'invention concerne le domaine de l'atténuation des sons. Elle porte notamment sur un dispositif permettant d'atténuer les sons générés par une source. Elle trouve par exemple pour application particulièrement avantageuse, sans que cela soit limitatif, le domaine de l'atténuation des bruits de bouche d'un moteur thermique.

25

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

Il existe de nombreuses solutions pour atténuer les sons générés par une source.

30

Plusieurs de ces solutions reposent sur l'utilisation d'une membrane souple dont une face est mise en mouvement par le son. Lorsque les mouvements de la membrane correspondent à un effet de pompage énergétique, le son est atténué.

Le pompage énergétique par membrane est d'une efficacité prouvée lorsqu'une face de la membrane est couplée avec la source émettant les sons et qu'une autre face de la membrane est laissée libre.

35

En revanche laisser libre une face de la membrane génère un rayonnement sonore secondaire qui se propage vers l'extérieur et qui limite fortement l'intérêt du dispositif d'atténuation.

5 Pour cette raison notamment, le dispositif d'atténuation est en pratique logé en partie au moins dans un capot.

Capoter la face libre de la membrane coupe alors le rayonnement sonore secondaire mais perturbe négativement la libre déformation de la face avant de la membrane. En effet, le capot emprisonne un volume d'air qui s'oppose au mouvement de la membrane.

10 Un capot de très grand volume permet d'éviter cette opposition au libre déplacement de la membrane mais pose des problèmes évidents d'encombrement.

Un petit capot présente deux inconvénients : en cas de variation de la pression statique, il se produit un gonflement nuisible de la membrane ; le volume d'air emprisonné s'oppose aux mouvements, en particulier ceux à la fréquence de la source.

15 Afin de limiter l'encombrement du dispositif d'atténuation et l'émission d'un rayonnement secondaire une solution partielle a été décrite dans le document publié sous le numéro EP2172640. Cette solution repose sur une membrane dont la face arrière est enfermée dans un capot pour définir une chambre de dissipation de l'énergie. La chambre de dissipation de l'énergie est équipée d'une canalisation présentant une inertie et un amortissement importants afin d'égaliser les pressions moyennes régnant de part et d'autre de la membrane de manière à éviter l'apparition d'une contrainte supplémentaire sur la membrane, cette contrainte supplémentaire étant nuisible au fonctionnement du système. L'efficacité de cette solution s'avère en pratique limitée.

20 Afin de limiter l'encombrement du dispositif d'atténuation et l'émission d'un rayonnement secondaire une autre solution a été décrite dans la thèse Chiu Yu Him, « Noise Attenuation by vibroacoustic coupling », The Hong Kong Polytechnic University, 2004. Cette solution repose sur un système magnétique qui compense la surpression générée entre le capot et la face arrière de la membrane lors de la déformation de cette dernière.

30 Cette solution vise ainsi à compenser les phénomènes acoustiques générés dans la chambre arrière. Cette solution s'avère en pratique très complexe à mettre en œuvre.

Il existe donc un besoin consistant à proposer une solution pour atténuer le son d'une source primaire de manière plus efficace que les solutions connues et tout en présentant une complexité de mise en œuvre et un encombrement limités.

Tel est un objectif de la présente invention.

5

RÉSUMÉ DE L'INVENTION

Pour atteindre cet objectif, un aspect de la présente invention concerne un dispositif d'atténuation destiné à atténuer des ondes acoustiques générées par une source émettant des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises entre f_1 et f_2 et dont les niveaux de pression sont comprises entre n_1 et n_2 ,

10

- le dispositif d'atténuation comprenant au moins un absorbeur acoustique comprenant au moins une membrane, l'absorbeur acoustique présentant au moins une première face et au moins une deuxième face distincte de la première face, l'absorbeur acoustique étant configuré pour présenter un comportement en déformation non-linéaire lorsqu'il reçoit des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises entre f_{01} et f_{02} , la gamme f_{01} - f_{02} couvrant au moins 50% de la gamme f_1 - f_2 et dont les niveaux de pression sont compris entre n_{01} et n_{02} , la gamme n_{01} - n_{02} couvrant au moins 50% de la gamme n_1 - n_2 ;

15

- le dispositif d'atténuation étant configuré de manière à ce que la première face de l'absorbeur soit en communication acoustique avec la source.

20

Avantageusement, le dispositif d'atténuation comprend au moins un élément de couplage de la deuxième face avec la source, l'élément de couplage étant configuré pour transmettre à la deuxième face des ondes acoustiques telles que $|P_1 - P_2| > k \cdot |P_1|$ pendant au moins une partie du cycle de fonctionnement de la source, avec P_1 et P_2 étant les pressions acoustiques instantanées des ondes acoustiques parvenant respectivement sur les première et deuxième faces au même instant et avec $k > 0.2$. Et $|P|$ la valeur absolue de P

25

P_1 et P_2 sont ici les pressions acoustiques instantanées, mesurables en pratique. $|P_1 - P_2|$ représente la valeur absolue de $P_1 - P_2$ et $|P_1|$ représente la valeur absolue de la pression instantanée P_1 .

30

Le dispositif de l'invention prévoit ainsi de coupler acoustiquement chacune des deux faces de l'absorbeur à la source. Elle permet ainsi d'exploiter la deuxième face de l'absorbeur en le couplant acoustiquement ou électro-acoustiquement avec la source.

35

Le dispositif d'atténuation est agencé de manière à imposer une différence de marche entre les ondes acoustiques parvenant respectivement sur les première et

deuxième faces de l'absorbeur, conduisant ainsi à augmenter le différentiel de pression s'appliquant sur ces deux faces.

Chacune des deux faces de la membrane est utilisée et participe au pompage énergétique.

5 L'invention permet ainsi d'atténuer efficacement des sons dans une large gamme de fréquences et tout en conservant un encombrement réduit.

L'invention utilise la face arrière au lieu d'en subir un inconvénient. L'invention se détourne ainsi des solutions connues basées sur la formation d'une chambre de dissipation en face arrière de la membrane.

10 L'invention permet d'utiliser un capot, formant une chambre, d'encombrement limité sans pour autant que le rayonnement secondaire ne s'oppose à la déformation de la membrane, et ceci avantageusement quelles que soient les situations.

La solution décrite dans le document EP2172640 vise à instaurer un équilibrage des pressions statiques de part et d'autre de la membrane, sans transmettre de
15 phénomènes acoustiques en face arrière de la membrane. Les phénomènes acoustiques sont supprimés par la canalisation et non ressentis. En effet, la canalisation présente une grande inertie et dissipation ce qui l'empêche de transmettre les ondes acoustiques (vibrations rapides). Ainsi, l'efficacité de l'atténuation est faible car l'inertie de la canalisation de grande inertie vise à égaliser les pressions statiques
20 et la chambre de dissipation ainsi équipée empêche une déformation optimale de la membrane.

L'invention vise, au contraire, à accentuer et favoriser la différence de pression acoustique instantanée entre les deux faces de l'absorbeur afin d'exploiter les deux faces de la membrane. Si la membrane bouge c'est qu'il y a présence d'une différence
25 de pression et l'invention vise à augmenter cette différence. Pour cela, la face arrière de la membrane est couplée acoustiquement à la source et pas uniquement équilibrée en pression avec la face avant de la membrane. Les ondes acoustiques peuvent donc parvenir à la deuxième face de la membrane et favoriser les mécanismes de dissipation.

30 La présente invention vise à accentuer une différence de pression acoustique instantanée entre les deux faces de l'absorbeur afin d'exploiter les deux faces de la membrane et d'optimiser l'atténuation de son. Dans l'invention, l'élément de couplage entre la source et la face arrière présente un maximum de transmission pour une fréquence supérieure à f_1 .

35 L'invention ne prévoit pas de former une chambre de dissipation en face arrière de la membrane comme l'enseignent les solutions décrites dans EP2172640 mais elle

prévoit au contraire de former une chambre de couplage entre la face arrière de la membrane et la source.

Ainsi, alors que l'état de la technique suggère à l'homme du métier de supprimer, réduire ou compenser les phénomènes acoustiques générés entre la face arrière et le capot, l'invention prévoit d'exploiter ces phénomènes et de les adapter pour exploiter les deux faces de la membrane.

Les solutions connues auraient donc détourné l'homme du métier de l'invention.

Par ailleurs, le dispositif de l'invention présente une complexité limitée.

Selon un autre aspect, la présente invention porte sur un système comprenant une source émettant des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises entre f_1 et f_2 et dont les niveaux de pression sont compris entre n_1 et n_2 et un dispositif d'atténuation selon l'invention configuré pour atténuer les ondes acoustiques de ladite source.

Selon un autre aspect, la présente invention porte sur un procédé d'atténuation destiné à atténuer des ondes acoustiques générées par une source émettant des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises entre f_1 et f_2 et dont les niveaux de pression sont comprises entre n_1 et n_2 ;

- sélectionner au moins un absorbeur acoustique comprenant au moins une membrane, l'absorbeur acoustique présentant au moins une première face et au moins une deuxième face distincte de la première face et de préférence opposée à cette dernière, l'absorbeur acoustique étant configuré de manière à ce que la membrane présente un comportement en déformation non-linéaire lorsqu'elle reçoit des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises entre f_{01} et f_{02} , la gamme f_{01} - f_{02} couvrant au moins 50% de la gamme f_1 - f_2 et dont les niveaux de pression sont compris entre n_{01} et n_{02} , la gamme n_{01} - n_{02} couvrant au moins 50% de la gamme n_1 - n_2 ;
- disposer la première face de l'absorbeur en communication acoustique avec la source ;
- sélectionner un élément de couplage de la deuxième face avec la source, l'élément de couplage étant sélectionné de manière à transmettre à la deuxième face un maximum de pression acoustique instantanée pour des ondes acoustiques dont les fréquences sont supérieures à f_1 et de manière à transmettre à la deuxième face des ondes acoustiques dont:
 - o la pression acoustique instantanée s'exerçant sur la deuxième face est fonction de la pression acoustique instantanée des ondes acoustiques émises par la source,

- 5 ○ les propriétés, de phase et/ou d'amplitude par exemple conduisent à ce que $|P_1 - P_2| > k \cdot |P_1|$ pendant au moins une partie du cycle de fonctionnement de la source, avec P_1 et P_2 étant les pressions acoustiques instantanées des ondes acoustiques parvenant respectivement sur les première et deuxième faces au même instant et avec $k > 0.2$.

Selon un autre aspect, la présente invention porte sur un procédé d'atténuation des bruits générés par une source, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- 10 - déterminer le ou les mode(s) acoustique(s) des bruits ;
- sélectionner au moins un absorbeur acoustique comprenant au moins une membrane, l'absorbeur acoustique présentant au moins une première face et au moins une deuxième face différente et souvent opposée à la première face, la sélection de l'absorbeur portant sur au moins une caractéristique physique
- 15 de la membrane souple en fonction du ou des mode(s) acoustique(s),
- fixer la membrane de sorte que la membrane puisse subir une grande déformation sous l'action du ou des mode(s) acoustique(s), ladite caractéristique physique de la membrane étant par exemple la raideur, laquelle dépend de l'épaisseur, de la surface et du module d'Young de la membrane ;
- 20 - disposer la première face de l'absorbeur en communication acoustique avec la source ;
- coupler la deuxième face avec la source de manière à transmettre à la deuxième face un maximum de pression acoustique pour des ondes acoustiques dont les fréquences sont supérieures à la fréquence minimale
- 25 émise par la source et de manière à transmettre à la deuxième face des ondes acoustiques telles qu'il se crée un différentiel de pression acoustique instantanée de part et d'autre des première et deuxième faces de l'absorbeur.

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

- 30 Les buts, objets, ainsi que les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description détaillée d'un mode de réalisation de cette dernière qui est illustré par les dessins d'accompagnement suivants dans lesquels :

La Figure 1 est un schéma d'un exemple de mode de réalisation de l'invention.

- La Figure 2 est un schéma d'un autre exemple de mode de réalisation de
- 35 l'invention, dans lequel l'absorbeur est un conduit évasé à ses extrémités.

Les Figures 3a et 3b sont des schémas d'autres exemples de réalisation de l'invention.

La Figure 4a est un schéma d'un autre exemple de mode de réalisation de l'invention comprenant une chambre de couplage acoustique au regard de la deuxième
5 face de la membrane et couplée acoustiquement à la source.

La Figure 4b est un schéma d'un autre exemple de mode de réalisation de l'invention dans lequel plusieurs coupleurs couplent acoustiquement la première face de la membrane à la source.

La Figure 4c est un schéma d'un autre exemple de mode de réalisation de l'invention dans lequel l'élément de couplage est formée de plusieurs éléments dont un
10 couplage avec la chambre avant et un couplage entre la chambre avant et la source.

Les Figures 5a et 5b sont des schémas d'autres exemples de réalisation de l'invention dans lesquels le couplage entre la deuxième face de la membrane et la source est un couplage électro-acoustique.

La Figure 6 est un schéma d'un autre exemple de mode de réalisation de l'invention dans lequel l'absorbeur acoustique comprend une pluralité de membranes.
15

Les figures 7a et 7b illustrent deux modes de réalisation d'absorbeur que l'on peut utiliser pour tous les modes de réalisation de l'invention.

Les figures 8a et 8b illustrent un mode de réalisation de l'invention, dans lequel le dispositif d'atténuation est disposé dans le faux plafond d'une pièce.
20

Les figures 9a et 9b sont des vues simplifiées, respectivement de face en coupe et de côté, du dispositif d'atténuation utilisé dans le mode de réalisation illustré en figures 8a et 8b.

Les dessins sont donnés à titre d'exemples et ne sont pas limitatifs de l'invention.
25 Ils constituent des représentations schématiques de principe destinées à faciliter la compréhension de l'invention et ne sont pas nécessairement à l'échelle des applications pratiques. En particulier les dimensions relatives des différents éléments ne sont pas représentatives de la réalité.

30 DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE L'INVENTION

Avant de décrire en détail des modes de réalisation de la présente invention, quelques rappels et définitions sont donnée ci-dessous concernant les pressions ainsi que leurs niveaux:

La pression est une grandeur physique instantanée qui peut se décomposer en
35 deux composantes additives, la pression statique et la pression acoustique instantanée.

La pression statique peut être définie comme la moyenne arithmétique de la pression pendant l'intervalle de temps considéré, intervalle typiquement de l'ordre d'au moins 10 périodes de la plus petite fréquence d'intérêt, par exemple 0,2s pour 50Hz. La pression acoustique instantanée représente la composante de pression mettant en
5 jeu des phénomènes acoustiques, typiquement au-dessus de 20 Hz.

