



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 3 414 756 B1**

(12)

## **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:  
**29.01.2020 Bulletin 2020/05**

(21) Numéro de dépôt: **17706702.2**

(22) Date de dépôt: **08.02.2017**

(51) Int Cl.:

**E04B 1/86 (2006.01)**

**H04R 1/28 (2006.01)**

**H04R 9/06 (2006.01)**

**G10K 11/16 (2006.01)**

**E04B 1/84 (2006.01)**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/EP2017/052787**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2017/137455 (17.08.2017 Gazette 2017/33)**

---

### **(54) ABSORBEUR ACOUSTIQUE, PAROI ACOUSTIQUE ET PROCÉDÉ DE CONCEPTION ET FABRICATION**

AKUSTISCHER ABSORBER, AKUSTISCHE WAND UND VERFAHREN ZUR KONSTRUKTION UND HERSTELLUNG

ACOUSTIC ABSORBER, ACOUSTIC WALL AND METHOD FOR DESIGN AND PRODUCTION

---

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **08.02.2016 FR 1650983**

(43) Date de publication de la demande:  
**19.12.2018 Bulletin 2018/51**

(73) Titulaires:

- Université Paris-Sud  
91400 Orsay (FR)
- Centre National de la Recherche Scientifique  
75016 Paris (FR)
- Université du Mans  
72000 Le Mans (FR)

(72) Inventeurs:

- **MARTINCIC, Emile**  
91400 Orsay (FR)

- **HOUDOUIN, Alexandre**  
94240 L'Haÿ-les-Roses (FR)
- **DURAND, Stéphane**  
72700 Pruille Le Chetif (FR)
- **YAAKOUBI, Nourdin**  
72000 Le Mans (FR)
- **LEFEUVRE, Elie**  
93100 Montreuil (FR)
- **AUREGAN, Yves**  
49000 Angers (FR)

(74) Mandataire: **IPAZ**  
Parc Les Algorithmes, Bâtiment Platon  
CS 70003 Saint-Aubin  
91192 Gif-sur-Yvette Cedex (FR)

(56) Documents cités:  
**WO-A2-2004/066668 US-A1- 2012 155 688**

---

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

**Description**

**[0001]** L'invention propose un absorbeur sonore passif, comprenant une cavité ouverte vers l'extérieur du côté où l'onde sonore est incidente par un col traversant la paroi avant pour former un résonateur de Helmholtz pour une première fréquence. Selon l'invention, cet absorbeur comprend en outre au moins un élément mobile, ou pastille, suspendu ou maintenu par des suspensions dans une position obstruant ledit col de façon non étanche.

**[0002]** En outre, la raideur relative des suspensions et de la pastille est déterminée pour que l'ensemble formé par la pastille et les bras de suspension vibre selon un mode de résonance de type "piston" à une deuxième fréquence différente de la première fréquence, et notamment inférieure à elle, réalisant ainsi une absorption pour cette deuxième fréquence ou plage de fréquences. Cette deuxième fréquence est située entre la première fréquence et une troisième fréquence qui est celle de l'ensemble de la pastille avec sa suspension lorsqu'elle est mesurée à l'air libre.

**[0003]** Optionnellement, une version hybride comprend une bobine pilotée pour adapter l'impédance acoustique de l'absorbeur.

**[0004]** L'invention propose en outre une paroi acoustique comprenant une pluralité de tels absorbeurs réalisés par une structure répétitive débouchant par des perforations recevant chacune une telle pastille.

**[0005]** Elle propose aussi un procédé de conception et de fabrication d'un tel absorbeur ou paroi.

**Etat de la technique**

**[0006]** Le bruit est une source importante de nuisance sonore. Des solutions passives de réduction de bruit telles que les mousses sont largement appliquées dans la plupart des domaines.

**[0007]** Des solutions passives utilisant des résonateurs de Helmholtz sont aussi largement appliquées, en particulier pour éviter des réflexions pouvant être sources de résonances acoustiques. Par exemple, des vases acoustiques étaient placés sous les gradins des théâtres grecs ou romains afin d'éviter les réflexions et améliorer l'acoustique de l'édifice. La taille et la forme du vase étaient ajustées afin d'obtenir un système résonant qui permettait de supprimer la réflexion des ondes acoustiques sur les gradins. De nos jours, des dispositifs analogues sont présents dans les nacelles de réacteurs d'avions.

**[0008]** Ce système est basé sur la résonance acoustique de la cavité, que l'on peut qualifier de "cavité résonante". Le fonctionnement des cavités résonantes a été théorisé bien plus tard et porte aujourd'hui le nom de « résonateur de Helmholtz ».

**[0009]** Comme illustré en FIGURE 1, le résonateur de Helmholtz 1 est une cavité d'air ouverte comparable à une bouteille ouverte composée d'un col 11 et d'un volume arrière 10. Sur la figure, cette cavité 10 est enfermée dans des parois latérales 19, une paroi de fond 18 et une paroi avant 17, et n'est ouverte que dans une direction A11 par un orifice traversant la paroi avant 17. Cet orifice forme un "col" 11 présentant une certaine longueur et délimitant ainsi un volume, lequel est défini par la longueur L11 du col et sa surface d'ouverture A11, par exemple une surface circulaire formant ainsi un col cylindrique.

**[0010]** Dans un tel dispositif, le volume du col 11 et le volume arrière 10 de la cavité sont assimilables respectivement à la masse et à la raideur d'un système oscillatoire mécanique à un degré de liberté. L'absorption est alors produite par conversion de la variation de pression issue de l'onde acoustique en déplacement d'un fluide. L'énergie de l'onde acoustique à la fréquence de résonance du résonateur, est alors transférée au système résonant. Pour atténuer une onde acoustique d'une fréquence donnée, le résonateur de Helmholtz est dimensionné pour que sa fréquence propre soit accordée sur cette fréquence à atténuer selon la formule suivante :

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{A_{col}}{L_{col} V_{cavité}}}$$

où Acol =  $\pi \cdot r^2$ , Lcol et Vcavité sont respectivement la surface A11 de l'ouverture, la longueur L11 du col 11 et le volume V10 de la cavité arrière 10.

**[0011]** Récemment, des solutions actives ont été mises au point, qui utilisent des émetteurs acoustiques activés et pilotés en fonction de l'onde acoustique à atténuer pour produire des interférences destructives qui en diminuent l'intensité. Cependant, ce type de solution est complexe, fragile et coûteux.

**[0012]** Le choix d'un dispositif de réduction de bruit est effectué en fonction du coût de la solution envisagée, de l'encombrement mais également d'autres contraintes comme la température de fonctionnement, comme dans le cas de la réduction de bruit des réacteurs d'avion.

**[0013]** Dans le cas de la compensation de bruit dans de grands espaces, tels que salles de spectacle ou halls de circulation, le coût d'une paroi acoustique absorbante active est difficilement envisageable. Les résonateurs de Helmholtz

ou l'emploi de compensateurs actifs de bruit localisés permettent de limiter les nuisances notamment liées aux modes de résonance acoustiques.

**[0014]** Dans les réacteurs d'avions, la production sonore est très importante, et les normes de l'aviation civile imposent des restrictions de plus en plus sévères à l'émission de bruit des appareils. Parmi toutes les solutions de réduction de bruit possibles, seules des solutions passives sont envisageables dans les réacteurs, du fait des sollicitations très fortes en température et en vibrations, acoustiques mais aussi mécaniques.

**[0015]** Plutôt que des mousses, ou en supplément, il est actuellement implanté des cavités accordées en résonateurs de Helmholtz sur les parois des réacteurs, comme illustré en FIGURE 2. Ces cavités 10 sont fabriquées à l'aide de plaques 20 formant une structure périodique, en forme de nid d'abeille dans le cas de la FIGURE2. Une telle plaque 20 est enfermée entre une tôle arrière 28 pleine et une tôle avant 27. Celle-ci est percée de trous 11 débouchant dans les alvéoles 10, et qui constituent chacun le col d'un résonateur 1. Cette structure permet de conformer l'ensemble obtenu 2 à la forme de la paroi extérieure du réacteur et d'en assurer la rigidité.

**[0016]** D'autres solutions passives ont été proposées, par exemple dans le document US 8 857 563 qui propose une cavité de Helmholtz dont les parois avant et/ou arrière sont formées de membranes souples fixées à l'intérieur du col, mettant donc en œuvre une déformation de la ou des parois. Ces parois souples présentent parfois un orifice et sont parfois dotées d'un lest permettant de modifier leur réponse acoustique, et celle de l'ensemble de la cavité. Il est aussi proposé de combiner des cavités de Helmholtz avec des matériaux poreux.

**[0017]** Dans le document US 2012/0155688, il est proposé de réaliser une plaque rigide d'absorbant à cellules ouvertes qui absorbent une première fréquence, et d'utiliser la raideur en flexion de cette plaque pour absorber une deuxième fréquence. Dans une variante particulière, ce document propose en outre de découper dans la plaque des ouvertures, lesquelles peuvent former des cavités de Helmholtz telles que connues dans l'état de la technique.

**[0018]** Un but de l'invention est de pallier aux inconvénients de l'art antérieur. La présente invention recherche des améliorations en particulier en matière de performances d'absorption, ainsi que de largeur et de positionnement des plages de fréquences atténuées. Il est aussi recherché une amélioration de la souplesse de mise en œuvre et d'adaptation, c'est-à-dire y compris la souplesse de conception vis-à-vis des fréquences à absorber, en largeur de spectre et vers les basses fréquences. Il est aussi recherché le coût, la simplicité et la fiabilité, ainsi que la résistance aux contraintes extérieures.