La pression acoustique instantanée présente une alternance de valeurs positives et négatives, et a une moyenne nulle.

On appelle niveau de pression la moyenne de la pression acoustique instantanée au sens des moindres carrés (valeur efficace). Dans le cas général elle est
10 estimée à partir de données recueillies dans le même type d'intervalle de temps que ci-dessus. Dans la présente invention, le niveau de pression est noté « n ».

Dans le cas d'ondes harmoniques on définit l'amplitude de l'onde comme la valeur maximale prise par la composante de la pression à la fréquence considérée. Dans le cas général l'amplitude est la valeur maximale prise par la pression acoustique
15 instantanée. Il existe une relation proportionnelle entre l'amplitude et le niveau pour les ondes harmoniques ou de forme connue. Pour un signal donné quelconque il existe une relation quadratique entre son niveau, et les amplitudes de ses composantes de Fourier.

On peut par exemple utiliser la méthode suivante pour déterminer les pressions
20 acoustiques instantanées P1 et P2 s'exerçant sur les première et deuxième faces de l'absorbeur : placer des microphones adaptés aux fréquences et niveaux de pression visés, idéalement à proximité du centre des membranes à une distance axiale de l'ordre de d, telle que $d = \frac{\sqrt{\text{surface de la membrane}}}{\pi}$ et en tout cas une distance inférieure au dixième de la longueur d'onde associée à f2.

25 Pour déterminer les niveaux de pression n1 et n2 on peut par exemple utiliser tout dispositif capable de calculer la valeur efficace dans une plage de fréquences comprenant au moins la plage allant de f1 à f2. On peut par exemple utiliser un analyseur connecté aux microphones placés selon la description ci-dessus.

L'invention prévoit de former un couplage acoustique entre la face arrière de
30 l'absorbeur et la source afin d'exploiter la pression acoustique instantanée en face arrière de la membrane en plus d'exploiter la face avant de l'absorbeur. L'invention se détourne ainsi des solutions connues basées sur la formation d'une chambre de dissipation en face arrière de la membrane. En effet, dans le cadre du développement de la présente invention il a été constaté que dans une solution avec ou sans conduit à
35 grande inertie égalisateur de pression, le volume d'air emprisonné dans la chambre arrière s'oppose au mouvement de la membrane et nuit à l'atténuation du son.

De façon plus précise, le dispositif d'atténuation comprend au moins un absorbeur acoustique configuré pour présenter un comportement en déformation non-linéaire lorsqu'il reçoit des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises dans une large plage de fréquences et de pressions émises par la source. L'absorbeur acoustique permet une transmission de pression et de débit.

La première face de l'absorbeur est en communication acoustique, c'est-à-dire qu'il permet une transmission de pression avec la source. En outre le dispositif d'atténuation comprend au moins un élément de couplage de la deuxième face avec la source. L'élément de couplage est configuré pour transmettre à la deuxième face des ondes acoustiques dont la pression instantanée est fonction de la pression instantanée des ondes acoustiques émises par la source. Avantageusement, l'élément de couplage est configuré pour créer une différence de marche entre les ondes parvenant au même instant sur les première et deuxième faces de la membrane afin de générer et favoriser une différence de pression instantanée entre ces faces de l'absorbeur.

Le dispositif de l'invention prévoit ainsi de coupler acoustiquement les deux faces de l'absorbeur. Elle permet ainsi d'exploiter la deuxième face de l'absorbeur en le couplant acoustiquement ou électro-acoustiquement avec la source. L'invention permet ainsi d'atténuer efficacement des sons dans une large gamme de fréquences et tout en conservant un encombrement réduit.

Avant d'entamer une revue détaillée de modes de réalisation de l'invention, sont énoncées ci-après des caractéristiques optionnelles qui peuvent éventuellement être utilisées en association ou alternativement :

De préférence, l'élément de couplage est configuré pour transmettre à la deuxième face des ondes acoustiques dont la phase et/ou l'amplitude conduit à ce que $|P_1 - P_2| > k \cdot |P_1|$ pendant au moins une partie du cycle de fonctionnement de la source, P_1 et P_2 étant les pressions instantanées des ondes acoustiques parvenant respectivement sur les première et deuxième faces au même instant et avec $k > 0.5$ et de préférence $k > 1$. $|P_1 - P_2|$ est la valeur absolue de $P_1 - P_2$ et $|P_1|$ est la valeur absolue de P_1 .

– Avantageusement, $k > 1.5$, de préférence $k > 1.8$, de préférence $k > 2$.

– Avantageusement, l'élément de couplage est configuré pour transmettre à la deuxième face des ondes acoustiques dont la pression instantanée s'exerçant sur la deuxième face est fonction de la pression instantanée des ondes acoustiques émises par la source.

- Avantageusement, l'élément de couplage est configuré pour transmettre à la deuxième face un maximum de pression acoustique instantanée pour des ondes acoustiques dont les fréquences sont supérieures à f_1 .

- Avantageusement, au moins une membrane est configurée de manière à
5 présenter un comportement en déformation non-linéaire lorsqu'elle reçoit des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises entre f_{01} et f_{02} , la gamme f_{01} - f_{02} couvrant au moins 70% et de préférence 100% de la gamme f_1 - f_2 .

On peut par exemple utiliser la méthode suivante pour déterminer si une membrane est non-linéaire au sens de la description précédente : La membrane a une
10 déformation non-linéaire lorsque, soumise à une excitation harmonique à une fréquence choisie entre f_1 et f_2 et un niveau choisi entre n_1 et n_2 , il est possible de détecter à proximité une réponse contenant des termes à des fréquences différentes de celle de l'excitation.

- Avantageusement, ladite deuxième face est opposée à ladite première face.
- Avantageusement, l'au moins un élément de couplage de la deuxième face
15 avec la source est configuré pour transmettre à la deuxième face des ondes acoustiques dont la phase et/ou l'amplitude conduit à ce que $|P_1 - P_2| > k \cdot |P_1|$ pendant au moins X% du cycle de fonctionnement de la source, avec $X = 10$. Selon un mode de réalisation, $X = 30$.

- Selon un mode de réalisation, l'absorbeur acoustique présente une fréquence de résonance linéaire f_{rl} , avec $f_{rl} < f_1$. Ainsi l'absorbeur acoustique, typiquement une membrane, présente une fréquence de résonance linéaire strictement inférieure à la fréquence minimale à atténuer.

Si l'absorbeur acoustique comprend plusieurs membranes, alors chaque
25 membrane présente une fréquence de résonance linéaire strictement inférieure à la fréquence minimale à atténuer.

La (ou les) membrane de l'absorbeur acoustique, en présentant une fréquence de résonance linéaire f_{rl} , avec $f_{rl} < f_1$ et en présentant un comportement en déformation non-linéaire lorsqu'elle reçoit des ondes acoustiques dont les fréquences sont
30 comprises entre f_{01} et f_{02} , la gamme f_{01} - f_{02} couvrant au moins 50% de la gamme f_1 - f_2 , permet de générer le phénomène de pompage énergétique, ce qui conduit à une atténuation particulièrement efficace du bruit de la source.

- Selon un mode de réalisation, l'au moins un élément de couplage de la deuxième face avec la source est configuré de manière à ce que la membrane atteigne
35 l'état de pompage acoustique, de préférence au moins lorsque la plage de fréquences

transmises par l'élément de couplage est pour partie supérieure à la fréquence f_{01} et de préférence supérieure à f_{02} .

– Selon un mode de réalisation, l'au moins un élément de couplage de la deuxième face avec la source est configuré de manière à ce qu'à un instant donné le système acoustique comprenant la membrane atteigne un état susceptible de déclencher le pompage acoustique, qui s'atteint par exemple, de façon non limitative, en ajoutant un bruit à des fréquences différentes de la plage de fréquences d'intérêt pendant un temps limité (voir Côte et al. JSV 333 (2014) 5057-5076).

– Lorsque la plage de fréquences transmises par l'élément de couplage est pour partie supérieure à la fréquence f_{02} , le signal transmis par l'élément de couplage contribue au déclenchement du régime d'absorption recherché, et le bruit généré ou transmis aux fréquences élevées peut aisément être atténué par des systèmes classiques tels que les absorbants poreux. L'action du coupleur peut être vérifiée en mesurant une augmentation du niveau sonore lorsque couplage est rompu, par exemple par l'insertion d'une paroi rigide, ou en détectant un changement de mode non-linéaire (caractérisé par sa stationnarité, son spectre, et le cas échéant les amplitudes et phases de ses composantes). La conception du coupleur peut être vérifiée en mesurant sa fonction de transfert. Celle-ci doit montrer un maximum de transmission pour des fréquences supérieures à f_1 .

– Selon un mode de réalisation, l'élément de couplage acoustique, par exemple un conduit ou un tuyau acoustique, comprend au moins une paroi interne et au moins un élément acoustiquement absorbant disposé sur la paroi interne.

– Avantageusement, les éléments acoustiquement absorbants sont configurés pour absorber en partie au moins les fréquences hautes produites par la source et/ou par le dispositif d'atténuation, par exemple les 30% ou 10% des fréquences les plus hautes produites par la source et/ou par le dispositif d'atténuation.

– Selon un mode de réalisation, l'au moins un élément acoustiquement absorbant est de la laine verre.

– Avantageusement, l'élément de couplage de la deuxième face avec la source comprend au moins un conduit acoustique. Selon un mode de réalisation non limitatif, le dispositif comprend un capot formant avec ladite deuxième face un volume fermé à l'exception d'une ouverture formée par ledit au moins un conduit acoustique. Selon un autre mode de réalisation, ladite deuxième face est logée dans ledit au moins un conduit acoustique.

– Selon un mode de réalisation l'élément de couplage de la deuxième face avec la source est exempt de coupleur électro-acoustique. Ainsi l'élément de couplage de la deuxième face avec la source ne comprend pas de coupleur électro-acoustique.

5 – Avantageusement, l'élément de couplage de la deuxième face avec la source comprend au moins un coupleur électro-acoustique. Avantageusement, au moins une membrane est une membrane de haut-parleur, une face externe de la membrane étant ladite première face. Avantageusement, l'absorbeur est configuré de manière à ce que le haut-parleur reçoive un signal électrique fonction d'un signal acoustique de la source.

10 – Selon un mode de réalisation, l'absorbeur comprend un microphone agencé pour capter des ondes acoustiques provenant de la source et est configuré de manière à ce que ledit signal acoustique soit fourni par le microphone. De préférence, le dispositif comprend un capot définissant avec ladite deuxième face un volume fermé à l'exception d'un capillaire d'équilibrage de pressions instantanées régnant sur ladite
15 première face et ladite deuxième face.

– Alternativement, l'absorbeur est configuré de manière à ce que ledit signal acoustique soit pris sur la deuxième face de la membrane. De préférence, le dispositif comprend un capot définissant avec ladite deuxième face un volume fermé à l'exception d'un conduit formant couplage acoustique entre ladite deuxième face et la
20 source.

– Le capot forme une chambre, également désignée chambre de dissipation. De préférence il définit un volume fermé l'exception d'un ou plusieurs passages prévus pour les coupleurs.

– Le dispositif d'atténuation comprend une pluralité d'éléments de couplage de la
25 deuxième face avec la source.

– Avantageusement, le dispositif d'atténuation est configuré de manière à permettre une communication bi-directionnelle entre la source et ladite première face de l'absorbeur.

– Selon un mode de réalisation, le dispositif d'atténuation est configuré de
30 manière à ce que la communication acoustique entre la source et ladite première face de l'absorbeur soit un couplage acoustique direct, de préférence sans élément intermédiaire de transmission du son. C'est-à-dire uniquement par le volume de l'enceinte dans lequel est disposée la source. Selon un autre mode de réalisation, le dispositif d'atténuation est configuré de manière à ce que la communication acoustique
35 entre la source et ladite première face de l'absorbeur soit un couplage acoustique réalisé en partie au moins par un ou plusieurs conduits acoustiques. De préférence, le

dispositif d'atténuation est configuré de manière à ce que la communication acoustique entre la source et ladite première face de l'absorbeur soit un couplage acoustique réalisé uniquement par un ou plusieurs conduits acoustiques.

– Avantageusement, le dispositif d'atténuation comprend une enceinte
5 configurée pour loger la source et l'absorbeur acoustique, le dispositif d'atténuation étant configuré de manière à ce que la première face de l'absorbeur soit en communication acoustique avec la source par le volume interne de l'enceinte.

– si n_1 et n_2 ne sont arbitraires alors $n_{01} < n_2 < n_{02}$, n_{02} peut être possiblement infini (pas de limite supérieure à la non-linéarité).

10 – Avantageusement, l'élément de couplage de la deuxième face avec la source présente une bouche d'entrée pour les ondes acoustiques parvenant de la source, la bouche d'entrée présentant une différence de marche avec la première face d'une valeur égale à $\frac{1}{2} \lambda_c$ modulo λ_c , avec $\lambda_c = (\lambda_2^{0.5} \cdot \lambda_1^{0.5})$ et plus généralement une valeur comprise entre $\frac{1}{2} \lambda_c - \frac{1}{4} \lambda_c$ et $\frac{1}{2} \lambda_c + \frac{1}{4} \lambda_c$, modulo λ_c ; λ_1 étant la longueur d'onde de
15 la fréquence minimale f_1 à atténuer et λ_2 étant la longueur d'onde de la fréquence maximale f_2 à atténuer.

– Avantageusement, l'élément de couplage de la deuxième face avec la source présente plusieurs fréquences de résonance.

– Selon un mode de réalisation, les première et deuxième faces de l'absorbeur
20 s'étendent dans des plans parallèles.

– Selon un mode de réalisation, les première et deuxième faces de l'absorbeur sont liées mécaniquement.

– Selon un mode de réalisation, l'élément de couplage de la deuxième face avec la source ne comprend pas de membrane.

25

L'invention va maintenant être décrite en référence aux figures 1 à 6.

Le schéma 100 illustré sur les figures comprend une source 1 et un dispositif d'atténuation 10 du son émis par la source 1.

La source 1 émet des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises
30 entre les fréquences f_1 et f_2 , dont les pressions acoustiques instantanées sont comprises entre p_1 et p_2 dont les niveaux de pression sont compris entre n_1 et n_2 . On appelle niveau de pression la moyenne des pressions acoustiques instantanées au sens des moindres carrés (valeur efficace). .