### Exposé de l'invention

**[0019]** L'invention propose un dispositif d'absorbeur acoustique, notamment passif, comprenant une enceinte rigide délimitant une cavité, qui est fermée sur son pourtour sauf dans une direction d'entrée (en général unique) par laquelle cette cavité débouche vers l'extérieur. Ce débouché se fait par au moins un orifice traversant une paroi dite avant, rigide et d'une épaisseur déterminée, formant ainsi au moins un col présentant une surface d'ouverture déterminée et une longueur déterminée. Dans une telle enceinte, le col est ainsi défini comme présentant une forme et une position fixe, et des dimensions constantes. Les dimensions de ladite enceinte et dudit col sont déterminées, typiquement par le volume de l'enceinte, ainsi que la surface et la longueur du col, pour former ensemble un résonateur de Helmholtz pour une onde incidente d'une première fréquence ou plage de fréquences, dite fréquence naturelle.

**[0020]** Optionnellement, ce col est réparti en plusieurs orifices donnant sur la même cavité de façon à ce que l'ensemble se comporte comme un unique résonateur de Helmholtz, typiquement des orifices débouchant sensiblement dans la même direction ou dans des directions sensiblement parallèles, par exemple formant entre elles un angle de moins de 30° voire de moins de 15°.

**[0021]** Selon l'invention, cet absorbeur comprend en outre au moins un élément mobile, ici appelé pastille, suspendu à ladite enceinte par une ou plusieurs liaisons mécaniques, ici appelées suspensions (par exemple par une continuité de matériau(x)) dans une position obstruant au moins partiellement ledit au moins un col, de façon non étanche sur au moins une partie de sa course. C'est-à-dire qu'il subsiste une section de fuite sur au moins une partie de la course de déplacement, voire sur la totalité de cette course.

**[0022]** Dans certains modes de réalisation, il subsiste une section de fuite de façon permanente. Dans ce cas, l'élément mobile peut rester ou non à l'intérieur du col sur toute sa course.

**[0023]** Selon d'autres modes de réalisation, l'élément mobile peut aussi obstruer la cavité de façon étanche lorsqu'il est situé à l'intérieur du col, mais présenter une partie de sa course sur laquelle apparaît une section de fuite, par exemple aux deux extrémités de sa course ou au moins l'une d'entre elles.

**[0024]** En outre, selon l'invention, la raideur des suspensions et la raideur de la pastille sont déterminées dans leur combinaison (ou dans leur ratio) pour que ladite pastille vibre selon un mode de résonance en un déplacement de type "piston" selon la direction de l'onde incidente, à une deuxième fréquence ou plage de fréquences différente de la première fréquence (et notamment inférieure), réalisant ainsi une absorption pour cette deuxième fréquence ou plage de fréquences.

**[0025]** Pour réaliser une telle obstruction, la pastille peut être positionnée dans différents emplacements par rapport

au col, que ce soit à l'intérieur du col ou devant lui, du côté intérieur ou du côté extérieur, et d'une façon qui peut varier au cours de son déplacement.

**[0026]** Typiquement, la pastille suspendue est déterminée de façon à ce que la suspension de l'absorbeur, testée ou calculée une fois chargée c'est à dire avec la pastille mais à l'air libre en dehors de la cavité, présente une résonance à une troisième fréquence qui est différente de la première fréquence. La deuxième fréquence, obtenue en assemblant la cavité et la pastille suspendue, sera ainsi située entre la première fréquence (c'est à dire la fréquence de Helmholtz de la cavité) et la troisième fréquence (celle de la pastille suspendue, mesurée à l'air libre).

**[0027]** De préférence, la troisième fréquence est inférieure à la première fréquence. La deuxième fréquence, située entre les deux, est donc elle aussi inférieure à la fréquence de Helmholtz.

**[0028]** Alternativement, la troisième fréquence est supérieure à la première fréquence. La deuxième fréquence, située entre les deux, est donc elle aussi supérieure à la fréquence de Helmholtz.

**[0029]** De préférence, la pastille occupe une section d'au moins 80% de la section du col. Dans le cas d'une pastille formée par une pièce de rigidité non uniforme, cette pièce présente une partie se déplaçant en mode piston et formant ladite pastille, sur une section d'au moins 80% de la section du col.

**[0030]** Un tel déplacement en "mode piston" est ici défini, pour un objet bidimensionnel, comme un déplacement perpendiculaire à sa surface moyenne dans lequel l'objet présente une déformation qui est très faible voire négligeable par rapport à ce déplacement. C'est-à-dire avec un déplacement simultané de toutes ses parties dans le même sens et à des vitesses identiques ou très proche, et donc avec peu ou pas de flexion.

**[0031]** Un tel déplacement en mode "piston" est par exemple différent d'un déplacement en mode "tambour", dans lequel la déformation se répartit sur tout la surface de l'objet. Ainsi, une membrane souple d'épaisseur constante fixée sur son pourtour va se déformer en mode tambour, par exemple comme les parois souples proposées dans le document US 8 857 563.

**[0032]** Par exemple, si la fréquence propre de la pastille+bras de suspension est plus basse que celle du résonateur de Helmholtz seul, la fréquence résultante d'absorption du présent absorbeur sera plus basse que celle du résonateur de Helmholtz.

**[0033]** De préférence, les caractéristiques de la pastille et de ses suspensions sont déterminées pour que leur fréquence de résonance propre, c'est à dire montée à l'air libre et sans cavité, soit située en dessous de la fréquence de Helmholtz de ladite cavité.

**[0034]** En effet, alors qu'ils réalisaient des essais pour planter un haut parleur de type étanche dans le col d'un résonateur de Helmholtz, les inventeurs ont constaté des améliorations et des modifications spécifiques du comportement de cet ensemble lorsqu'il était utilisé en mode passif, c'est-à-dire sans activer le haut parleur.

**[0035]** Ainsi, il a été constaté que l'ajout d'une telle pastille, en particulier agencée pour vibrer en mode piston, modifie de façon surprenante le comportement de la cavité : l'absorption est significativement plus performante, et le système présente en outre un décalage de sa fréquence d'absorption vers les fréquences plus basses.

**[0036]** De préférence, mais non obligatoirement, la pastille est déterminée dans sa géométrie ou son matériau, et de préférence les deux, pour former une structure rigide, c'est à dire avec une raideur élevée et qui se déforme peu par rapport à son déplacement moyen en mode piston, et/ou par rapport aux dimensions du col, par exemple de moins de 10% voire moins de 50%. De préférence, il s'agit d'une structure uniquement élastique avec peu ou pas d'hystéresis.

**[0037]** Selon une particularité, la pastille est réalisée en un matériau et une structure fournissant un poids faible, de préférence combinée avec une raideur élevée.

**[0038]** Par exemple, la pastille est réalisée dans un ou plusieurs matériaux choisis parmi le silicium, le quartz, l'alumine ( $Al_2O_3$ ), le titane et ses alliages, l'acier, l'aluminium et ses alliages, les matières plastiques et notamment les polymères.

**[0039]** De préférence les suspensions sont réalisées en un matériau et selon une géométrie fournissant un comportement élastique. Selon un exemple de réalisation donnant de bons résultats, pour une structure en silicium, la raideur de la suspension, calculée pour le déplacement de la pastille dans sa périphérie, est de moins de 6N/m, et notamment de moins de 2N/m ; et par exemple comprise entre 0,5 et 20N/m, voire entre 2 et 6N/m pour une pastille ronde entre 10 et 20mm de diamètre.

**[0040]** Selon une particularité, la pastille présente une forme bidimensionnelle mince, par exemple plane, et de préférence dont la périphérie est sensiblement parallèle au bord du col, par exemple fournissant une section de fuite régulièrement répartie autour de la pastille, voire uniformément répartie.

**[0041]** De préférence, la suspension et la section de fuite sont déterminées pour que l'ensemble de l'équipage mobile ne présente pas de mode de déformation en torsion à la fréquence à absorber, et de préférence pas en dessous non plus. Selon une particularité, la géométrie de cette périphérie et son écart avec le col sont déterminées de façon à compenser ou éviter des déformations en torsion de la pastille, par exemple dans une phase d'ajustement, par exemple dans le cas d'un col dont la périphérie n'est pas de révolution voire pas régulière.

**[0042]** Selon une autre particularité, les suspensions comprennent des bras allongés reliant la pastille à l'enceinte selon une forme s'étendant autour de ladite pastille parallèlement (ou au moins faisant un angle moyen inférieur à 20°) au bord du col et/ou de la pastille. Ce type de géométrie permet ainsi d'obtenir une grande souplesse en maintenant

un écart faible entre le col et la pastille tout en limitant ou en évitant les modes de torsion de la structure.

[0043] Ainsi, pour un matériau élastique d'une raideur donnée, il est possible de réaliser des bras d'une plus grande longueur, et donc d'une raideur plus faible, tout en limitant leur encombrement autour de la périphérie de la pastille, et donc en limitant l'écart entre celle-ci et la paroi du col ou en limitant les contraintes qui pèsent sur l'écart pouvant être réalisé. En effet, une grande souplesse est difficile à obtenir dans un écart faible, surtout de manière régulière autour de la pastille ; alors qu'elle est utile pour limiter la survenance de modes de torsion et favoriser le mode piston.

[0044] Par exemple, la pastille est formée au sein d'une tôle ou d'une feuille solidaire de l'enceinte, par une partie rendue mobile vis-à-vis de ladite enceinte au moyen d'une ou plusieurs découpes effectuées dans ladite tôle ou feuille de façon à former des bras de suspension.

[0045] La fabrication en est ainsi plus facile à industrialiser, et peut être plus rapide, plus précise, plus répétable et moins couteuse.

[0046] Selon une autre particularité, la pastille est maintenue dans le col par une ou plusieurs avancées dépassant du col à ses deux extrémités pour s'étendre devant la périphérie de la pastille de façon à former une butée empêchant ladite pastille de s'échapper du col.