Typiquement, dans le cadre de l'invention, f_1 est supérieur à 20 Hz et est de
35 préférence compris entre 20 et 1000 Hz et f_2 est inférieur à 20000 Hz et est de préférence compris entre 40 et 1000 Hz.

Avantageusement, dans le cadre de l'invention n1 est supérieur à 100 Pa.

Sans que cela soit limitatif de l'invention, la source 1 peut par exemple être la bouche d'aspiration de l'air du circuit d'alimentation d'un moteur à combustion interne. Dans ces moteurs, la bouche laisse échapper un bruit habituellement qualifié de bruit
5 de bouche. L'invention n'est pas limitée à l'atténuation des bruits de bouche.

Le dispositif d'atténuation 10 comprend notamment un absorbeur acoustique 11. Cet absorbeur 11 comporte au moins une membrane 12.

Dans les modes de réalisation qui seront décrits par la suite en référence aux figures 6 et 7 par exemple, l'absorbeur 11 comprend plusieurs membranes 12.

10 Quel que soit le nombre de membranes 12 que compte l'absorbeur 11, ce dernier présente une première face 13 et une deuxième face 14. Ces deux faces 13, 14 sont distinctes et sont le plus souvent opposées.

La membrane est une membrane souple. Elle provoque l'absorption desdits bruits de la source en se déformant.

15 Selon l'invention, la membrane souple 12 doit pouvoir se déformer de façon non linéaire afin d'absorber l'énergie acoustique. Il a en effet été montré dans la littérature (voir l'article de B. Cochelin, P. Herzog, P.O. Mattei, «Experimental evidence of energy pumping in acoustics » in Comptes Rendus de l'Académie des sciences, Comptes Rendus Mécanique (C. R. Mécanique) volume 334, pages 639 à 644, 2006) qu'une
20 membrane souple peut se déformer en grande amplitude afin de pomper l'énergie acoustique d'un mode acoustique de manière irréversible sur une large bande de fréquences. Ce phénomène de pompage d'énergie acoustique est dû au comportement non linéaire de la membrane (pouvant subir de grandes déformations) qui peut s'accorder à la fréquence du mode acoustique à absorber, dès lors qu'il est
25 suffisamment énergétique.

Ainsi, la fonction de transfert acoustique du dispositif est non-linéaire entre p_1 et p_2 , en ce qu'elle n'est pas proportionnelle à la pression acoustique, entre f_1 et f_2 , pendant une partie au moins du cycle de fonctionnement du dispositif, soit pendant une partie au moins du cycle de fonctionnement de la source.

30 Le fonctionnement de la source et du dispositif ne sont pas forcément périodiques. S'ils sont périodiques, le cycle de fonctionnement correspond alors à leur période.

Ce type de membrane est souvent qualifié de NES ,acronyme de Non-linear Energy Sink signifiant en français puis d'énergie non linéaire. Pour ce type de
35 membrane, on pourra se référer à la publication suivante: A.F.Vakakis, O.V.Gendelman, G.Kerschen, L.A.Bergman, M.D.McFarland and Y.S.Lee, Nonlinear

Targeted Energy Transfer in Mechanical and Structural Systems, v.I and v.II, Springer, 2009.) ch.3 p93.

La membrane 12 présente des propriétés qui lui permettent de déformer de manière non linéaire dans une gamme de fréquences couvrant au moins 70% celle des ondes émises par la source 1 et dans une gamme de niveaux de pression couvrant au moins 70% et de préférence 100% celle des ondes émises par la source 1.

Les propriétés suivantes notamment de la membrane 12 sont choisies de manière à lui permettre de se déformer de manière non linéaire : sa masse, son module élastique, ses propriétés de dissipation et de tension, sa densité et ses dimensions, en particulier son diamètre et son épaisseur.

Pour choisir et disposer la membrane, on pourra par exemple se référer à l'article de B. Cochelin, P. Herzog, P.O. Mattei, «Experimental evidence of energy pumping in acoustics » in Comptes Rendus de l'Académie des sciences, Comptes Rendus Mécanique (C. R. Mécanique) volume 334, pages 639 à 644, 2006)

Par exemple, la membrane 12 souple non précontrainte est placée dans le dispositif à un endroit lui permettant de pomper le maximum d'énergie à l'onde acoustique, ou en d'autres termes où elle sera le plus excitée par l'onde acoustique. La membrane 12 sera donc avantageusement placée à un ventre de pression pour qu'elle puisse vibrer en grandes amplitudes. Cependant si l'on considère que la vitesse acoustique est négligeable, la pression acoustique peut alors être considérée comme spatialement uniforme et dans ce cas l'emplacement de la membrane 12 est peu important. Le couplage de la face arrière 14 de la membrane 12 avec la source 1, tel que prévu par la présente invention permet une grande déformation de la membrane 12 et une bonne dissipation de l'énergie pompée par la membrane 12. Cette dissipation est bien plus efficace que celle obtenue avec les solutions reposant sur un capotage de la face arrière 14 avec équilibrage des pressions entre les faces avant 13 et arrière 14 mais sans couplage acoustique de la face arrière 14.

De façon à bien choisir les caractéristiques de la ou les membranes 12, il est nécessaire de connaître le ou les mode(s) acoustique(s) à absorber. Lorsque ces modes sont identifiés, les caractéristiques de la ou les membranes 12 peuvent alors être déterminées de façon à obtenir un comportement en déformation non linéaire et un bon couplage énergétique entre la ou les membranes 12 et le ou les mode(s) acoustique(s) à absorber. On détermine principalement la raideur souhaitée pour la membrane 12, laquelle est fonction de l'épaisseur, de la surface et du module d'Young de la membrane 12. La raideur non linéaire est dimensionnée en fonction de l'intensité

de la composante de la source à la fréquence la plus élevée que l'on veut atténuer, ce qui permet une atténuation sur une large bande de fréquences.

Pour choisir la raideur α_3 de la membrane 12, on suppose que le déplacement transversal $w(r,t)$ de la membrane 12 est approchée par la fonction de forme parabolique $w(r,t) = q(t) (1 - r/R)^2$ où R est le rayon de la membrane 12 (supposée de forme circulaire) et r la coordonnée radiale. On suppose également que la membrane 12 se déforme en grandes amplitudes (ce qui est le but recherché). Cela conduit à pouvoir exprimer de manière analytique la raideur α_3 de la membrane 12 en fonction de son module d'Young E , de son épaisseur et de son rayon R .

La raideur α_3 peut alors s'exprimer à l'aide de l'équation suivante :

$$\alpha_3 = (32/3(1 - \nu^2)\pi) \cdot (E/\rho_{\text{air}} C) \cdot (h^3 / R^4) \cdot (1/\omega) \cdot (S_t / S_m)$$

dans laquelle ν désigne le coefficient de Poisson, E le module d'Young de la membrane 12, ρ_{air} la densité de l'air, C la vitesse du son, h l'épaisseur de la membrane 12, R le rayon de la membrane 12 (laquelle est supposée circulaire), Ω la fréquence du système d'ondes stationnaires acoustiques à absorber, S_t la section de la sortie de l'air propre dans le filtre à air et S_m la section de la membrane 12.

L'effet de pompage énergétique non linéaire n'est pas obtenu par une précontrainte de la membrane 12 qui peut, selon l'invention, se déformer en grandes amplitudes. Cet effet de pompage énergétique non linéaire est obtenu en particulier par la configuration du couplage des deux faces de la membrane 12 et par la capacité de la membrane à se déformer de manière non linéaire.

La membrane 12 de l'absorbeur peut être passive. Elle peut également être motorisée ou active. C'est typiquement le cas lorsqu'elle équipe un haut-parleur.

La première face 13 de l'absorbeur est couplée acoustiquement à la source 1, de préférence de manière purement acoustique. Ce couplage acoustique permet de transmettre le son à atténuer entre la source 1 et la première face 13.

Le couplage acoustique entre la source 1 et la première face 13 de l'absorbeur 11 peut être réalisée par au moins une connexion acoustique 15'.

On désigne connexion acoustique une connexion qui permet une corrélation dans les deux sens opposés de propagation de l'onde acoustique.

On désigne par coupleur un moyen de transmission de puissance acoustique entre plusieurs endroits, soit par une connexion acoustique, soit via toute éventuelle conversion, par exemple via une conversion électro-acoustique. Un coupleur se caractérise par l'existence d'une corrélation, linéaire ou non, de la pression au point identifié comme étant la sortie du coupleur par rapport à la pression du point identifié

comme étant l'entrée du coupleur. Dans le cas d'une connexion de type acoustique, une corrélation existe aussi dans l'autre sens.

Ainsi, en plaçant un micro à l'entrée et à la sortie d'un élément, on peut vérifier s'il s'agit ou non d'un coupleur.

- 5 De préférence, un coupleur acoustique qu'il soit purement acoustique ou électroacoustique entre une source émettant des ondes de niveau de pression compris entre n_1 et n_2 dans une gamme de fréquence f_1 - f_2 et une face d'une membrane permet de transmettre au moins 20% et de préférence au moins 70 % et de préférence aussi près que possible de 100 % du niveau de pression ou de l'amplitude de la source
- 10 jusqu'à la membrane pour une gamme de fréquences couvrant au moins 70 % de la gamme f_1 - f_2 .

De préférence, le coupleur acoustique ou électroacoustique permet de transmettre à la membrane 100% du niveau sonore de la source pour une gamme de fréquences couvrant 100% de la gamme f_1 - f_2 .

- 15 Un coupleur acoustique permet ainsi d'établir un chemin acoustique entre deux lieux distincts, permettant ainsi la transmission du son, avec une éventuelle transformation.

- De préférence, les coupleurs acoustiques ou électro-acoustiques utilisés dans le cadre de la présente invention présentent un maximum de transmission pour une
- 20 fréquence supérieure à la plus basse des fréquences à atténuer dans le système primaire. De préférence, chaque coupleur présente un maximum de transmission pour une fréquence comprise entre les fréquences f_1 et f_2 d'émission de la source.

De préférence, les coupleurs acoustiques de la présente invention peuvent être qualifiés de large bande.

- 25 Un couplage large bande permet la transmission acoustique dans une large plage de fréquences, par contraste avec un résonateur de Helmholtz qui transmet des ondes acoustiques dans une plage étroite autour d'une fréquence de résonance unique. Par exemple, les tubes à perce conique (cornets) sont connus pour être des transmetteurs acoustiques large bande.

- 30 Les coupleurs de la présente invention peuvent également présenter plusieurs fréquences de résonance comprises dans la gamme de fréquences f_1 , f_2 de la source 1.

- Le couplage acoustique entre la source 1 et la première face 13 de l'absorbeur 11 peut être réalisée par au moins un coupleur acoustique 15 fait d'un conduit
- 35 acoustique 15.

Dans certains modes de réalisation, tel que celui illustré en figure 4b, ce couplage acoustique est réalisé par deux coupleurs 15, 15 chacun formé d'un conduit acoustique.

5 Selon un autre mode de réalisation, le couplage acoustique est réalisé en mettant la première face 13 au regard de la source 1, comme cela est illustré en figure 5a, 5b. On parle alors de communication acoustique directe.

De manière particulièrement avantageuse, le dispositif 10 est configuré de manière à ce que la deuxième face 14 de l'absorbeur 11 soit également couplée à la source 1. Ce couplage peut être un couplage uniquement acoustique, comme illustré 10 sur les exemples non limitatifs des figures 1 à 4. Il peut également être un couplage électro-acoustique comme illustré sur les exemples non limitatifs des figures 5a à 5c.

Typiquement, le couplage entre la source 1 et la deuxième face 14 permet de transmettre au moins 20% de la pression acoustique instantanée pendant une partie du cycle dans une gamme de fréquences au moins égale à 70% et de préférence 15 égale à 100% de la gamme f_1, f_2 de la source 1. La définition du couplage acoustique et des coupleurs donnée ci-dessus pour la première face 13 s'applique également à la deuxième face 14.

Plus précisément, l'élément de couplage 16 de deuxième face 14 à la source 1 est configuré pour transmettre un maximum de niveau sonore pour des ondes 20 acoustiques dont les fréquences sont supérieures à f_1 .

Ainsi, les deux faces 13, 14 de l'absorbeur 11 sont couplées acoustiquement à la source 1. De préférence, cette différence de pression est telle que les pressions acoustiques instantanées P_1 et P_2 s'exerçant à un instant donné sur les première et deuxième faces 13, 14 respectivement et pendant au moins une partie du cycle de 25 fonctionnement de la source 1 satisfont la condition suivante : $|P_1 - P_2| > k \cdot |P_1|$, avec $k > 0.2$ et de préférence $k > 0.5$ et de préférence $k > 1$, et de préférence $k > 1.5$, et de préférence $k > 1.8$.

Ainsi, les première et deuxième faces 13, 14 sont exploitées de façon non-linéaire, et participent à l'amortissement acoustique.

30 Le dispositif est configuré de manière à imposer aux ondes provenant de la source 1 une différence de marche entre celles qui parviennent sur la première face 13 et celles qui parviennent sur la deuxième face 14 en un même instant.

Cette différence de marche se traduit par une différence de phase et/ou d'amplitude entre les ondes acoustiques parvenant sur les deux faces 13, 14 en même 35 temps.

Par exemple, les couplages acoustiques des deux faces 13, 14 avec la source 1 peuvent être choisis de manière à ce que les ondes acoustiques de la source 1 parviennent sur la deuxième face 14 avec une amplitude identique à celles parvenant au même instant sur la première face 13 mais avec une phase opposée.

- 5 De manière plus générale, l'élément de couplage de la deuxième face avec la source est configuré de manière à ce que les ondes acoustiques parvenant de la source et atteignant la deuxième face 14 présente une différence de marche par rapport à celles atteignant la première face 13. Cette différence de marche peut être caractérisée de la manière suivante : l'élément de couplage de la deuxième face avec
- 10 la source présente une bouche d'entrée pour les ondes acoustiques parvenant de la source, la bouche d'entrée présentant une différence de marche avec la première face d'une valeur égale à $\frac{1}{2} \lambda_c$ modulo λ_c , avec $\lambda_c = (\lambda_2^{0.5} \cdot \lambda_1^{0.5})$ et plus généralement une valeur comprise entre $\frac{1}{2} \lambda_c - \frac{1}{4} \lambda_c$ et $\frac{1}{2} \lambda_c + \frac{1}{4} \lambda_c$, modulo λ_c ; λ_1 étant la longueur d'onde de la fréquence f_1 à atténuer et λ_2 étant la longueur d'onde de la fréquence
- 15 maximale f_2 à atténuer. Les deux faces 13, 14 sont alors utilisées et participent à l'atténuation des sons.