[0047] Selon encore une autre particularité, pouvant être suspendue avec ou sans liaison à continuité de matériau, la pastille présente une périphérie qui épouse la surface intérieure du col, avec un écart déterminé, sur une longueur déterminée selon la direction de son mouvement de vibration. Cette longueur est déterminée pour être suffisante, en combinaison avec ledit écart et avec la nature des matériaux du col et de la pastille, pour permettre à ladite pastille de se déplacer le long du col sans provoquer de blocage par inclinaison et arc-boutement. Une telle pastille est par exemple en forme de cylindre, de révolution ou non.

[0048] Un tel absorbeur peut ainsi être réalisé dans des dimensions variées et de façon facile à industrialiser, y compris de petite taille et par exemple dans des dimensions compatibles avec des configurations actuelles en nids d'abeille dont les logements sont compatibles avec l'encombrement et les fréquences de résonances pertinents dans le domaine de l'aviation ou des machines industrielles.

[0049] Alternativement, un absorbeur selon l'invention comprend une pastille formée par une membrane de haut parleur (par exemple en résine telle que du kevlar, ou en tissu ou papier ou carton), par exemple un haut parleur électrodynamique de type classique à bobine mobile et aimant fixe annulaire(s). Typiquement, cette membrane fixée à un châssis extérieur par l'intermédiaire d'un joint souple périphérique, par exemple d'un type utilisé classiquement pour réaliser une suspension souple périphérique formant en même temps un joint étanche de haut parleur, par exemple en caoutchouc ou latex, élastomère, film mince polymère tel qu'un film polyéthylène d'environ 100µm.

[0050] Selon l'invention, ce joint présente une ou plusieurs découpes entourant ladite membrane pour réaliser le col à sa périphérie. Les découpes peuvent avoir des dimensions importantes, représentant une fraction majoritaire de la surface du joint (par exemple au moins 20% voire au moins 40%), pourvu que la solidarité mécanique de la membrane au châssis soit assurée, par le joint seul ou éventuellement à l'aide du spider.

[0051] Selon une particularité, cette structure est réalisée sans y inclure le système électromagnétique habituel, par exemple la bobine et l'aimant. Un tel absorbeur est ainsi facile à réaliser, avec des techniques connues, éprouvées et économiques, en matière de fabrication et de montage, par exemple dans le cadre de parois acoustiques pour des salles dans un bâtiment, avec une meilleur efficacité et/ou encombrement qu'avec des résonateurs de Helmholtz classiques tout en représentant un coût plus faible qu'une véritable installation d'absorption active.

#### Absorbeur hybride, avec contrôle réactif ou actif

[0052] Dans certains modes de réalisation, pouvant combiner tout ou partie des particularités exposées ici, la pastille interagit en outre avec l'enceinte (et par exemple le col) par un système électromagnétique pour former la membrane d'un haut-parleur.

[0053] De préférence, la bobine est fixée sur la pastille, tandis que le ou les aimants permanents sont fixés sur le col ou la paroi avant. Par rapport au cas où l'aimant permanent est mobile, on obtient ainsi une plus grande liberté de conception, et en particulier une meilleure efficacité et une absorption possible dans des fréquences plus basses.

[0054] Alternativement ou en combinaison, l'aimant permanent est fixé sur la pastille et la bobine est fixe par rapport au col.

[0055] On obtient ainsi un absorbeur pouvant être qualifié d'hybride, au sens où il combine les avantages de la réduction passive avec une gestion commandée de son impédance.

[0056] Les systèmes acoustiques actifs peuvent être classés en deux catégories :

- 55 - les systèmes actifs avec une chaîne d'asservissement qui nécessite la mise en place d'une mesure de contrôle (en pression et/ou en vitesse), et
- les systèmes réactifs sans chaîne d'asservissement et donc qui ne nécessitent donc pas de mesurer les caractéristiques de l'onde acoustique à absorber.

[0057] Dans ces modes de réalisations, le système électromagnétique est commandé par un circuit électronique :

- de façon à réaliser une absorption acoustique active, et/ou
- de façon à modifier l'impédance acoustique dudit haut-parleur afin de renforcer l'absorption, ou de décaler la fréquence d'absorption, ou d'élargir la plage de fréquence d'absorption, ou une combinaison de ces effets.

[0058] Dans une première version électromagnétique dite "réactive", l'absorbeur hybride à section de fuite de l'invention est commandé par un circuit électronique de façon à réaliser une réduction acoustique active, typiquement par application d'un shunt "d'impédance négative" aux bornes de la bobine mobile, avec ou sans asservissement de la valeur de l'impédance négative. On obtient ainsi un système uniquement réactif, qui offre des possibilités de contrôle du comportement de l'absorbeur, sans mettre en œuvre toute la complexité d'une électronique de réduction active classique. En effet, l'obtention d'une impédance négative constitue une forme simple au sein des techniques de contrôle actif.

[0059] Dans une deuxième version électromagnétique formant un système véritablement "actif", l'absorbeur hybride à section de fuite selon l'invention est commandé par un asservissement basé sur le niveau et le spectre sonore de l'environnement à protéger, et utilisant des lois de contrôle complexes, avec ou sans mesure en temps réel de l'environnement sonore résultant.

[0060] Ces deux méthodes conduisent à modifier l'impédance acoustique du haut-parleur ainsi formé.

[0061] Cette modification de l'impédance acoustique permet de renforcer l'absorption, ou de décaler la fréquence d'absorption, ou d'élargir la plage de fréquence d'absorption, ou une combinaison de ces effets.

[0062] Cette adaptation d'impédance acoustique par commande électronique a déjà été proposée pour des haut-parleurs classiques à membrane étanche. Le mode de commande et de fonctionnement, ainsi que les résultats obtenus, sont détaillés par exemple dans les documents suivants :

- thèse de Romain Boulandet : H. Lissek, "Les matériaux actifs à propriétés acoustiques variables". PhD thesis, Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine, 2002 ;
- Romain Boulandet, Hervé Lissek, "acoustic impedance synthesis at the diaphragm of moving coil loudspeakers using output feedback control", ICSV18, 10-14 July 2011, Rio de Janeiro, Brazil ;
- Romain Boulandet, Hervé Lissek, Etienne Rivet. "Advanced control for modifying the acoustic impedance at the diaphragm of a loudspeaker". Société Française d'Acoustique. Acoustics 2012, Apr 2012, Nantes, France. <hal-00810907>

[0063] L'invention permet ainsi de fournir une absorption passive efficace dans une plage de fréquence déterminée, tout en autorisant aussi une adaptation active d'impédance permettant une absorption sur un spectre beaucoup plus large.

[0064] Une installation incluant un tel absorbeur hybride à section de fuite permet aussi une utilisation en réduction active, voire une utilisation alternative en haut parleur seul, possiblement combinée ou alternées entre elles ou avec l'absorption passive ou adaptée, selon la configuration installée et en fonction du choix du moment.

[0065] Selon un autre aspect de l'invention, il est proposé une pluralité de dispositifs d'absorption tels qu'exposés ici qui sont juxtaposés au sein d'un ensemble bidimensionnel continu pour réaliser une absorption acoustique dans une même direction. Il est aussi proposé une paroi d'absorption acoustique, passive ou hybride, comprenant une pluralité de dispositifs d'absorption tels qu'exposés ici qui sont distribués voire juxtaposés au sein d'un ensemble bidimensionnel continu, pour réaliser une absorption acoustique dans une même direction perpendiculaire à la surface de cette paroi.

[0066] Selon une variante de tels dispositifs sont par exemple réalisés identiques entre eux, permettant de renforcer l'absorption dans une bande de fréquence relativement étroite, et de l'uniformiser sur toute la surface de la paroi.

[0067] Selon une autre variante, la paroi comporte plusieurs dispositifs d'absorption de caractéristiques différentes, fournissant ainsi une absorption sur une bande plus large formant une réunion des bandes d'absorption des différents types de dispositifs.

[0068] Selon les configurations et les besoins, ces absorbeurs sont répartis de façon régulière pour former un motif périodique, ou de façon répétitive mais non périodique, ou de façon pseudo-aléatoire.

[0069] Selon encore une autre variante, des absorbeurs selon l'invention (d'un ou plusieurs types) sont réalisés dans une même paroi que d'autres absorbeurs selon l'art antérieur (par exemple des cavités de Helmholtz à col dépourvu de pastille). Ces différents types sont répartis par exemple selon le besoin en intensité d'absorption pour chaque fréquence, et/ou selon les emplacements concernés par chaque fréquence différente.

[0070] Selon une particularité, une telle paroi comprend une plaque présentant une structure répétitive voire périodique, par exemple en nid d'abeille, dont les logements forment une pluralité de cavités, qui sont fermées sur une face dite arrière, typiquement par une paroi rigide et étanche qui est solidaire de la plaque à structure répétitive. Sur une face avant opposée à la face arrière, les cavités de cette plaque à structure répétitive sont recouvertes par une paroi (ou plusieurs parois superposées) qui est (sont) découpée(s) de façon à former une pluralité de cols recevant chacun une pastille.

[0071] Selon encore un autre aspect de l'invention, il est proposé un procédé de conception et/ou d'industrialisation d'un absorbeur acoustique tel qu'exposé ici, destiné à absorber une fréquence visée, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape de détermination de dimensions d'une cavité de Helmholtz présentant une première fréquence de résonance de Helmholtz plus élevée que la fréquence visée, et
- une étape de détermination (par le calcul ou par l'expérimentation) de caractéristiques d'une pastille suspendue (dans ses matériaux et sa géométrie) adaptée pour être disposée dans le col de ladite cavité de façon à produire un absorbeur accordé sur une deuxième fréquence correspondant à ladite fréquence visée.