Le dispositif est alors configuré de manière à ce que ce couplage acoustique sur les deux faces 13, 14 crée une différence de pression pendant au moins une partie du cycle de fonctionnement de la source 1.

- 20 Le dispositif peut comporter un capot 21, au regard de la deuxième face 14 afin d'éviter l'émission d'un rayonnement secondaire. Le capot 21 ne va pas perturber la déformation de la deuxième face 14, cette dernière étant mise en mouvement par les ondes acoustiques reçues de la source 1 à laquelle elle est couplée.

- Afin de créer une différence de marche entre les ondes parvenant au même instant sur les première et deuxième faces 13, 14 de l'absorbeur 11, le dispositif, selon certains modes de réalisation, prévoit de préférence en combinaison avec les éléments de couplage, une distance « d » entre la deuxième face 14 et l'entrée de l'élément de couplage 16 couplant cette face 14 à la source 1. « d » est choisie de manière à assurer ou tout au moins à participer à la création de la différence de marche.

- 30 De préférence, $d \leq \frac{1}{2} \lambda_2$ modulo λ_2 , (soit $d \leq n \cdot \frac{1}{2} \lambda_2$, avec n entier relatif quelconque), λ_2 étant la longueur d'onde de la fréquence maximale à atténuer et de préférence $d \leq \frac{1}{4} \lambda_2$.

- Avantageusement, l'au moins un élément de couplage 16 de la deuxième face 14 avec la source 1 est configuré pour transmettre à la deuxième face 14 des ondes
- 35 acoustiques dont la phase et/ou l'amplitude conduit à ce que $|P_1 - P_2| > k \cdot |P_1|$ pendant

au moins X% du cycle de fonctionnement de la source 1, avec $X = 10$. Selon un mode de réalisation, $X = 30$.

Selon un mode de réalisation, l'absorbeur acoustique 11 présente une fréquence de résonance linéaire f_{r1} , avec $f_{r1} < f_1$. Ainsi l'absorbeur acoustique, typiquement une
5 membrane, présente une fréquence de résonance linéaire strictement inférieure à la fréquence minimale à atténuer. Si l'absorbeur acoustique comprend plusieurs membranes, alors chaque membrane présente une fréquence de résonance linéaire strictement inférieure à la fréquence minimale à atténuer.

La ou les membrane de l'absorbeur acoustique, en présentant une fréquence
10 de résonance linéaire f_{r1} , avec $f_{r1} < f_1$ et en présentant un comportement en déformation non-linéaire lorsqu'elle reçoit des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises entre f_{01} et f_{02} , la gamme f_{01} - f_{02} couvrant au moins 50% de la gamme f_1 - f_2 , permet de générer le phénomène de pompage énergétique, ce qui conduit à une atténuation particulièrement efficace du bruit de la source.

Avantageusement l'au moins un élément de couplage 16 de la deuxième face
15 14 avec la source 1 est configuré de manière à ce qu'à un instant donné le système acoustique comprenant la membrane atteigne un état susceptible de déclencher le pompage acoustique, qui s'atteint par exemple, de façon non limitative, en ajoutant un bruit à des fréquences différentes de la plage de fréquences d'intérêt pendant un
20 temps limité voir Côte et al. JSV 333 2014 5057-5076.

Lorsque la plage de fréquences transmises par l'élément de couplage est pour
partie supérieure à la fréquence f_2 , le signal transmis par l'élément de couplage contribue au déclenchement du régime d'absorption recherché, et le bruit généré ou transmis aux fréquences élevées peut aisément être atténué par des systèmes
25 classiques tels que les absorbants poreux. L'action du coupleur peut être vérifiée en mesurant une augmentation du niveau sonore lorsque couplage est rompu, par exemple par l'insertion d'une paroi rigide, ou en détectant un changement de mode non-linéaire caractérisé par sa stationnarité, son spectre, et le cas échéant les amplitudes et phases de ses composantes. La conception du coupleur peut être
30 vérifiée en mesurant sa fonction de transfert. Celle-ci doit montrer un maximum de transmission pour des fréquences supérieures à f_1 .

Il ressort ainsi de ce qui précède que l'invention améliore le confort acoustique et réduit les dégâts dus aux vibrations, grâce à la transformation du son au moyen d'au
moins une membrane souple 12 et exploitée sur ses deux faces 13, 14. La membrane
35 12 subit de grandes déformations sous l'action du son. La non-linéarité du système

permet éventuellement l'apparition de modes non-linéaires de faible amplitude pour le système primaire et de l'effet de pompe énergétique.

L'invention est en partie basée sur une membrane 12 qui possède des propriétés de masse, de module élastique, de dissipation, et de tension, choisies pour le régime
5 de fonctionnement souhaité (gamme de fréquences et intensité du son). Selon un mode de réalisation, la membrane 12 est recouverte sur chacune de ses deux faces 13, 14 par un capot 21 étanche formant des chambres, l'une au moins des chambres étant reliée au système primaire soit directement, soit par une canalisation acoustique. Le choix des dimensions des capots 21 (forme, volume d'air contenu dans la
10 chambre), des paramètres des canalisations (forme, longueur, diamètre, positions du raccordement au système primaire), permettent d'adapter le système à l'application visée. L'invention peut aussi exploiter les volumes existants dans le système de la source primaire pour la réalisation des chambres et canalisations.

Par rapport au brevet EP 2172640 A1 mentionné dans la section sur l'état de la
15 technique, la chambre de dissipation est remplacée par une chambre de couplage 16 arrière reliée soit au système primaire, soit à une charge acoustique. Le couplage peut être acoustique, électro-acoustique ou par tout autre moyen. La chambre principale peut faire partie du système primaire ou bien y être reliée acoustiquement.

Les spécificités des modes de réalisation illustrés sur les figures 1 à 7 vont
20 maintenant être détaillées.

La **figure 1** illustre un mode de réalisation dans lequel la source 1 est couplée à l'absorbeur 11 par un coupleur unidirectionnel 15 ou bidirectionnel 15'. Ce coupleur permet un couplage acoustique entre la source 1 et la première face 13 de l'absorbeur 11.

25 Un coupleur unidirectionnel se caractérise par le fait qu'il transmet de l'information dans une seule direction.

Un coupleur bidirectionnel se caractérise par le fait qu'il transmet de l'information dans deux sens opposés d'un même chemin (rectiligne ou non), par exemple dans les deux sens opposés d'une même direction rectiligne.

30 L'élément de couplage 16 permet un couplage acoustique entre la source 1 et la deuxième face 14 de l'absorbeur 11.

Comme illustré, permet un couplage acoustique entre la source 1 et la première face 13 de l'absorbeur 11 peut être un absorbeur uniquement acoustique, présentant comme sur cet exemple deux membranes 12, 12'.

35 La face de la membrane 12 qui est raccordée à la source 1 par le coupleur 15 fait office de première membrane 14 pour l'absorbeur 11. La face de la membrane 12' qui

est raccordée à la source 1 par le coupleur 16 fait office de deuxième membrane 13 pour l'absorbeur 11.

Comme également illustré sur cette figure pour représenter un mode de réalisation alternatif, l'absorbeur acoustique peut être ou comprendre un haut-parleur 19.

La **figure 2** illustre un mode de réalisation dans lequel la source 1 est logée dans une enceinte 30 à l'intérieur de laquelle est disposé l'absorbeur 11 du dispositif 10. L'absorbeur 11, sous forme d'une membrane 12 ou d'un empilement de membranes est disposé dans un tube. Le tube est de préférence évasé à chacune de ses extrémités pour former un cornet.

Une première section du tube disposée entre une première extrémité du tube et une première face 13 de l'absorbeur 11 forme un couplage acoustique entre cette face 13 et la source 1. Une deuxième section du tube disposée entre une deuxième extrémité du tube et une deuxième face 14 de l'absorbeur 11 forme un couplage acoustique entre cette face 14 et la source 1.

Dans ce mode de réalisation comme dans celui des figures 3 et suivantes, les première 13 et deuxième 14 faces de la membrane 12 s'étendent dans des plans parallèles. Dans ce mode de réalisation comme dans celui des figures 3 à 6 et 7b et suivantes, les première 13 et deuxième 14 faces de la membrane 12 sont liées mécaniquement.

La forme et les dimensions du tube, par exemple son diamètre, son évasement et sa disposition par rapport à la source 1 sont choisis de manière à créer le différentiel de pression sur chaque face de l'absorbeur 11, permettant ainsi à la membrane 12 de se déformer librement et d'exploiter ses deux faces.

L'enceinte 30 permet de confiner le dispositif 10 et la source 1 pour une meilleure atténuation des sons.

La **figure 3a** illustre un mode de réalisation qui diffère de celui de la figure 2 en ce que l'absorbeur 11, par exemple sous forme d'une membrane 12 ou d'un empilement de membranes montées en série ou en parallèle, est disposé à une extrémité d'un tube. La face tournée vers l'extérieur du tube fait office de première face 13 pour l'absorbeur 11. Le couplage entre cette face et la source 1 est donc direct et se fait par l'intermédiaire du volume interne de l'enceinte 30. Celle tournée au regard de l'intérieur du tube fait office de deuxième face 14 pour l'absorbeur 11. Le couplage entre cette face 14 et la source 1 se fait donc par le tube 17 formant l'élément de couplage 16.

Selon un mode de réalisation, l'élément de couplage 16, ici le tube 17 comprend au moins un élément acoustiquement absorbant de préférence disposé sur une paroi interne de l'élément de couplage 16. Avantageusement, les éléments acoustiquement absorbants sont configurés pour absorber en partie au moins les fréquences hautes produites par la source 1 et/ou par le dispositif d'atténuation, par exemple les 30% ou 10% des fréquences les plus hautes produites par la source et/ou par le dispositif d'atténuation.

Selon un mode de réalisation, l'au moins un élément acoustiquement absorbant est de la laine verre.

Ce mode de réalisation optionnel et facultatif avec élément absorbant positionné dans l'élément de couplage acoustique est applicable à tous les autres modes de réalisation décrits dans la présente invention.

La **figure 3b** illustre un mode de réalisation dans lequel la source 1 est située ou débouche dans l'enceinte 30. Cette enceinte 30 comporte, à l'extérieur de son volume, une conduite à l'intérieur de laquelle est disposée l'absorbeur 11 typiquement une membrane 12 ou une pluralité de membrane montées en série ou en parallèle. Une première section de la conduite 15 forme le couplage une première face 13 de la membrane 12 et la source 1 et une deuxième section de la conduite 17 forme le couplage entre une deuxième face 14 de la membrane 12 et la source 1.

Ce mode de réalisation diffère donc de celui de la figure 2 notamment en ce que les éléments de couplage 15, 17 de la source 1 aux faces 13 et 14 de l'absorbeur 11 sont disposés à l'extérieur de l'enceinte 30.

Les **figures 4a, 4b et 4c** illustrent des modes de réalisation dans lesquels l'absorbeur 11 comporte un capot 21 disposé au regard de la première face 13 de la membrane 12.

Ce capot 21 forme une chambre de couplage avant 24. Elle est en effet couplée à la source 1. Ce couplage est de préférence un couplage purement acoustique. Il peut par exemple être composé d'une pluralité de conduites ou tuyaux, par exemple deux comme illustré en figure 4b.

La deuxième face 14 de la membrane 12 est également couplée à la source 1 par l'élément de couplage 16. Le couplage peut être uniquement acoustique (un conduit par exemple) ou être électro-acoustique. Les pointillés utilisés en figure 4a illustrent le fait que différents type d'éléments de couplage 16 peuvent être utilisés.

De préférence, le dispositif 1 comprend un capot 21 au regard de la deuxième face 14, définissant avec cette dernière une chambre de couplage arrière 25. La

chambre 25 arrière n'est pas fermée mais permet un raccordement acoustique entre l'élément de couplage 16 et la source 1.

Ainsi, la deuxième face 14 est placée dans une chambre de couplage 25 et non pas dans une chambre de dissipation comme le prévoient les solutions de l'état de la technique mentionnées dans la section concernant l'art antérieur.

Dans le mode de réalisation illustré en figure 4c, la chambre de couplage 25 arrière est couplée à la source 1 via la chambre avant 24. Un conduit 17 couple acoustiquement les chambres avant 24 et arrière 25, la chambre avant 24 étant couplée à la source 1 par le coupleur 15. Ce mode de réalisation montre clairement que l'élément de couplage 16 de la deuxième face 14 à la source peut comprendre plusieurs éléments, ici : un conduit 17, la chambre avant 24 et le conduit 15.

Dans ces modes de réalisation, les propriétés de la ou des membranes 12, des capots 21 et des coupleurs 15 et 17, sont choisies par rapport à la source 1 de manière à créer le différentiel de pression de part et d'autres des faces 13, 14, permettant ainsi à au moins une membrane 12 de se déformer de manière non linéaire et de créer pour chacune de ses faces un pompage énergétique.

Les figures 5a, 5b, 5c illustrent des modes de réalisation dans lesquels l'absorbeur 11 et un absorbeur électro-acoustique. Il comprend un haut-parleur 19. La ou les membranes 12 sont alors des membranes motorisées.

Dans les modes de réalisation des figures 5a et 5b, la source primaire est placée dans une enceinte 30 et une face avant du haut-parleur 19 est également disposée dans ou au regard de cette enceinte 30. Elle peut, comme illustré, former une portion de la paroi de l'enceinte 30. Ainsi, le couplage acoustique entre la première face 13 de l'absorbeur 11 et la source 1 est un couplage direct.

La deuxième face 14 de l'absorbeur 11 ou face arrière est placée dans un capot 21.

Le dispositif 10 est équipé d'un module de commande 23 du haut-parleur 19. Ce module de commande pilote la membrane 12. Ce pilotage est effectué de manière à réaliser sur la membrane, pendant une partie du cycle de fonctionnement, une fonction linéaire ou non de la pression relative à la source 1 y compris par mesure de grandeurs liées au mouvement de la membrane. Ainsi, ce pilotage prend notamment en compte une information relative à la source 1.

Dans le mode de réalisation de la figure 5a, cette information relative à la source 1 est captée par un microphone 20. Il est de préférence placé à l'intérieur de l'enceinte 30 et est donc en couplage acoustique direct avec la source 1. De préférence, le capot 21 est alors fermé à l'exception d'un capillaire d'équilibrage de pression statique 22. Ce

capillaire 22 présente une forte inertie, par exemple un rapport longueur sur diamètre élevé, de manière à équilibrer la pression moyenne entre l'enceinte 30 et la chambre 25.

5 Ce capillaire 22 ne permet néanmoins pas, de par son inertie, de transmettre les vibrations rapides et donc les ondes acoustiques de la source 1.

Dans le mode de réalisation de la figure 5b, cette information relative à la source 1 est captée sur la surface de la deuxième face 14 de la membrane du haut-parleur 19.

10 Le dispositif 10 en prenant l'information sur la surface de la membrane 12 mesure ainsi la grandeur duale du haut-parleur 19. Par exemple si le haut-parleur 19 est commandé en tension, on mesure le courant, et vice-versa. Cela permet de mesurer la réponse du haut-parleur 19 à l'ensemble des sollicitations auxquelles il est soumis.

15 Dans ce modes de réalisation également, le couplage entre la deuxième face 14 ou l'arrière du haut-parleur 19 et la source 1 est donc bien un couplage électro-acoustique.

20 Par ailleurs, dans ce mode de réalisation, le dispositif 10 présente un élément de couplage 16 purement acoustique entre la face arrière du haut-parleur 19 et la source 1. Ce couplage acoustique comprend par exemple un canal entre l'enceinte 30 et un capot 21 dans lequel est placée la deuxième face 14 de l'absorbeur 11. Les propriétés de ce canal, notamment son volume, son diamètre, sa longueur et sa position et sa forme lui permettent de transmettre à l'intérieur de la chambre 25 les ondes acoustiques de la source 1. Cet élément de couplage ne permet donc pas uniquement un équilibrage de pression contrairement au capillaire 22 du mode de réalisation précédent.

25 Ainsi, dans ce mode de réalisation, la chambre 25 est une chambre de couplage acoustique.

30 La figure 5c illustre un mode de réalisation proche de celui de la figure 5a et qui en diffère par la façon dont la première face 13 du haut-parleur 19 est couplée à la source 1. Cette figure illustre en pointillés un couplage qui peut ne pas être un couplage acoustique direct comme le prévoit le mode de réalisation la figure 6, mais peut possiblement être un couplage acoustique réalisé par un conduit 15 ou par un coupleur électro-acoustique.

35 La **figure 6** illustre un mode de réalisation dans lequel l'absorbeur 11 comprend une pluralité de membranes 12. Dans cet exemple non limitatif, il comprend quatre membranes 12 et une membrane motorisée équipant un haut-parleur 19.

Les deux membranes 12' et 12'' forment ensemble un absorbeur comprenant deux faces au regard l'une de l'autre et deux faces 13, 14 tournées vers l'extérieur et faisant office de première et deuxième faces couplées à la source 1.

5 Les deux membranes 12''' et 12'''' présentent chacune une face qui définissent ensemble une première face 13 et présentent chacune une face qui définissent ensemble une deuxième face 14.

Le dispositif comporte autant de coupleurs que nécessaire afin de coupler chacun des faces avant et arrière à la source 1.

10 Les **figures 7a et 7b** illustrent deux modes de réalisation d'absorbeur 11 que l'on peut utiliser pour tous les modes de réalisation de l'invention. Dans chacun de ces deux modes de réalisation, l'absorbeur 11 comprend une pluralité de membranes 12. De préférence, chacune de ces membranes présente des propriétés lui permettant de se déformer de manière non linéaire pour une partie au moins de la gamme de fréquence f_1 – f_2 et de niveaux de pression n_1 – n_2 de la source 1.

15 Dans le mode de réalisation illustré en figure 7a, l'absorbeur 11 comprend une pluralité de membranes 12 disposées en série. La face tournée vers l'extérieur d'une membrane externe forme la première face 13 couplée à la source 1 et la face tournée vers l'extérieur d'une autre membrane externe forme la deuxième face 14 couplée à la source 1.

20 Dans le mode de réalisation de la figure 7b, les membranes sont associées les unes aux autres de manière à ce que l'une de leur face forment ensemble la première face 13 de l'absorbeur 11 couplé à la source 1 et de manière à ce que l'autre de leur faces forment ensemble la deuxième face 14 de l'absorbeur 11 couplé à la source 1.

25 Exemple détaillé de réalisation :

Un exemple non limitatif va maintenant être détaillé en référence aux figures 8a, 8b, 9a et 9b.

30 Cet exemple décrit un dispositif 10 d'atténuation du son, également désigné étouffeur, destiné à être disposé dans l'espace intermédiaire formé entre un faux plafond 60 et la paroi supérieure 51 d'une pièce 50. Cet agencement est illustré en figure 8a. Dans cet agencement, la source 1 émettant des ondes acoustiques est une personne ou tout équipement de la pièce 50. L'ensemble de la pièce forme ainsi une enceinte 30 au sens de la présente invention.

35 Le faux plafond 60 est configuré de manière à laisser passer les ondes acoustiques depuis la source 1 vers le dispositif 10 d'atténuation.

Le dispositif 10 d'atténuation comprend un caisson 40 ou coffre enfermant une membrane 12. Le caisson est fermé à l'exception de deux ouvertures depuis lesquelles s'étendent respectivement un coupleur acoustique 15, 17. Chacun des coupleurs acoustiques 15, 17 forme un pavillon. Dans ce mode de réalisation, les coupleurs acoustiques 15, 17 sont identiques.

Chaque coupleur acoustique 15, 17 forme un tronc de cône. Dans cet exemple, l'extrémité 152, 172 de plus petit diamètre présente un diamètre 4 fois inférieur à celui de l'extrémité 151, 171 de plus grand diamètre. Chaque extrémité 152, 172 de plus petit diamètre est fixée au caisson 40 et plus précisément sur une ouverture de ce dernier. Chaque coupleur acoustique 15, 17 occulte ainsi une ouverture du caisson 40.

Les coupleurs acoustiques 15, 17 sont alignés suivant l'axe du tronc de cône.

De préférence, le dispositif 10 d'atténuation est orienté selon une diagonale de la pièce 50. Ainsi les axes des troncs de cônes sont parallèles au plan contenant le faux plafond 60 et sont orientée selon une diagonale de ce dernier.

La membrane 12 est portée par une cloison 41 étanche. Ainsi, le caisson 40 combiné à la cloison 41 définit deux chambres formant chacune un volume de couplage.

La membrane 12 utilisée présente dans cet exemple un diamètre de 6 cm. Elle est conforme à celle décrite dans la publication C. R. Mécanique 334 (2006) déjà mentionnée ci-dessus : B. Cochelin, P. Herzog, P.O. Mattei, "Experimental evidence of energy pumping in acoustics" C.R. Mécanique volume 334, pages 639 à 644, 2006.

La longueur de l'ensemble du dispositif 10 formé par le caisson 40 et les coupleurs acoustiques 15 est d'environ 1,7 m. Le dispositif est destiné à atténuer les sons dont la fréquence se situe autour de 100 Hz.

Le fonctionnement du dispositif 10 est conditionné par les caractéristiques de la membrane 12 et par les dimensions des volumes de couplage qui l'entourent.

Par rapport à une solution où seule l'une des faces de la membrane est exploitée et où il n'y aurait donc qu'un seul coupleur acoustique (un unique pavillon couplé à la membrane), le dispositif 10 d'atténuation selon l'invention présente les spécificité et les avantages suivants:

L'encoffrement de la membrane permet d'absorber le bruit haute fréquence en traversant le pavillon, sans que ce bruit soit directement rayonné dans la pièce 50.

L'encoffrement de la membrane ne dégrade pas les performances car le deuxième pavillon (en plus du premier pavillon) assure un couplage acoustique.

L'invention permet également le traitement simultané de plusieurs modes résonants de la pièce 50 où le dispositif 10 est implanté. De façon évidente si leur fréquence est identique et leur différence de marche correspond à $\frac{1}{2}$ longueur d'onde, différence mesurée au niveau de la membrane. Des modes de fréquences différentes
5 éventuellement incommensurables peuvent aussi être atténués (cf JSV332(2013)1639, S. Bellizzi et coauteurs, « Responses of a two degree-of-freedom system coupled to a nonlinear damper under multi-forcing frequencies » in Journal of Sound and Vibration, volume 332, pages 1639 à 1653, 2013).

Quelques détails additionnels de cet exemple de réalisation sont donnés ci-dessous :

- Pièce 50 : Le sol de la pièce 50 forme un carré de 3.6 mètres de diagonale. Elle présente une hauteur sous le faux plafond 60 est de 3m.
- Longueur du coupleur 15, 17 prise selon son axe principale : 45 cm ;
- Surface S151, S171 de l'extrémité de plus grand diamètre : 0.11 mètres carrés ;
15
- Surface S152, S172 de l'extrémité de plus petit diamètre : 0.0069 mètres carrés ;
- Caisson 40 formant un cube de 48 cm de côté ;
- Cloison étanche 41 définissant avec le caisson 40 deux volumes de 0.056
20 mètres cube chacun.

De la description qui précède, il apparaît clairement que l'invention améliore le confort acoustique et réduit les dégâts dus aux vibrations, grâce à la transformation du son au moyen d'un absorbeur tel une membrane souple. Qui plus est, la membrane qui est exploitée sur ses deux faces n'a pas de rayonnement direct dans le local (ce qui procure un meilleur confort), et l'implantation de coupleurs en deux points distincts
25 permet de traiter plus de modes acoustiques. La connexion de la face arrière de la membrane à la source acoustique primaire crée une charge acoustique en face arrière de membrane. Cette charge acoustique pompe l'air de la chambre arrière et déforme la membrane de manière coordonnée avec la source primaire. La non-
30 linéarité du système permet l'apparition de modes non-linéaires de faible amplitude pour le système primaire et la membrane subit de grandes déformations sous l'action du son. L'invention permet ainsi d'éviter le problème de rayonnement secondaire sans nuire à l'atténuation du son.

Il ressort également de la description qui précède, que l'invention procure les avantages techniques suivants du fait du couplage de la deuxième face de la membrane avec la source et de la non linéarité du fonctionnement de la membrane:

- 5 - suppression du rayonnement vers l'extérieur sans annuler l'efficacité de la transformation du son;
- exploitation de la raideur linéaire apparente ajoutée à la membrane par la chambre de couplage pour améliorer l'efficacité de transformation du son ;
- coordination des effets de part et d'autre de la membrane afin qu'ils agissent en coopération pour améliorer l'efficacité de transformation du son ;
- 10 - couplage possible de la membrane en plusieurs positions de la source pour améliorer l'efficacité de transformation du son.
- capotage de la membrane permettant de déporter l'invention loin du système primaire. Cela est utile notamment pour des raisons d'encombrement ou de contraintes dues au système primaire (par exemple température,
- 15 écoulements).

L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisations précédemment décrits et s'étend à tous les modes de réalisation couverts par les revendications.

REFERENCES

	1.	Source
	10.	Dispositif d'atténuation
5	11.	Absorbeur acoustique
	12.	Membrane
	13.	Première face
	14.	Deuxième face
	15.	Coupleur acoustique avec la première face
10	16.	Elément de couplage
	17.	Coupleur acoustique avec la deuxième face
	18.	Coupleur électroacoustique
	19.	Haut-parleur
	20.	Microphone
15	21.	Capot
	22.	Capillaire d'équilibrage de pression statique
	23.	Commande de haut-parleur
	24.	Chambre de couplage avec la première face
	25.	Chambre de couplage avec la deuxième face
20	30.	Enceinte
	40.	Caisson
	41.	Cloison étanche
25	50.	Pièce
	51.	Paroi supérieure
	60.	Faux plafond
	70.	Espace intermédiaire
30	151.	Entrée du coupleur acoustique
	152.	Sortie du coupleur acoustique
	171.	Entrée du coupleur acoustique
35	172.	Sortie du coupleur acoustique
	100.	Système

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'atténuation destiné à atténuer des ondes acoustiques générées par une source (1) émettant des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises entre f_1 et f_2 et dont les niveaux de pression sont compris entre n_1 et n_2 :
 - 5 - le dispositif d'atténuation comprenant au moins un absorbeur (11) acoustique comprenant au moins une membrane (12), l'absorbeur (11) acoustique présentant au moins une première face (13) et au moins une deuxième face (14) distincte de la première face (13), l'absorbeur (11) acoustique étant configuré pour présenter un comportement en déformation non-linéaire lorsqu'il reçoit des ondes acoustiques dont
 - 10 les fréquences sont comprises entre f_{01} et f_{02} , la gamme f_{01} - f_{02} couvrant au moins 50% de la gamme f_1 - f_2 et dont les niveaux de pression sont compris entre n_{01} et n_{02} , la gamme n_{01} - n_{02} couvrant au moins 50% de la gamme n_1 - n_2 ;
 - le dispositif d'atténuation étant configuré de manière à ce que la première face (13) de l'absorbeur (11) soit en communication acoustique avec la source (1) ;
 - 15 - le dispositif d'atténuation étant caractérisé en ce qu'il comprend au moins un élément de couplage (16) de la deuxième face (14) avec la source (1), l'élément de couplage (16) étant configuré pour transmettre à la deuxième face (14) un maximum de puissance pour des ondes acoustiques dont les fréquences sont supérieures à f_1 et configuré pour transmettre à la deuxième face (14) des ondes acoustiques dont:
 - 20 o la pression acoustique instantanée s'exerçant sur la deuxième face (14) est fonction de la pression acoustique instantanée des ondes acoustiques émises par la source (1),
 - o la phase et/ou l'amplitude conduit à ce que $|P_1 - P_2| > k \cdot |P_1|$ pendant au moins une partie du cycle de fonctionnement de la source (1), avec P_1 et P_2 - 25 étant les pressions acoustiques instantanées des ondes acoustiques parvenant respectivement sur les première et deuxième faces (14) au même instant et avec $k > 0.2$.
 2. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel l'élément de couplage (16) est configuré pour transmettre à la deuxième face (14) des ondes acoustiques dont la phase et/ou l'amplitude conduit à ce que $|P_1 - P_2| > k \cdot |P_1|$ pendant au moins une partie du cycle de fonctionnement de la source (1) primaire, avec $k > 0.5$ et de préférence $k > 1$.
 3. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel $k > 1.5$, de préférence $k > 1.8$.
 4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'au moins un élément de couplage (16) de la deuxième face (14) avec la source (1) est

configuré pour transmettre à la deuxième face (14) des ondes acoustiques dont la phase et/ou l'amplitude conduit à ce que $|P_1 - P_2| > k \cdot |P_1|$ pendant au moins X% du cycle de fonctionnement de la source (1), avec $X = 10$.

5. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel $X = 30$.

5 6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'absorbeur acoustique (11) présente une fréquence de résonance linéaire f_{rl} , avec $f_{rl} < f_1$.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'au moins un élément de couplage (16) de la deuxième face (14) avec la source (1) est
10 configuré de manière à ce que la membrane atteigne un état de pompage acoustique, de préférence au moins lorsque la plage de fréquences transmises par l'élément de couplage (16) est pour partie supérieure à la fréquence f_{01} et de préférence supérieure à la fréquence f_{02} .

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, configuré de
15 manière à permettre une communication bi-directionnelle entre la source (1) et ladite première face (13) de l'absorbeur (11).

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins une membrane (12) est configurée de manière à présenter un comportement en déformation non-linéaire lorsqu'elle reçoit des ondes acoustiques dont les fréquences
20 sont comprises entre f_{01} et f_{02} , la gamme $f_{01} - f_{02}$ couvrant au moins 70% et de préférence 100% de la gamme $f_1 - f_2$.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins une membrane (12) est configurée de manière à présenter un comportement en déformation non-linéaire lorsqu'elle reçoit des ondes acoustiques dont les niveaux de
25 pression sont compris entre n_{01} et n_{02} , la gamme $n_{01} - n_{02}$ couvrant au moins 70% et de préférence 100% de la gamme $n_1 - n_2$.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'élément de couplage (16) de la deuxième face (14) avec la source (1) comprend au moins un conduit acoustique (17).

30 12. Dispositif selon la revendication précédente, comprenant un capot (21) formant avec ladite deuxième face (14) un volume fermé à l'exception d'une ouverture formée par ledit au moins un conduit acoustique (17).

13. Dispositif selon la revendication 11, dans lequel ladite deuxième face (14) est logée dans ledit au moins un conduit acoustique (17).

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'élément de couplage (16) comprend au moins une paroi interne et au moins un élément acoustiquement absorbant disposé sur la paroi interne.
15. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel les éléments acoustiquement absorbants sont configurés pour absorber en partie au moins les fréquences hautes produites par la source (1) et/ou par le dispositif d'atténuation.
16. Dispositif l'une quelconque des deux revendications précédentes, dans lequel l'au moins un élément acoustiquement absorbant est de la laine verre.
17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'élément de couplage (16) de la deuxième face (14) avec la source (1) comprend au moins un coupleur électro-acoustique (18).
18. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel le coupleur électro-acoustique (18) comprend au moins un haut-parleur (19) et dans lequel au moins une membrane (12) est une membrane (12) du haut-parleur (19).
19. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel une face externe de la membrane (12) du haut-parleur (19) est ladite première face (13).
20. Dispositif selon l'une quelconque des deux revendications précédentes, dans lequel l'absorbeur (11) est configuré de manière à ce que le haut-parleur (19) reçoive un signal électrique fonction d'un signal acoustique de la source (1).
21. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel l'absorbeur (11) comprend un microphone (19) agencé pour capter des ondes acoustiques provenant de la source (1) et est configuré de manière à ce que ledit signal acoustique soit fourni par le microphone (19).
22. Dispositif selon la revendication précédente, comprenant un capot (21) définissant avec ladite deuxième face (14) un volume fermé à l'exception d'un capillaire (22) d'équilibrage des pressions statiques régnant sur ladite première face (13) et ladite deuxième face (14).
23. Dispositif selon la revendication 18, dans lequel l'absorbeur (11) est configuré de manière à recevoir un signal acoustique pris sur la deuxième face (14) de la membrane (12).
24. Dispositif selon la revendication précédente, comprenant un capot (21) définissant avec ladite deuxième face (14) un volume fermé à l'exception d'un conduit (17) formant couplage acoustique entre ladite deuxième face (14) et la source (1).
25. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le dispositif d'atténuation comprend une pluralité d'éléments de couplage de la deuxième face (14) avec la source (1).

26. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le dispositif d'atténuation est configuré de manière à ce que la communication acoustique entre la source (1) et ladite première face (13) de l'absorbeur (11) soit un couplage acoustique direct sans élément intermédiaire de transmission du son.
- 5 27. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel le dispositif d'atténuation comprend une enceinte (30) configurée pour loger la source (1) et l'absorbeur (11) acoustique, le dispositif d'atténuation étant configuré de manière à ce que la première face (13) de l'absorbeur (11) soit en communication acoustique avec la source (1) par le volume interne de l'enceinte (30).
- 10 28. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 25, dans lequel le dispositif d'atténuation est configuré de manière à ce que la communication acoustique entre la source (1) et ladite première face (13) de l'absorbeur (11) soit un couplage acoustique réalisé en partie au moins par un ou plusieurs conduits acoustiques (15).
29. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel
15 l'élément de couplage (16) de la deuxième face (14) avec la source (1) présente plusieurs fréquences de résonance.
30. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les première (13) et deuxième (14) faces de l'absorbeur (11) s'étendent dans des plans parallèles.
- 20 31. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les première (13) et deuxième (14) faces de l'absorbeur (11) sont liées mécaniquement.
32. Système (100) comprenant une source (1) émettant des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises entre f_1 et f_2 et dont les niveaux de pression sont compris entre n_1 et n_2 et un dispositif d'atténuation selon l'une quelconque des
25 revendications précédentes configuré pour atténuer les ondes acoustiques de ladite source (1).
33. Procédé d'atténuation destiné à atténuer des ondes acoustiques générées par une source (1) émettant des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises entre f_1 et f_2 et dont les niveaux de pression sont comprises entre n_1 et n_2 , caractérisé
30 en ce que le procédé comprend les étapes suivantes :
- sélectionner au moins un absorbeur (11) acoustique comprenant au moins une membrane (12), l'absorbeur (11) acoustique présentant au moins une première face (13) et au moins une deuxième face (14) distincte de la première face (13), l'absorbeur (11) acoustique étant configuré pour présenter un comportement en
35 déformation non-linéaire lorsqu'il reçoit des ondes acoustiques dont les fréquences sont comprises entre f_{01} et f_{02} , la gamme f_{01} - f_{02} couvrant au moins

50% de la gamme f_1 - f_2 et dont les niveaux de pression sont compris entre n_{01} et n_{02} , la gamme n_{01} - n_{02} couvrant au moins 50% de la gamme n_1 - n_2 ;

- disposer la première face (13) de l'absorbeur (11) en communication acoustique avec la source (1) ;
- 5 - sélectionner un élément de couplage (16) de la deuxième face (14) avec la source (1), l'élément de couplage (16) étant sélectionné de manière à transmettre à la deuxième face (14) un maximum de puissance pour des ondes acoustiques dont les fréquences sont supérieures à f_1 et configuré pour transmettre à la deuxième face (14) des ondes acoustiques dont:
- 10 ○ la pression instantanée s'exerçant sur la deuxième face (14) est fonction de la pression instantanée des ondes acoustiques émises par la source (1),
- la phase et/ou l'amplitude conduit à ce que $|P_1 - P_2| > k \cdot |P_1|$ pendant au moins une partie du cycle de fonctionnement de la source (1), avec P_1 et P_2 étant les pressions instantanées des ondes acoustiques
- 15 parvenant respectivement sur les première et deuxième faces (14) au même instant et avec $k > 0.2$.
34. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel l'au moins un élément de couplage (16) de la deuxième face (14) avec la source (1) est configuré pour
- 20 transmettre à la deuxième face (14) des ondes acoustiques dont la phase et/ou l'amplitude conduit à ce que $|P_1 - P_2| > k \cdot |P_1|$ pendant au moins X% du cycle de fonctionnement de la source (1), avec $X = 10$.