[0072] De préférence, les caractéristiques de la pastille et de ses suspensions sont déterminées pour que la fréquence de résonance propre de l'équipage mobile, c'est à dire l'ensemble formé par la pastille et ses suspensions lorsqu'il est monté à l'air libre et sans cavité, soit située en dessous de la fréquence de Helmholtz de ladite cavité et en dessous de ladite fréquence visée.

[0073] Selon une autre particularité préférée, de préférence combinée avec la précédente, la pastille suspendue est déterminée de façon à ce que la suspension de l'absorbeur, testée ou calculée une fois chargée c'est à dire avec la pastille mais à l'air libre en dehors de la cavité, présente son premier mode propre de déformation à une fréquence inférieure à la deuxième fréquence, et donc inférieure à la fréquence à absorber.

[0074] Plus particulièrement, la pastille elle-même est déterminée de façon à ce que, lorsqu'elle est testée ou calculée seule c'est à dire libre et sans suspension, son premier mode propre de déformation se produise à une fréquence supérieure à la deuxième fréquence.

[0075] Il est ainsi possible de limiter ou d'éviter la recréation d'un bruit supplémentaire qui risquerait d'apparaître à une fréquence formant une harmonique de la fréquence à absorber.

[0076] Le terme de "premier mode propre" est ici à comprendre comme désignant le mode propre qui apparaît en premier lorsque la fréquence augmente, c'est à dire le mode de déformation qui apparaît à la fréquence de résonance.

[0077] Encore selon un autre aspect de l'invention, il est proposé un procédé de fabrication d'un absorbeur ou d'une paroi tel(le) qu'exposé ici. Selon l'invention, ce procédé comprend au moins une étape de fabrication d'une tôle ou plaque ou feuille de façon à former une ou des pastilles d'absorbeur acoustique, par exemple par soustractive telle que découpe par laser, ou jet d'eau, ou électroérosion, ou gravure chimique ou plasma. Alternativement ou en combinaison, cette fabrication peut aussi être réalisée par des méthodes de fabrication additives, par exemple par dépôt à chaud, polymérisation au laser, ou frittage laser, par exemple en polymère ou métal. Dans les modes de réalisation comprenant une pastille suspendue par des bras de suspensions, l'étape de fabrication de la pastille réalise préférentiellement aussi une ouverture selon un motif formant les contours de ces bras de suspension.

[0078] Selon une particularité, la tôle ou plaque ou feuille est fixée à la surface d'une plaque présentant une structure répétitive voire périodique, et l'étape de découpe produit une pluralité de pastilles distribuées par rapport aux logements de la structure périodique de façon à former la pluralité de pastille d'une paroi acoustique telle qu'exposée ici.

### Exemples d'applications

[0079] Ainsi, l'invention permet de réaliser une absorption acoustique plus efficace qu'avec des résonateurs de Helmholtz classiques, au sein d'un système passif avec tous les avantages que cela comporte, et au prix de peu ou pas de coût, complexité ou fragilité supplémentaire, en particulier pour des fréquences basses, par exemple entre 500Hz et 1500Hz.

[0080] En outre, le décalage de fréquence propre vers le bas permet d'absorber des fréquences plus basses qu'avec un résonateur classique, et/ou en utilisant un volume moindre puisque celui-ci augmente lorsque la fréquence à absorber décroît.

[0081] Ce type de solution est destiné en particulier à certaines applications où les mousses ou des solutions de type actives ne peuvent pas ou peu être employées, par exemple du fait de l'encombrement nécessaire pour obtenir une absorption suffisante ou du fait de leur résistance insuffisante à des conditions difficiles, par exemple des conditions climatiques difficiles voire un environnement artificiel extrême. Des améliorations significatives peuvent ainsi être apportées dans ces domaines, qui ne sont actuellement pas toujours accessibles autrement.

[0082] A titre d'exemple, il est envisagé de réaliser une absorption acoustique dans les réacteurs d'avions, de façon améliorée par rapport aux structures nid d'abeille à perforation simples illustrées en FIGURE 2, et par exemple répondre aux évolutions des normes de l'aviation civile qui imposent une émission sonore de moins en moins forte pour les aéronefs.

[0083] De nombreuses applications sont envisagées pour améliorer et/ou rendre moins encombrant l'isolation de nombreux systèmes ou machines, par exemple des machines-outils ou des éléments de chaînes de fabrication, robotisés ou non.

[0084] Des applications intéressantes sont aussi envisagées dans le domaine du bâtiment, en particulier pour limiter l'écho dans de grands espaces couverts ou fermés, par exemple des studios d'enregistrement ou de grandes salles de

conférence ou de spectacles, ou des halls de circulation ou de passage.

**[0085]** Des modes de réalisation variés de l'invention sont prévus, intégrant selon l'ensemble de leurs combinaisons possibles les différentes caractéristiques optionnelles exposées ici.

5 **Liste des figures**

**[0086]** D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée d'un mode de mise en œuvre nullement limitatif, et des dessins annexés sur lesquels :

- 10 - la FIGURE 1 est un schéma en coupe axiale qui illustre un résonateur de Helmholtz selon l'état de la technique ;
- les FIGURE 2a et b sont des schémas en perspective qui illustrent une paroi acoustique selon l'état de la technique, comprenant une pluralité de résonateurs de Helmholtz, formée par une structure en nid d'abeille recouverte d'une plaque perforée, avant et après assemblage ;
- 15 - la FIGURE 3 est une perspective à l'échelle d'une coupe axiale d'un absorbeur selon l'invention selon un premier exemple de mode de réalisation, comprenant une cavité de  $21\text{cm}^3$  avec pastille électrodynamique en silicium ;
- la FIGURE 4 est une vue en perspective à l'échelle qui illustre les découpes réalisant les suspensions et la pastille de l'absorbeur de la FIGURE 3 ;
- 20 - la FIGURE 5 est une vue en perspective à l'échelle qui illustre la pastille de l'absorbeur de la FIGURE 3, dans une version avec sa bobine électromagnétique et ses raidisseurs ;
- la FIGURE 6 est une vue schématique de principe, en coupe axiale, d'un absorbeur selon l'invention, dans une configuration avec col plus étroit que la cavité ;
- la FIGURE 7 est un graphique illustrant des courbes d'absorption obtenues expérimentalement à l'aide de l'absorbeur de la FIGURE 3 et pour deux volumes de cavité différents, dans une configuration avec et sans joint d'étanchéité autour de la pastille ;
- 25 - la FIGURE 8 est une vue schématique de principe, en coupe axiale, d'un absorbeur selon un deuxième exemple de mode de réalisation de l'invention, dans une configuration avec col formant la continuité de la cavité ;
- la FIGURE 9 est une vue schématique en coupe axiale, qui illustre une paroi acoustique selon un troisième exemple de mode de réalisation de l'invention comprenant une pluralité d'absorbeurs, formée par une structure en nid d'abeille recouverte de plusieurs plaques perforées formant le col et qui enserrent une plaque découpée pour former les pastilles et leurs suspensions ;
- 30 - les FIGURE 10a et b sont des vues schématiques, en coupe axiale et respectivement en vue depuis la gauche, qui illustrent un des absorbeurs, au sein d'une paroi acoustique en nid d'abeille, selon un quatrième exemple de mode de réalisation de l'invention, avec pastille libre retenue par des couches externes dépassant au dessus du col ;
- les FIGURE 11a et FIGURE 11b sont des demi-vues schématiques en coupe axiale, qui illustrent un des absorbeurs d'une paroi acoustique en nid d'abeille, selon deux variantes d'un cinquième exemple de mode de réalisation de l'invention, avec pastille épaisse à déplacement libre et retenue par des couches externes dépassant au dessus du col ;
- 35 - la FIGURE 12 est une vue schématique en coupe axiale, qui illustre un sixième exemple de mode de réalisation de l'invention, avec un haut parleur électrodynamique à membrane conique montée sur joints périphériques ajourés ;
- dans lequel la section de fuite est formée par des orifices traversant la pastille dans sa partie intérieure, en deux demi-vues présentant des variantes différentes ;
- la FIGURE 13 est une vue schématique en coupe axiale, qui illustre un septième exemple de mode de réalisation à pastille rigide présentant une section de fuite dans sa partie intérieure, dans lequel la section de fuite est formée par des orifices traversant la pastille dans sa partie intérieure, en deux demi-vues présentant des variantes différentes ;
- 40 - la FIGURE 14 est une vue schématique en coupe axiale, qui illustre un huitième exemple de mode de réalisation à pastille à partie centrale souple incluant une section de fuite, dans lequel la section de fuite est formée par des orifices traversant la pastille dans sa partie intérieure, en deux demi-vues présentant des variantes différentes ;
- en FIGURE 13a, avec suspension non étanche, et
- en FIGURE 13b, avec suspension étanche ;
- 45 - la FIGURE 15 est un schéma qui illustre la différence entre un déplacement :

  - en FIGURE 14a, avec suspension non étanche, et
  - en FIGURE 14b, avec suspension étanche ;

- en FIGURE 15a, en mode "piston", et
- en FIGURE 15b, en mode "tambour" ;

- 5 - la FIGURE 16 est une vue schématique en coupe axiale qui illustre le col et la pastille de l'absorbeur de la FIGURE 3, dans une version avec sa bobine électromagnétique et ses raidisseurs comme illustré en FIGURE 5.

### Description d'exemples de modes de réalisation

#### **Absorbeur simple**

10 [0087] Les FIGURE 1 à FIGURE 7 illustrent un premier exemple de mode de réalisation de l'invention. Les autres exemples de modes de réalisation ne seront décrits que dans leurs différences.

[0088] Dans ce premier exemple mode de réalisation, l'absorbeur 3 a été réalisé et expérimenté dans le cadre de recherches initialement destinées à réaliser un système de réduction active par haut parleur.