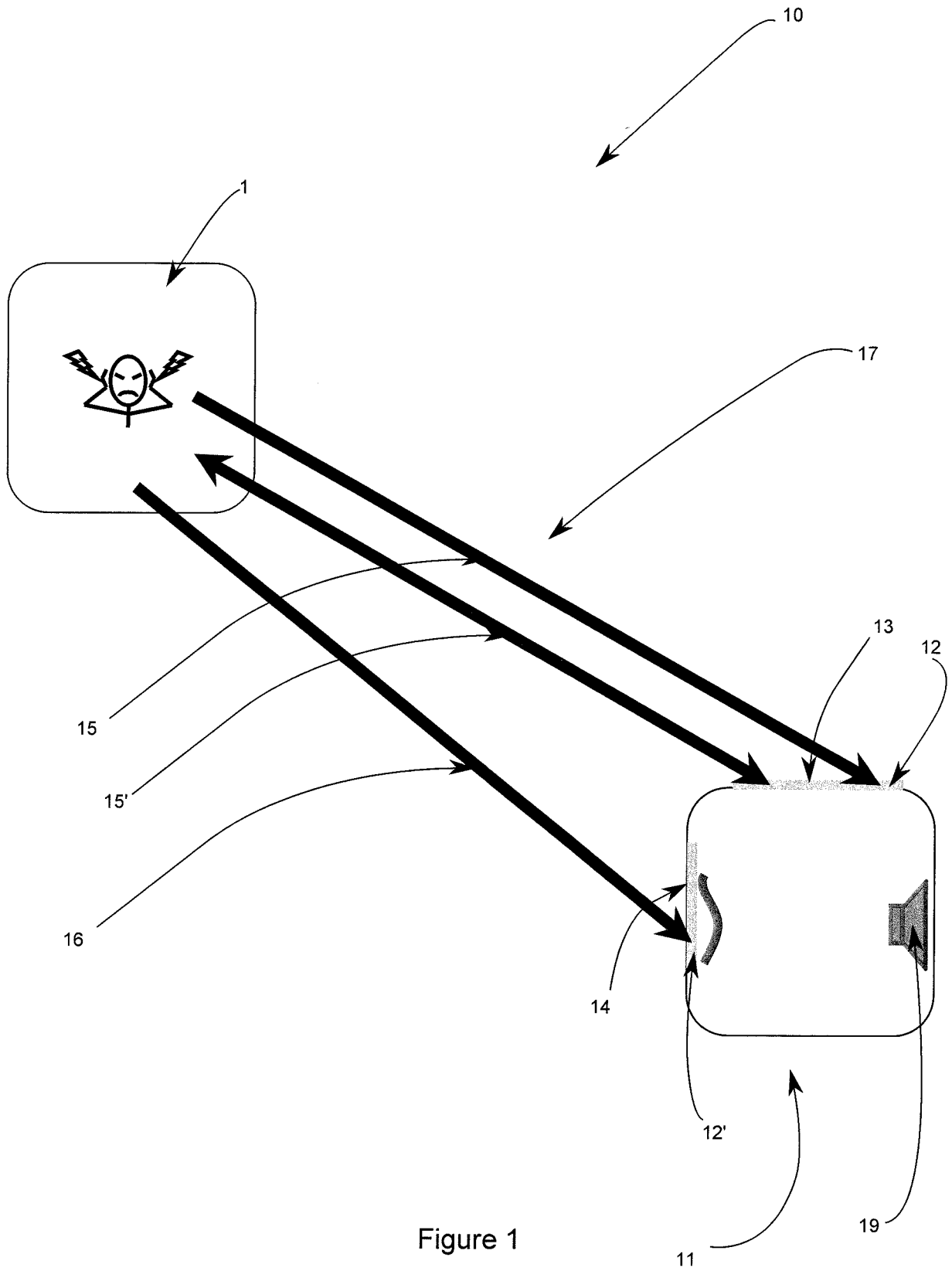


Figure 1

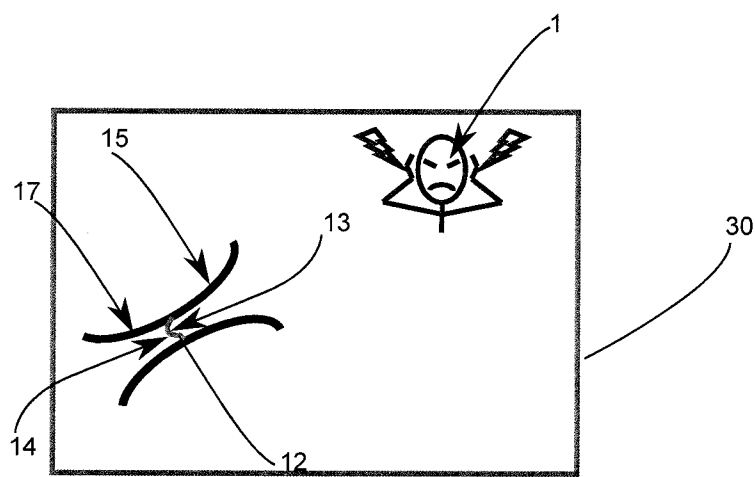


Figure 2

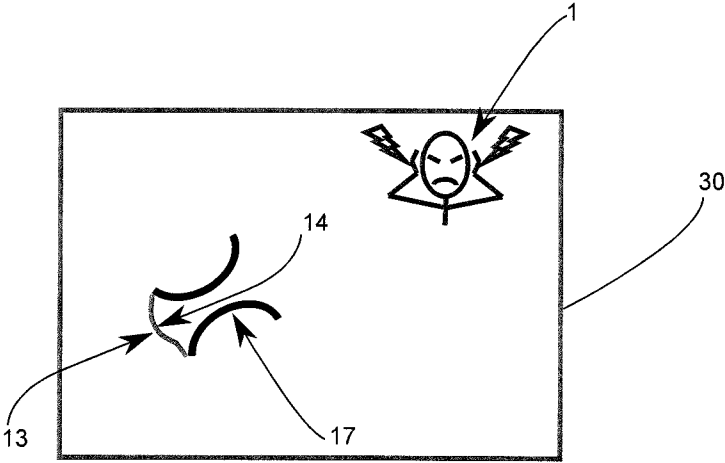


Figure 3a

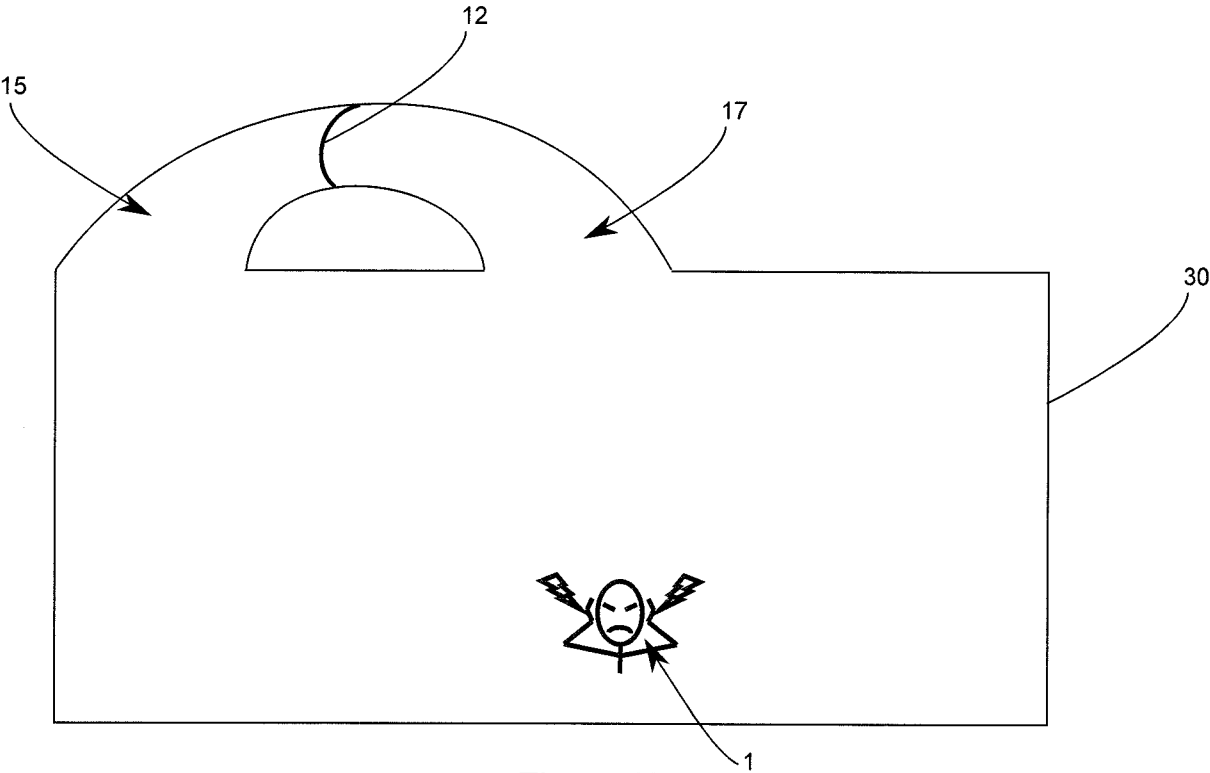


Figure 3b

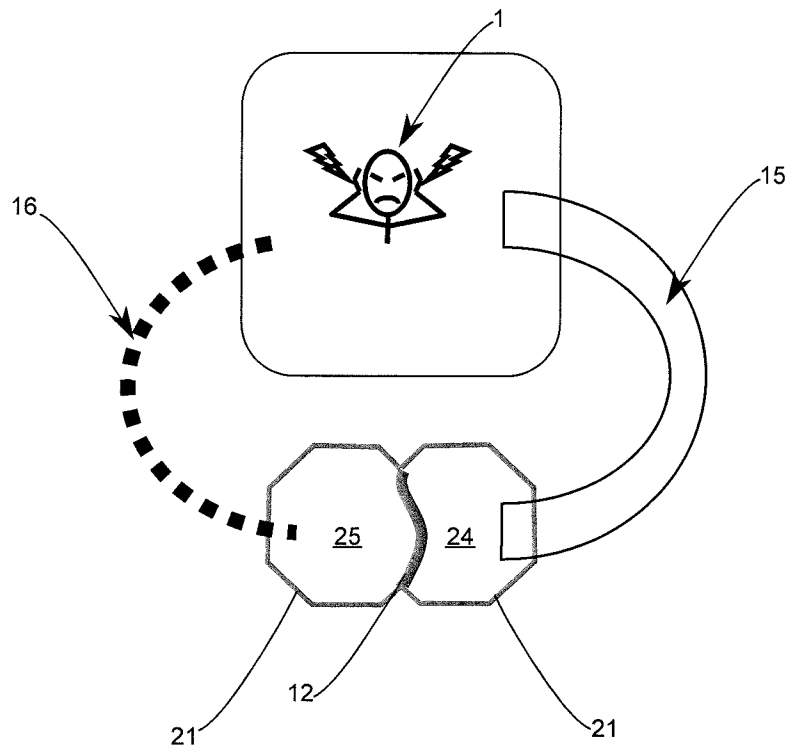


Figure 4a

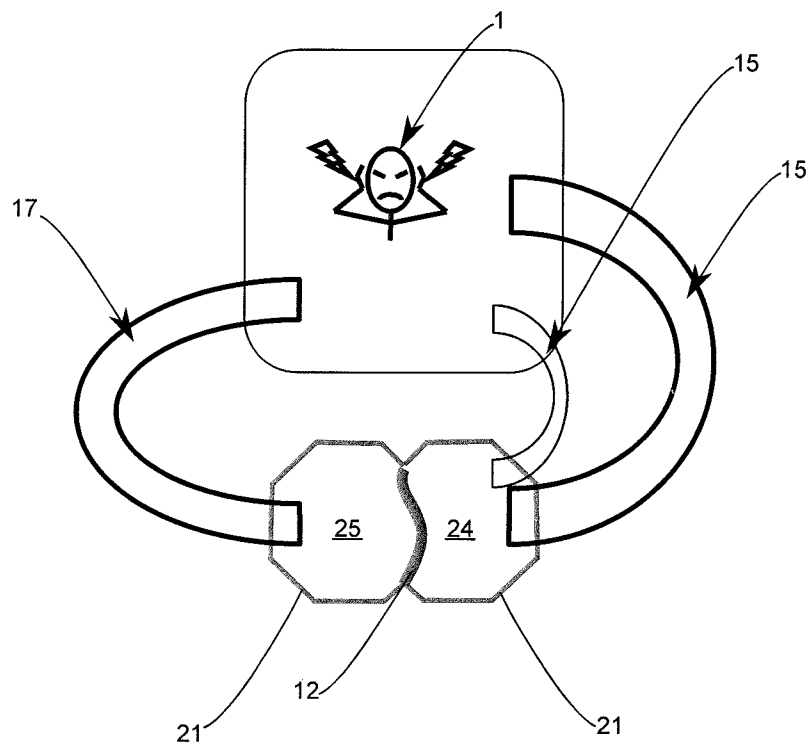


Figure 4b

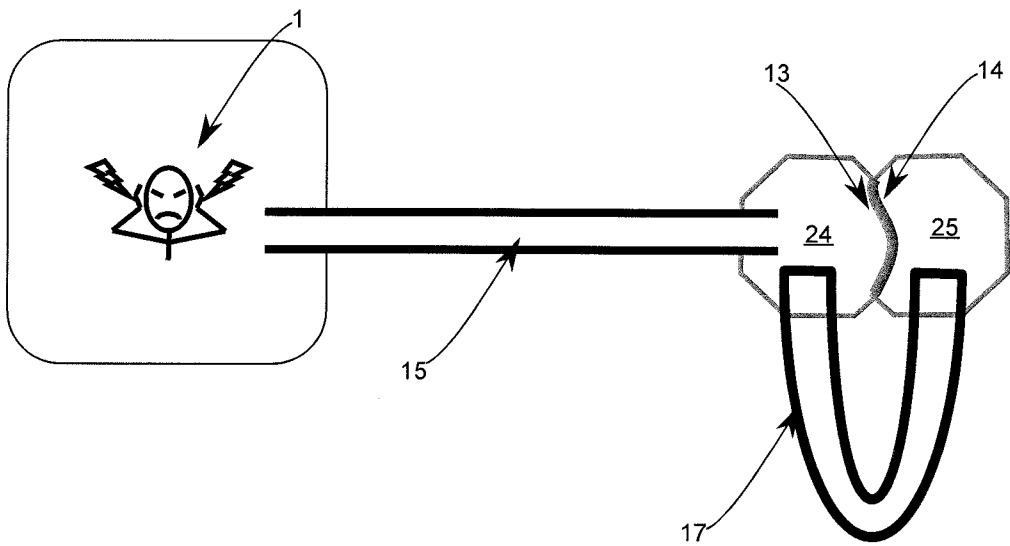
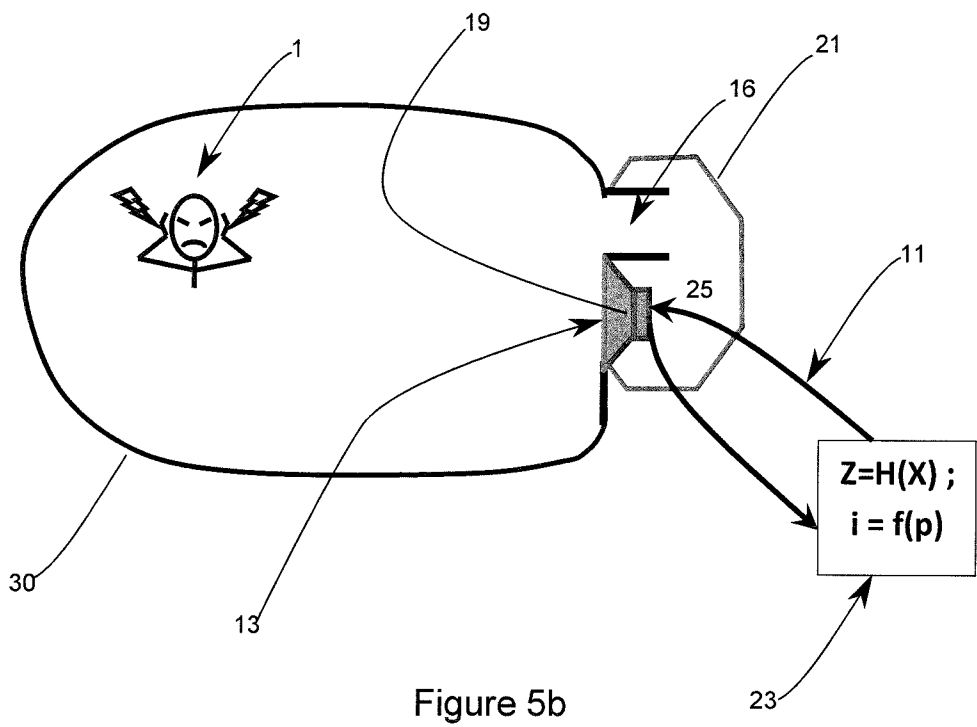
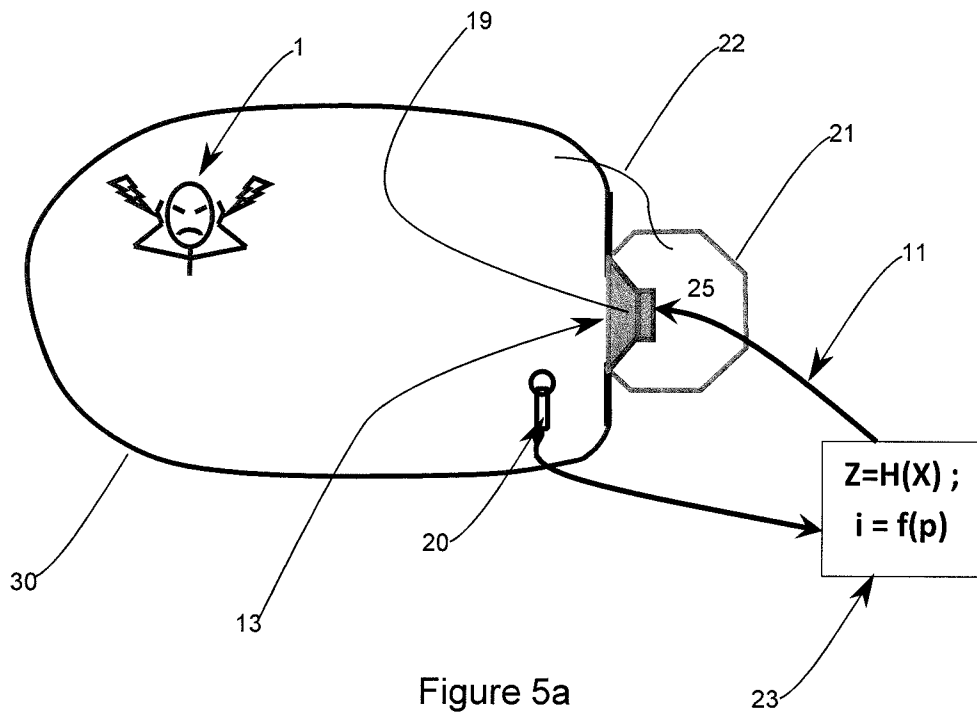