15 [0089] L'absorbeur 3 est réalisé sous la forme d'un cylindre de révolution délimitant une cavité 30 intérieure. Cette cavité 30 est entourée par une paroi cylindrique 39, elle est fermée en totalité par une paroi arrière 38 plane et de façon partielle par une paroi avant 37. Cette dernière est percée d'un orifice central débouchant dans une direction D3 axiale au cylindre de la cavité 30. Cet orifice présente une forme de cylindre de révolution au travers de l'épaisseur de la paroi avant 37, et forme ainsi un col 31 de longueur L31 et de section transversale A31.

20 [0090] Dans l'exemple ici décrit, la pastille utilisée est formée par la membrane en silicium d'un micro haut parleur électrodynamique réalisé en technologie MEMS (pour Micro Electro Mechanical Systems), tel que décrit dans la thèse de Iman Shahosseini, "Vers des micro-haut-parleurs à hautes performances électroacoustiques en technologie silicium", PhD thesis, Institut d'Electronique Fondamentale, 2012, ou dans I. Shahosseini et al., "Towards high fidelity high efficiency mems microspeakers", IEEE International conference on sensors, pp. 2426-2430, 2010.. Ces micro-HP électrodynamiques en silicium possèdent la particularité d'avoir une épaisseur inférieure au centimètre tout en ayant une fréquence de résonance comparable à celle d'un haut-parleur médium classique (500Hz), ce qui permet une bonne intégration dans un environnement de faible épaisseur, par exemple dans une paroi de moins de 50mm.

25 [0091] Comme illustré en FIGURE 4, la pastille 32 est formée par une partie intérieure découpée au sein d'une plaque 320 rigide. Cette découpe est réalisée selon un motif comprenant plusieurs découpes 330 qui entourent la pastille 32 sur sa quasi-totalité. Dans le présent exemple, plusieurs découpes 330 essentiellement linéaires (c'est à dire monodimensionnelles) sont réalisées à des positions angulaires distribuées de façon régulière autour du centre C32 de la pastille, ici en six découpes identiques. Chacune de ces découpes 330 couvre une portion angulaire du pourtour en s'écartant du centre 32 d'une distance déterminée, qui correspondra à la largeur des bras et à l'écart E31 entre le pourtour de la pastille 325 mobile et la paroi du col 31. Chacune de ces découpes s'étend partiellement le long ses voisines, vers l'intérieur dans une direction (ici dans le sens antihoraire) et vers l'extérieur dans l'autre direction (ici dans le sens horaire). Ainsi, entre chaque groupe de deux découpes côté à côté, la matière subsistant forme un bras se développant en spirale et s'étendant le long du pourtour de la pastille, sur une longueur L330 bien plus grande que l'écart E31 entre col et pastille. Il est ainsi possible d'obtenir des bras 331 (en gris sur la figure), d'une longueur importante et donc d'une raideur faible, malgré la rigidité du matériau de la plaque 320 initiale.

30 [0092] Dans le présent exemple, la plaque initiale 320 est réalisée en silicium d'une épaisseur totale de 20 $\mu$ m et des dimensions extérieures de 23mm x 28mm, par exemple du silicium monocristallin, par exemple obtenue à partir d'un substrat de type SOI. La pastille 32 découpée dans cette plaque présente un diamètre de 13mm, et les découpes 330 présentent une largeur de l'ordre de 20 $\mu$ m. A leurs deux extrémités, les découpes 330 s'élargissent en une forme circulaire (en noir en FIGURE 4 et FIGURE 5) permettant de limiter la fatigue du matériau et d'éviter les amorces de fissure.

35 [0093] Comme illustré en FIGURE 5, cette pastille porte en outre des raidisseurs 34, réalisés par des méthodes connues dans le domaine des MEMS, formés par des nervures dépassant de sa surface sur une certaine hauteur, ici 300 $\mu$ m. L'épaisseur totale de la pastille, du point de vue de sa rigidité, est ainsi de 320 $\mu$ m.

40 [0094] Dans le cadre de cette expérimentation, le haut parleur ainsi réalisé comprend en outre une série de pistes électriques déposées sur le pourtour de la pastille pour former une bobine électromagnétique (facultative) 324, et qui sont connectées à la partie fixe par deux des bras de suspension 331, d'épaisseur 20  $\mu$ m formés eux aussi par découpe de la plaque initiale 320.

45 [0095] Comme illustré en FIGURE 3, le système électromagnétique de ce haut parleur est complété par un aimant annulaire permanent 374, fixé à l'intérieur du col 31 pour interagir avec la bobine 324. Cet aimant est par exemple composé de 2 aimants annulaires néodyme-fer-bore dont la valeur de polarisation théorique est de 1,5T, comme décrit dans la thèse Shahosseini.

50 [0096] La FIGURE 6 est un schéma de principe qui illustre cet absorbeur 3, avec une suspension 33 non étanche et d'une raideur très faible (en traits arrondis en pointillés) pouvant être considérée comme négligeable par rapport à la raideur de la pastille 32 (et donc favorisant le mode piston), malgré le fait que la suspension et la pastille sont formées

par une même plaque initiale.

**[0097]** En mode passif, dans les essais réalisés et illustré en FIGURE 7, la pastille vibre en mode piston en se déplaçant entre des positions extrêmes 32a et 32b (lignes en pointillés en FIGURE 6). L'amplitude de ces déplacements correspond à un déplacement maximal de moins de 2mm à partir de la position d'équilibre (en trait plein), et la suspension permet un déplacement sans rupture allant jusqu'à environ 4mm.

**[0098]** Initialement, les expérimentations visaient à réaliser une réduction active en activant le haut parleur selon un pilotage électronique visant à atténuer des fréquences proches de la fréquence de résonance de Helmholtz de la cavité 30 sur laquelle il était monté. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de la thèse d'Alexandre Houdouin de l'IEF en 2014, non encore publiée. Pour éviter les courts-circuits acoustiques, comme il est naturel lorsque l'on cherche à optimiser l'efficacité d'un haut parleur, il était prévu de fermer l'écart E31 par un joint périphérique continu et étanche. Plusieurs types de joint avaient été envisagés, par exemple en latex coulé ou en un film de polyéthylène thermoformé.

**[0099]** Cependant, différents essais ont été réalisés aux différentes étapes de réalisation du système prévu, y compris avant de monter ce joint étanche.

**[0100]** Le tableau suivant présente les valeurs géométriques de la cavité 30 et du col 31, ainsi que les fréquences de résonances calculées et mesurées, pour les deux cavités testées et sans la pastille.

Paramètres	Petite cavité	Grande cavité	Unités
$R_{col}$	0,8	0,8	cm
$A_{col}$	2,0	2,0	cm <sup>2</sup>
$L_{col}$	1,6	2,0	cm
$V_{cavité}$	21	169	cm <sup>3</sup>
$f_{Helmholtz}$	1324	417	mm
$f_{mesurée}$	1310	420	mm

**[0101]** La FIGURE 7 montre ainsi les résultats d'absorption en mode purement passif, dans un essai réalisé au sein d'un tube de Kundt, avec la cavité seule (courbes en traits pleins) et avec le haut parleur non alimenté et sans son joint (courbes en traits pointillés).

**[0102]** Pour une "grande" cavité d'un volume de 169cm<sup>3</sup>, la courbe R1a montre le coefficient d'absorption obtenu avec la cavité seule, avec un maximum de l'ordre de 0,42 pour la fréquence mesurée de 420Hz. Or, pour cette même cavité, la courbe R3a montre que le coefficient d'absorption présente un maximum grandement augmenté qui monte jusqu'à 0,86, pour une fréquence décalée vers le bas à 316Hz.

**[0103]** De façon similaire pour une plus petite cavité de 21cm<sup>3</sup> (d'un diamètre de 30mm et une hauteur de 30mm), la courbe R1b montre le coefficient d'absorption obtenu avec la cavité seule, avec un maximum de l'ordre de 0,58 pour la fréquence de 1310Hz. Or, pour cette même cavité, la courbe R3b montre que le coefficient d'absorption présente un maximum augmenté qui monte jusqu'à 0,72, pour une fréquence cette fois grandement décalée vers le bas à environ 930Hz.

**[0104]** Par rapport à la configuration avec haut-parleur étanche, le calcul a montré que la suppression du joint réduit la raideur du système à une valeur de 5,8N/m au lieu de 819,7N/m, en plus d'impliquer la présence de fuites acoustiques.

**[0105]** Ainsi, de façon strictement passive, il s'avère que le montage d'une telle pastille sur le col d'une cavité de Helmholtz, si possible très rigide et montée très souple, et de préférence légère, permet d'obtenir pour une cavité donnée une amélioration de l'absorption ainsi qu'une diminution de la fréquence d'absorption.

**[0106]** En FIGURE 8 est illustré un schéma de principe d'un absorbeur selon un deuxième exemple de mode de réalisation de l'invention, décrit uniquement dans ses différences, qui présente la particularité d'avoir un col formant la continuité de la cavité. Une telle configuration, combinable avec les autres modes de réalisation ici présentés, permet de varier les possibilités de configuration et d'accord, et d'améliorer la compacité et/ou la facilité de fabrication du dispositif.

### Paroi acoustique

**[0107]** La FIGURE 9 illustre une paroi acoustique 5 selon un troisième exemple de mode de réalisation de l'invention, comprenant une pluralité d'absorbeurs 3, par exemple celui de la FIGURE 4. Cette paroi est formée par une plaque 500 présentant une structure périodique en nid d'abeille dont les logements sont parallèles à la direction d'entrée D3 de ses absorbeurs 3. Cette plaque 500 est fermée de façon étanche sur sa face arrière par une couche étanche 58, par exemple une couche de composite ou une tôle ou feuille collée.