Figure 4c



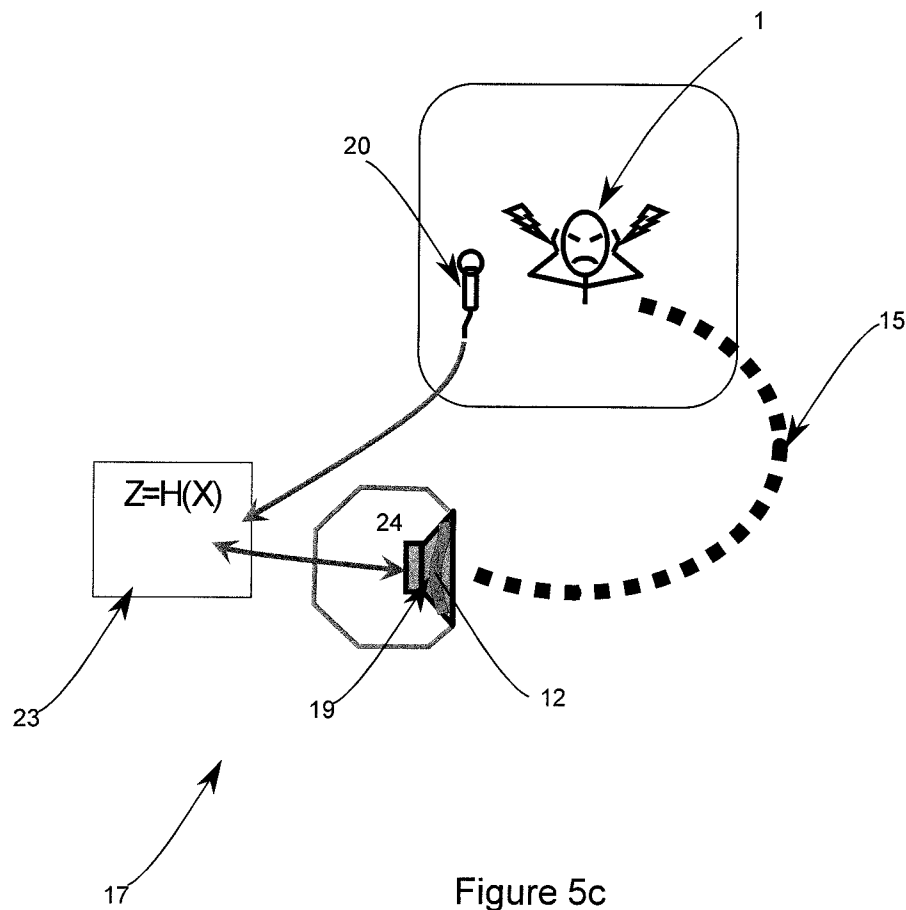


Figure 5c

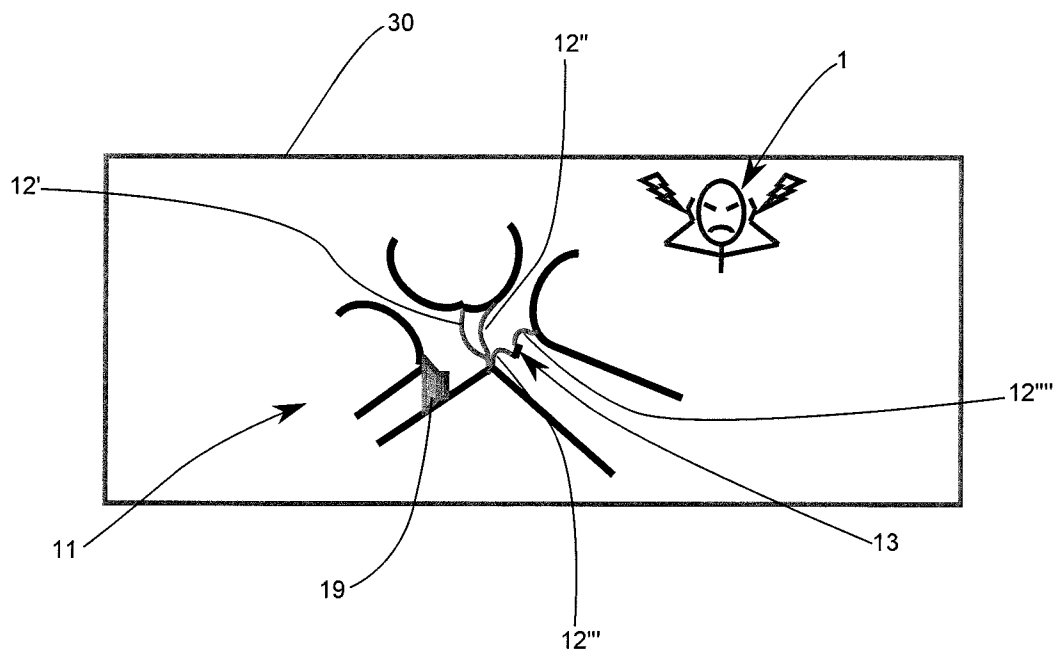


Figure 6

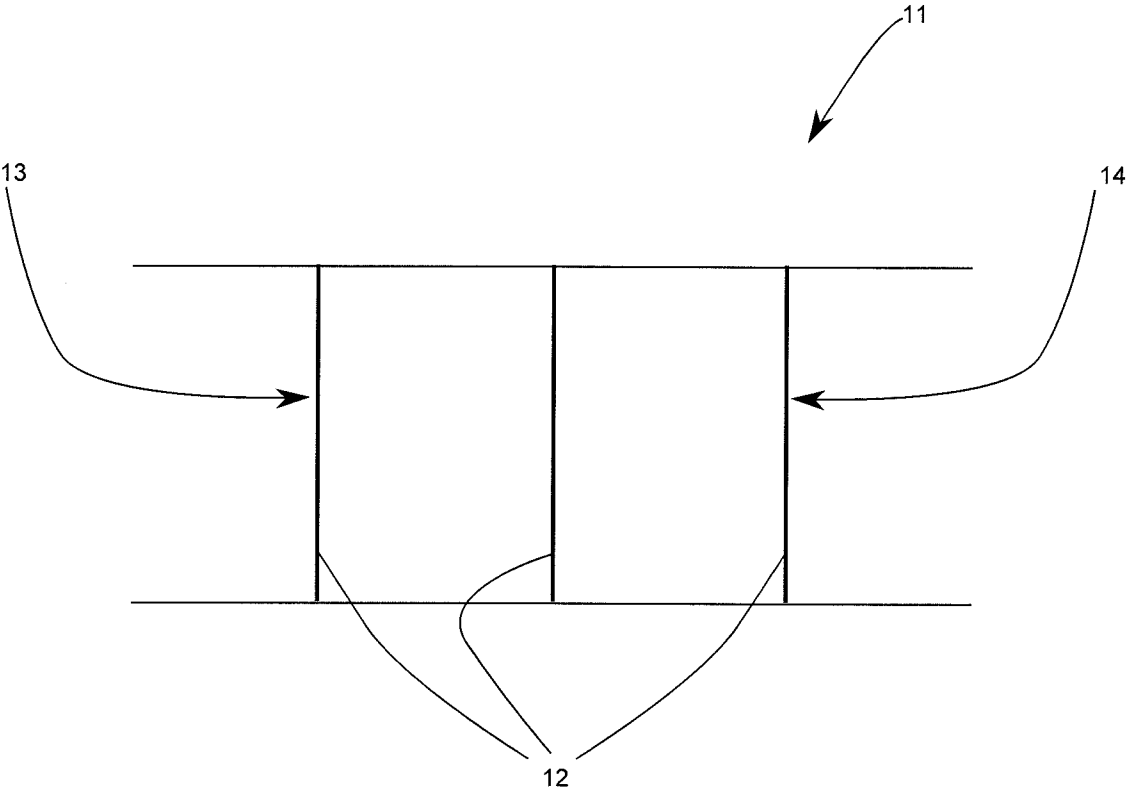


Figure 7a

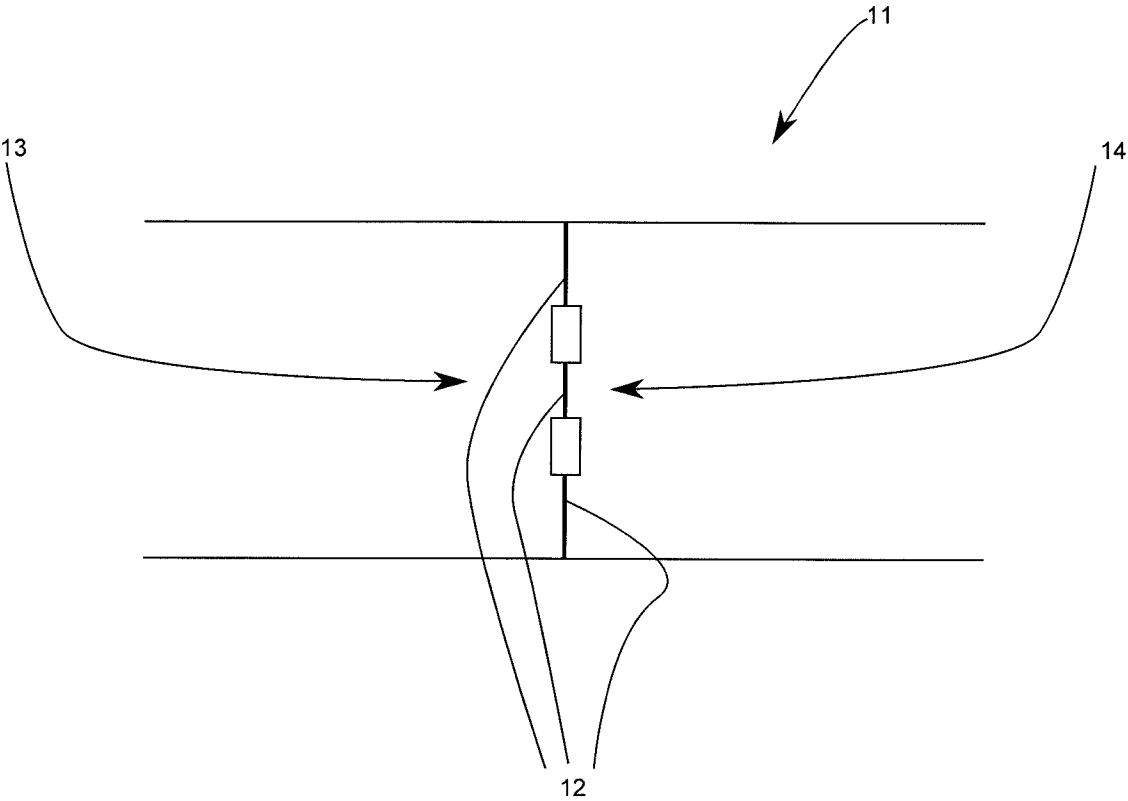


Figure 7b

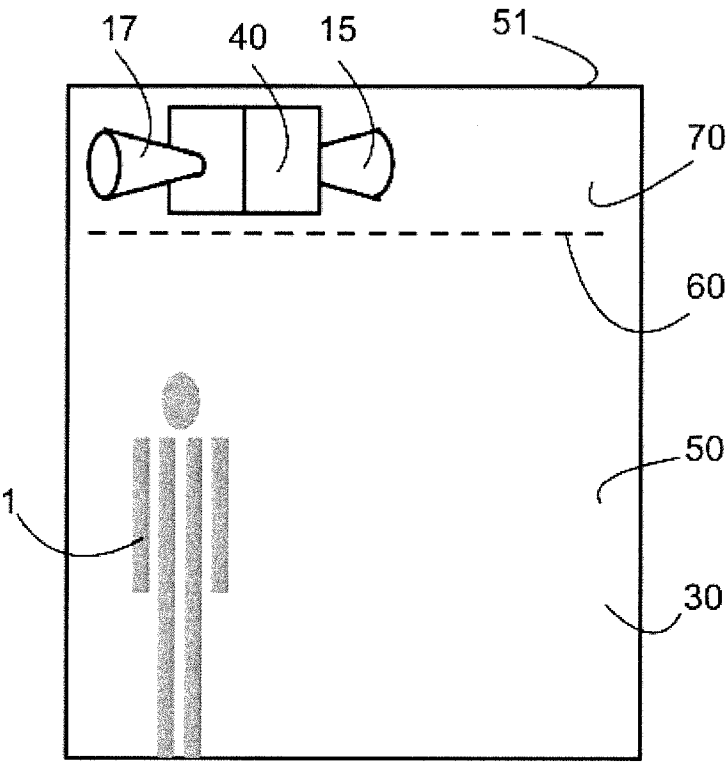


Figure 8a

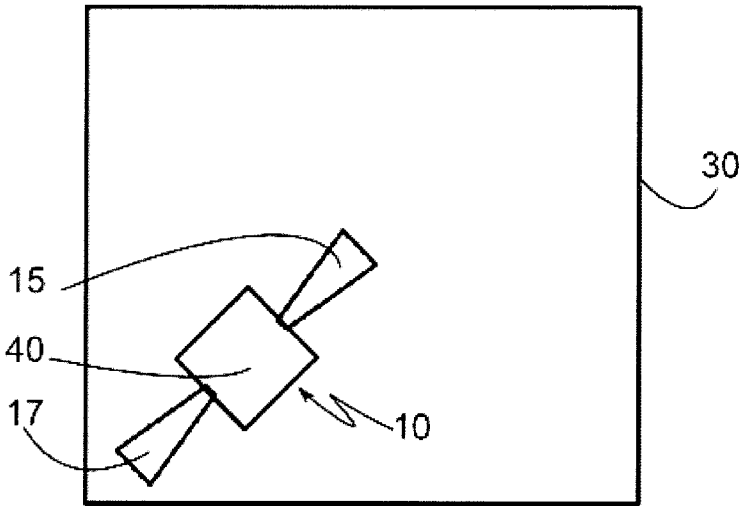


Figure 8b

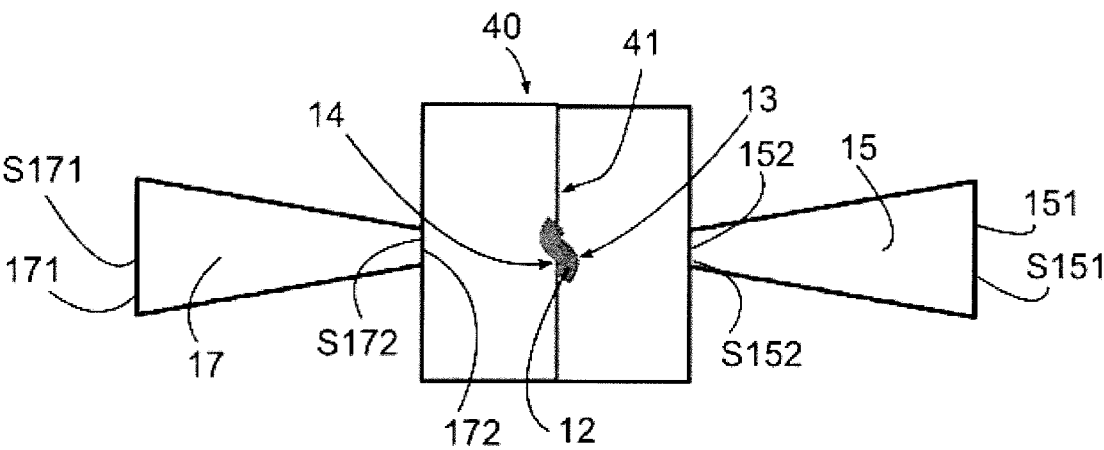


Figure 9a

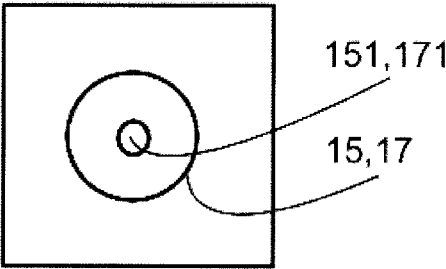


Figure 9b