**[0108]** Cette architecture périodique en nid d'abeille permet par exemple de réaliser une paroi acoustique comprenant une très grande densité surfacique d'absorbeurs tout en limitant l'épaisseur de l'ensemble, quitte à utiliser un nid d'abeille

avec des logements de grandes dimensions transversalement à la direction d'entrée pour obtenir un volume de cavité conséquent en gardant une faible épaisseur globale, par exemple de moins de 100mm voire moins de 50mm.

**[0109]** Sur sa face avant, cette plaque nid d'abeille 500 est recouverte de deux couches 511 et 513, qui sont perforées pour former un col 31 de longueur L31 et d'aire A31 pour chacun des logements 30 du nid d'abeille. Ces deux couches perforées 511, 513 enserrent entre elles une plaque ou tôle 812 qui est découpée pour former les pastilles 32 de chaque absorbeur 3 et leurs suspensions 33, par exemple selon des motifs 330 comme décrit en FIGURE 4 ou similaires.

**[0110]** Une telle architecture peut être réalisée par exemple avec une feuille 512 d'acier, ou d'aluminium, ou d'alliage de titane, ce qui permet une réalisation industrielle beaucoup plus économique et rapide qu'avec les technologies MEMS de la FIGURE 3, et plus adaptée à des applications industrielles de grande taille et/ou de grande série, par exemple pour des réacteurs d'avions ou des insonorisations de machines.

**[0111]** Les FIGURE 10a et b illustrent un absorbeur 6, selon un quatrième exemple de mode de réalisation de l'invention, en variante au sein d'une paroi acoustique 500 en nid d'abeille similaire à celle de la FIGURE 9, et qui ne sera décrite que dans ses différences.

**[0112]** Dans cet exemple, le col 61 est formé essentiellement par l'épaisseur d'une couche 612 perforée, appliquée sur la face avant du nid d'abeille. Autour du col et sur chaque face de cette couche épaisse 612, des avancées 6140 s'étendent vers l'intérieur du col 61 et dépassent au dessus de la pastille 62. Ces avancées sont réparties, suffisamment nombreuses et/ou sur des secteurs angulaires suffisamment étendus, pour maintenir la pastille 62 à l'intérieur du col 61 quels que soient les sollicitations qu'elle subit et la position dans laquelle l'absorbeur se trouve par rapport à la force de gravité.

**[0113]** A l'intérieur du col, la pastille est ainsi totalement libre de se déplacer selon la direction d'entrée A3, et peut être considérée comme étant suspendue par une liaison de raideur nulle, ce qui permet d'obtenir des performances pouvant être intéressantes dans de nombreux cas.

**[0114]** Dans le présent exemple, ces avancées de maintien 6140 et 6110 sont formées par une couche extérieure 614 plaquée sur la face extérieure de la couche épaisse 613, et par une couche intérieure 611 plaquée sur sa face intérieure. Chacune de ces couches de maintien 611, 640 est par exemple mise en place puis découpée pour former ces avancées, ou par exemple formée par dépôt selon un motif respectant le tracé du col et des avancées.

**[0115]** Comme illustré en FIGURE 10a, la pastille est par exemple réalisée à partir d'une tôle 612 enserrée entre deux couches de la face avant, et qui est découpée pour former chaque pastille. Cette tôle de base 612 est ici représentée entre la couche intérieure de maintien 611 et la couche épaisse 612, mais pourrait aussi être placée du côté extérieur ou entre deux couches épaisses.

**[0116]** Les FIGURE 11a et FIGURE 11b illustrent un absorbeur 7, d'une paroi acoustique en nid d'abeille, selon deux variantes d'un cinquième exemple de mode de réalisation de l'invention, variante au sein d'une paroi acoustique 500 en nid d'abeille similaire à celle de la FIGURE 10, et qui ne sera décrite que dans ses différences.

**[0117]** Dans cet exemple, la pastille 72, 72' est aussi à déplacement libre et retenue par des couches externes 711 et 713, qui dépassent de la couche épaisse 712 au dessus du col 71. Cette pastille présente ici une épaisseur significative selon la direction d'entrée D3, suffisamment pour éviter l'arc-boutement, et une périphérie qui épouse les parois du col 71 de façon à lui permettre d'y être guidée lors de ses déplacements, tout en laissant une section de fuite pour réaliser l'amortisseur selon l'invention.

**[0118]** Dans la FIGURE 11a, la section de fuite se fait par le pourtour extérieur de la pastille, comme indiqué par les flèches f72.

**[0119]** Dans la FIGURE 11b, la pastille 72' est entourée par une surface de glissement 721, formant un palier linéaire qui guide son déplacement. Cette surface est par exemple réalisée selon un ajustement "libre" ou "glissant", c'est-à-dire juste assez libre pour permettre la mobilité. Un tel ajustement est par exemple de type H7g6 à H11d11 selon le système ISO pour des pièces métalliques ou plastiques, ou avec un jeu de moins de 0,5mm voire moins de 0,2mm ou 0,1mm pour des fabrications moins précises ou des matériaux composites. Un tel guidage ajusté peut être assimilé à une étanchéité, et peut donc être qualifié de "joint glissant". Ce joint glissant est réalisé par exemple par un habillage classique tel que du bronze, ou du silicone ou du PTFE ; à sec ou avec un film liquide de lubrifiant, ou encore par un film de ferrofluide. Dans une telle situation d'étanchéité périphérique, la pastille elle-même présente un ou plusieurs orifices traversants 731 pratiqués dans le matériau de la pastille qui forment alors une section de fuite f72'.

**[0120]** Il est ainsi possible de réaliser une pastille plus rigide, et/ou avec un écart périphérique très faible sans risque de coincement, plus facilement qu'avec qu'une pastille bidimensionnelle comme celle de la FIGURE 10 ou avec des contraintes différentes.

**[0121]** En FIGURE 11a, la pastille présente un volume fermé sur toute son épaisseur. En FIGURE 11b, ses deux surfaces extrêmes épousent la paroi du col, mais sont reliées entre elles par une partie de plus faible section. De telles variantes permettent plus de souplesse dans la conception en jouant sur les différents paramètres, par exemple la surface de frottement contre le col, la masse de la pastille, et/ou sa rigidité globale.

**[0122]** La FIGURE 13 illustre un septième exemple de mode de réalisation, qui ne sera décrit que dans ses différences. Dans ce mode de réalisation, la pastille rigide présente en outre une ou plusieurs ouvertures traversantes 330a dans

sa partie intérieure voire centrale.

[0123] Dans la demi-vue de gauche (FIGURE 13a), ces ouvertures intérieures 330a forment ainsi une section de fuite qui vient s'ajouter à celle 330 produite autour des bras 31 de la suspension non étanche, laquelle est par exemple similaire à celle de la FIGURE 4.

[0124] Dans la demi-vue de droite (FIGURE 13b), la suspension est d'un type étanche, par exemple formée par un soufflet annulaire réalisé en une feuille métallique ou un film en matière plastique ou en polymère, par exemple un haut parleur de type Visaton K16, dont la membrane forme la pastille, avec son joint d'étanchéité 33a en polymère thermoformé formant suspension. Les ouvertures intérieures 330a forment alors la seule section de fuite.

[0125] La FIGURE 14 illustre un huitième exemple de mode de réalisation, qui ne sera décrit que dans ses différences.

[0126] Dans ce mode, la pastille 92 comprend aussi, voire exclusivement, des ouvertures de fuites 930a situées à l'intérieur de la pastille (c'est à dire de la partie rigide).

[0127] Dans la demi-vue de gauche, la pastille 9b est formée par une couche 921 d'un matériau souple et élastique, par exemple une feuille métallique ou un élastomère, ici d'épaisseur constante. Cet élastomère est par exemple un PDMS, ou polydiméthylsiloxane, un matériau polymère formé à partir d'un réticulant et d'un prépolymère, en particulier avec un ratio réticulant:prépolymère de 1:10 pour lequel il est particulièrement souple.

[0128] La pastille est fixée à la paroi avant 37 par une partie annulaire 931a formée en soufflet présentant des parties ajourées 930a, qui réalise une suspension non étanche. A l'intérieur de la suspension 931a, la pastille 92a présente un épaissement fournissant une rigidité accrue dans une région annulaire 922a entourant les ouvertures intérieures 930a. Cette surépaisseur 922a est ici réalisée en un matériau différent et de préférence rigide, par exemple un surmoulage ou une résine polymérisée. Cette surépaisseur, par exemple dans son matériau et/ou ses dimensions, fournit une rigidité et une masse supplémentaire localisées qui jouent sur les caractéristiques de l'équipage mobile pour obtenir un déplacement en mode piston à la fréquence d'absorption recherchée.

[0129] Dans la variante de la demi-vue de droite, décrite uniquement dans ses différences, la pastille 92b est formée par une couche 921b dont l'épaisseur est croissante vers l'intérieur, au moins voire exclusivement dans la surépaisseur annulaire 922b. Dans cette variante, et de façon interchangeable avec la variante de gauche, la suspension 931b est présentée en version étanche.

[0130] Dans ces deux variantes, la partie intérieure présente une certaine élasticité mais est moins sollicitée par les frottements de l'air puisqu'elle porte les ouvertures réalisant la section de fuite.

[0131] Le déplacement en mode "piston" est obtenu par une raideur et/ou une masse plus grande dans la partie qui entoure la suspension, par rapport à la raideur de la suspension elle-même, et/ou par le fait que les ouvertures centrales 930a dans la partie centrale laissent passer l'air et subissent un effort moindre de la part de l'onde acoustique.

[0132] En FIGURE 15 est illustré le fonctionnement en mode "piston" tel qu'il est entendu dans la présente, comparé avec un fonctionnement avec un mode "tambour".

[0133] En FIGURE 15a, une membrane ou une plaque 12 est fixée à l'intérieur d'un orifice dans une paroi rigide 17. Cette plaque 12 vibre en mode "tambour" lorsque son centre se déplace selon la flèche mT beaucoup plus que son pourtour 123, se déformant ainsi d'une distance  $d_t$ .

[0134] En FIGURE 15b, une plaque ou une pastille 32 est fixée à l'intérieur d'un orifice dans une paroi rigide 37 par une suspension 33. Cette pastille 32 vibre en mode "piston" lorsque son centre se déplace selon la flèche mP quasiment autant que plus que son pourtour 323, par exemple parce que la suspension présente une raideur très faible par rapport à celle de la pastille. Pour la partie centrale 32, on pourra considérer qu'elle forme une pastille se déplaçant en mode "piston" dès lors que l'ensemble de son déplacement  $d_p$  est beaucoup plus grand que sa déformation  $d_t$ , soit quand :  $d_p >> d_t$ .

[0135] Dans le cadre de la présente, on peut considérer que cette condition elle remplit lorsque ces deux valeurs diffèrent d'un facteur au moins cinq et de préférence 10, voire 50 ou 100.

#### Variante d'absorbeur à structure de haut parleur

[0136] La FIGURE 12 illustre un absorbeur un sixième exemple de mode de réalisation de l'invention.

[0137] Cet absorbeur 8 utilise une structure classique de haut parleur électrodynamique, ici d'un type à membrane conique 82 et bobine mobile 824 monté sur un châssis ajouré 85 classique portant un aimant permanent 874. Cette structure est montée sur une face avant 87, et enfermée dans une cavité 80 délimitée par des parois 88 et 89.

[0138] La membrane 82 est reliée à la face avant 87 par un joint périphérique 83 souple d'un type classique. Cependant, contrairement à ce qui se pratique systématiquement et à que l'on recherche naturellement pour un haut parleur d'émission sonore, par exemple de paroles ou de musique, ce joint 83 est ici ajouré par des découpes 830 (représentées par un rectangle en pointillés), pratiquées lors de la fabrication ou postérieurement. De façon similaire et selon les configurations, le joint et/ou la membrane 82 et/ou "spider" 84 qui relie le sommet du cône 82 au châssis 85 peut aussi être ajouré par des découpes 840. Alternativement ou en combinaison, de façon non représentée ici, la membrane comprend elle-même des parties ajourées formant tout ou partie des sections de fuite.

[0139] Un tel absorbeur est ici représenté dans une version incluant le système électromagnétique 824, 874 d'activation. Cette version peut être utilisée de façon passive, en ne connectant pas la bobine ou en la déconnectant à la commande. Elle peut aussi être utilisée de façon hybride en activant le haut parleur pour réaliser une absorption active en plus de la résonance de Helmholtz modifiée. Elle peut aussi être réalisée de façon multi-rôles, par exemple pour réaliser une absorption (active ou passive) à certains moments et servir de sonorisation classique à d'autres moments.

[0140] En version passive pure, l'absorbeur peut aussi être réalisé avec une structure de haut parleur réalisée de façon incomplète, c'est à dire par exemple avec la même structure mécanique mais sans le système électromagnétique.

[0141] Une telle architecture peut être particulièrement intéressante pour des grandes salles, et/ou des parois de grandes tailles, dans lesquelles l'intégration et l'épaisseur sont des contraintes moins importantes. Elle peut permettre de placer un ou plusieurs absorbeurs dans des emplacements précis de la paroi ou de la salle, possiblement dans des versions de tailles et de fréquences différentes, et en nombre variable à la demande en fonction des besoins.

[0142] En version complète avec son moteur électrodynamique, cet absorbeur peut être utilisé aussi en fonctionnement actif, à adaptation d'impédance acoustique et/ou en réduction active.

[0143] En FIGURE 16 est illustré le haut-parleur de type MEMs représenté en FIGURE 5, installé avec son moteur électrodynamique 374, 324 dans le col 31 de l'absorbeur de la FIGURE 3, par exemple pour une utilisation en fonctionnement actif, à adaptation d'impédance acoustique et/ou en réduction active.

[0144] Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention, comme défini dans les revendications suivantes.

## Revendications

1. Dispositif (3, 4, 6, 7, 8) d'absorbeur acoustique, notamment passif, comprenant une enceinte (37, 38, 39, 87, 88, 89) délimitant une cavité (30, 80) débouchant vers l'extérieur dans une direction d'entrée (D3) par au moins un orifice traversant une paroi avant (37) d'une épaisseur déterminée, formant ainsi un col (31, 41, 61, 71, 81) présentant une surface d'ouverture (A31) déterminée et une longueur (L31) déterminée, les dimensions de ladite enceinte et dudit col étant déterminées pour former ensemble un résonateur de Helmholtz pour une première fréquence ou plage de fréquences, dite fréquence naturelle, **caractérisé en ce qu'il comprend au moins un élément mobile, ou pastille (32, 42, 62, 72a, 72b, 92a, 92b), suspendu à ladite enceinte par une ou plusieurs liaisons mécaniques, ou suspensions (33, 43, 6140, 83, 931a, 931b), dans une position obstruant partiellement ledit au moins un col, c'est-à-dire de façon non étanche sur tout ou partie de sa course ; et en ce que la raideur des suspensions et la raideur de la pastille sont déterminées dans leur combinaison, notamment dans leur ratio, pour que ladite pastille vibre selon un mode de résonance de type "piston" selon la direction de l'onde incidente (D3), à une deuxième fréquence ou plage de fréquences différente de la première fréquence, et notamment inférieure, réalisant ainsi une absorption pour cette deuxième fréquence ou plage de fréquences.**
2. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la pastille (32, 42, 62, 72a, 72b, 92a, 92b) est réalisée dans un ou plusieurs matériaux choisis parmi le silicium, le quartz, l'alumine, le titane et ses alliages, l'acier, l'aluminium et ses alliages, les matières plastiques et notamment les polymères.
3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les suspensions (33, 43, 6140, 83, 931a, 931b) sont réalisées en un matériau et selon une géométrie fournissant un comportement élastique, avec une raideur pour le déplacement de la pastille dans sa périphérie de moins de 6N/m, et notamment de moins de 2N/m pour une pastille d'un diamètre moyen entre 10mm et 20mm.
4. Dispositif (3) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les suspensions (33) comprennent des bras (331) allongés reliant la pastille (32) à l'enceinte (37) selon une forme s'étendant autour de ladite pastille parallèlement au bord du col (31) et/ou de la pastille (32).
5. Dispositif (3) selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la pastille (32) est formée au sein d'une tôle (320, 512, 612) ou d'une feuille solidaire de l'enceinte (37), par une partie rendue mobile vis-à-vis de ladite enceinte au moyen d'une ou plusieurs découpes (330) effectuées dans ladite tôle ou feuille de façon à former des bras de suspension (331).
6. Dispositif (6, 7) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la pastille (62, 72a, 72b) est maintenue dans le col par une ou plusieurs avancées dépassant du col à ses deux extrémités pour s'étendre devant la périphérie de la pastille de façon à former une butée empêchant ladite pastille de s'échapper du col.

7. Dispositif (7) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la pastille (72a, 72b) présente une périphérie qui épouse la surface intérieure du col avec un écart déterminé sur une longueur déterminée suffisante, en combinaison avec ledit écart et avec la nature des matériaux du col et de la pastille, pour permettre à ladite pastille de se déplacer (D3) le long du col sans provoquer de blocage par inclinaison et arc-boutement.
- 5
8. Dispositif (8) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la pastille est formée par une membrane (82) de haut parleur fixée à un châssis extérieur (87, 85) par un joint souple périphérique (83, 84), et **en ce que** ledit joint présente une ou plusieurs découpes (830, 840) entourant ladite membrane sur au moins 20% de sa périphérie, et notamment au moins 40%.
- 10
9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la pastille (32, 82) interagit en outre avec l'enceinte par un système électromagnétique (324, 374, 824, 874) pour former la membrane d'un haut-parleur, et **en ce que** ledit système électromagnétique est commandé par un circuit électronique :
- 15
- de façon à réaliser une absorption acoustique active, et/ou
  - de façon à modifier l'impédance acoustique dudit haut-parleur afin de renforcer l'absorption, ou de décaler la fréquence d'absorption, ou d'élargir la plage de fréquence d'absorption, ou une combinaison de ces effets.
10. Paroi (5) d'absorption acoustique comprenant une pluralité de dispositifs (3, 4, 6, 7, 8) selon l'une quelconque des revendications précédentes juxtaposés au sein d'un ensemble bidimensionnel continu pour réaliser une absorption acoustique dans une même direction (D3).
- 20
11. Paroi selon la revendication précédente, **caractérisée en ce qu'elle comprend** une plaque (500) présentant une structure en nid d'abeille dont les logements forment une pluralité de cavités (30) qui sont fermées (58) sur une face dite arrière,
- 25
- et dont les cavités sont recouvertes sur une face avant par une ou plusieurs parois (511, 512, 513, 611, 612, 613, 614) découpées de façon à former une pluralité de cols (31, 41, 71) recevant chacun une pastille (32, 62, 72a, 72b).
12. Procédé d'industrialisation d'un absorbeur acoustique selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, destiné à absorber une fréquence visée, **caractérisé en ce qu'il comprend** :
- 30
- une étape de détermination de dimensions d'une cavité (30, 80) munie d'un col (31, 41, 61, 71, 81) de façon à ce que ladite cavité et ledit col forment une cavité de Helmholtz présentant une première fréquence de résonance de Helmholtz plus élevée que la fréquence visée, et
  - une étape de détermination de caractéristiques d'une pastille suspendue adaptée pour être disposée dans le col de ladite cavité de façon à produire un absorbeur accordé sur une deuxième fréquence correspondant à ladite fréquence visée.
13. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la pastille suspendue est déterminée de façon à ce que la suspension de l'absorbeur présente son premier mode propre de déformation à une fréquence inférieure à la deuxième fréquence.
- 40
14. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la pastille de l'absorbeur acoustique est déterminée de façon à présenter, lorsqu'elle est libre, son premier mode propre de déformation à une fréquence supérieure à la deuxième fréquence.
- 45
15. Procédé de fabrication d'un absorbeur (3) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 ou d'une paroi (5) selon l'une quelconque des revendications 10 à 11, **caractérisé en ce qu'il comprend** au moins une étape de découpe (330) d'une tôle ou plaque ou feuille (320, 512, 612) de façon à former une ou des pastilles (32, 62) d'absorbeur acoustique.
- 50
16. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la tôle ou plaque ou feuille (320, 512, 612) est fixée à la surface d'une plaque (500) présentant une structure en nid d'abeille, et **en ce que** l'étape de découpe (330) produit une pluralité de pastilles distribuées par rapport aux logements de la structure en nid d'abeille de façon à former la pluralité de pastille (32, 62) d'une paroi acoustique (5) selon la revendication 11.
- 55

## Patentansprüche

1. Akustische Absorbervorrichtung (3, 4, 6, 7, 8), insbesondere passiv, umfassend ein Gehäuse (37, 38, 39, 39, 39, 87, 88, 89), das einen Hohlraum (30, 80) begrenzt, der sich in einer Eintrittsrichtung (D3) nach außen öffnet, durch mindestens eine Öffnung, die durch eine Vorderwand (37) einer bestimmten Dicke verläuft, wodurch ein Hals (31, 41, 61, 71, 81) mit einer bestimmten Öffnungsfläche (A31) und einer bestimmten Länge (L31) gebildet wird, wobei die Abmessungen des Gehäuses und des Halses bestimmt sind, um gemeinsam einen Helmholtz-Resonator für eine erste Frequenz oder einen ersten Frequenzbereich zu bilden, die sogenannte Eigenfrequenz, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens ein bewegliches Element, oder ein Wafer (32, 42, 62, 72a, 72b, 92a, 92b), umfasst ist, das an dem Gehäuse durch eine oder mehrere mechanische Verbindungen oder Aufhängungen (33, 43, 6140, 83, 931a, 931b) in einer Position, die den mindestens einen Hals teilweise blockiert, aufgehängt ist, d.h. nicht über den gesamten oder einen Teil seines Weges abdichtet; und dass die Aufhängungssteifigkeit und die Steifigkeit des Wafers in ihrer Kombination, insbesondere in ihrem Verhältnis, bestimmt werden, so dass der Wafer in einem kolbenartigen Resonanzmodus entsprechend der Richtung der einfallenden Welle (D3) bei einer zweiten Frequenz oder einem zweiten Frequenzbereich, der sich von der ersten Frequenz unterscheidet, und insbesondere niedriger, ist, schwingt, wodurch eine Absorption für diese zweite Frequenz oder den zweiten Frequenzbereich erreicht wird.
2. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wafer (32, 42, 62, 72a, 72b, 92a, 92b) aus einem oder mehreren Materialien hergestellt ist, ausgewählt aus Silizium, Quarz, Aluminiumoxid, Titan und seinen Legierungen, Stahl, Aluminium und seinen Legierungen, Kunststoffen und insbesondere Polymeren.
3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aufhängungen (33, 43, 6140, 83, 931a, 931b) aus einem Material und unter Verwendung einer Geometrie hergestellt sind, um ein elastisches Verhalten mit einer Steifigkeit für die Bewegung des Wafers in seinem Umfang von weniger als 6N/m und insbesondere von weniger als 2N/m für einen Wafer mit einem durchschnittlichen Durchmesser zwischen 10mm und 20mm zur Verfügung zu stellen.
4. Vorrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aufhängungen (33) längliche Arme (331) umfassen, die den Wafer (32) mit dem Gehäuse (37) in einer Form verbinden, die sich parallel zum Rand des Halses (31) und/oder des Wafers (32) um den Wafer erstreckt.
5. Vorrichtung (3) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wafer (32) innerhalb eines Blech (320, 512, 612) oder eines mit dem Gehäuse (37) integralen Blechs durch einen Teil hergestellt ist, der in Bezug auf das Gehäuse mittels eines oder mehrerer Ausschnitte (330), die in dem Blech oder der Folie hergestellt sind, beweglich gemacht wird, um Aufhängearme (331) zu bilden.
6. Vorrichtung (6, 7) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wafer (62, 72a, 72b) im Hals durch einen oder mehrere Vorschübe gehalten wird, die an beiden Enden aus dem Hals herausragen, um sich vor dem Umfang des Wafers zu erstrecken, um so einen Anschlag zu bilden, der verhindert, dass der Wafer aus dem Hals entweicht.
7. Vorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wafer (72a, 72b) einen Umfang aufweist, der der Innenfläche des Halses mit einer bestimmten Abweichung über eine ausreichend bestimmte Länge entspricht, in Kombination mit der Abweichung und der Art der Materialien des Halses und des Wafers, um es dem Wafer zu ermöglichen, sich entlang des Halses zu bewegen (D3), ohne seine Blockierung durch Kippen und Wölben zu verursachen.
8. Vorrichtung (8) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wafer durch eine Membran (82) eines Lautsprechers gebildet ist, die an einem äußeren Rahmen (87, 85) durch eine flexible Umfangsdichtung (83, 84) befestigt ist, und dass die Dichtung einen oder mehrere Aussparungen (830, 840) aufweist, die die Membran über mindestens 20% seines Umfangs und insbesondere mindestens 40% umgeben.
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wafer (32, 82) ferner mit dem Gehäuse durch ein elektromagnetisches System (324, 374, 824, 874) zusammenwirkt, um die Membran eines Lautsprechers zu bilden, und dass das elektromagnetische System durch eine elektronische Schaltung gesteuert wird:

- um eine aktive Schallabsorption zu erreichen, und/oder
- um die akustische Impedanz des Lautsprechers zu modifizieren, um die Absorption zu verbessern, die Absorptionsfrequenz zu verschieben, den Absorptionsfrequenzbereich zu erweitern oder eine Kombination dieser Effekte.

5

**10.** Schallabsorbierende Wand (5), umfassend eine Vielzahl von Vorrichtungen (3, 4, 6, 7, 8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die innerhalb einer kontinuierlichen zweidimensionalen Anordnung nebeneinander angeordnet sind, um eine Schallabsorption in einer gemeinsamen Richtung (D3) bereitzustellen.

10

**11.** Wand nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine Platte (500) mit einer Wabenstruktur umfasst, deren Höhlungen eine Vielzahl von Hohlräumen (30) bilden, die auf einer sogenannten Rückseite geschlossen (58) sind, und deren Hohlräume auf einer Vorderseite durch eine oder mehrere Wände (511, 512, 513, 611, 612, 613, 614) abgedeckt sind, die zu einer Vielzahl von Hälsen (31, 41, 71) geschnitten sind, die jeweils einen Wafer (32, 62, 72a, 72b) aufnehmen.

15

**12.** Verfahren zur Herstellung eines Schallabsorbers nach einem der Ansprüche 1 bis 9, der eine Zielfrequenz absorbieren soll, **dadurch gekennzeichnet, dass** es umfasst:

20

- einen Schritt zum Bestimmen der Abmessungen eines Hohlräums (30, 80), der mit einem Hals (31, 41, 61, 71, 81) versehen ist, so dass der Hohlräum und der Hals einen Helmholtz-Hohlräum mit einer Helmholtz-Resonanz der ersten Frequenz bilden, die höher als die Zielfrequenz ist, und
- einen Schritt zum Bestimmen der Eigenschaften eines hängenden Wafers, der geeignet ist, im Hals des Hohlräums angeordnet zu werden, um einen Absorber zu erzeugen, der auf eine zweite Frequenz abgestimmt ist, die der Zielfrequenz entspricht.

25

**13.** Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der hängende Wafer so bestimmt wird, dass die Aufhängung des Absorbers seinen ersten normalen Verformungsmodus bei einer Frequenz unterhalb der zweiten Frequenz aufweist.

30

**14.** Verfahren nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wafer des Schallabsorbers so bestimmt wird, dass er, wenn er frei ist, seinen ersten normalen Verformungsmodus bei einer Frequenz aufweist, die höher als die zweite Frequenz ist.

35

**15.** Verfahren zur Herstellung eines Absorbers (3) nach einem der Ansprüche 1 bis 6 oder einer Wand (5) nach einem der Ansprüche 10 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** es mindestens einen Schritt zum Ausschneiden (330) eines Blechs oder einer Platte oder einer Folie (320, 512, 612) umfasst, um eine oder mehrere Wafers (32, 62) des Schallabsorbers zu bilden.

40

**16.** Verfahren nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Blech oder die Platte oder die Folie (320, 512, 612) an der Oberfläche einer Platte (500) mit einer Wabenstruktur befestigt wird, und dass der Ausschnitt (330) eine Vielzahl von Wafers erzeugt, die in Bezug auf die Höhlungen der Wabenstruktur verteilt sind, um die Vielzahl von Wafers (32, 62) einer akustischen Wand (5) nach Anspruch 11 zu bilden.

45

## Claims

- 1.** Acoustic absorber device (3, 4, 6, 7, 8), notably passive absorber, comprising an enclosure (37, 38, 39, 87, 88, 89) delimiting a cavity (30, 80) opening outwardly into an inlet direction (D3) through at least one orifice passing through a front wall (37) of a determined thickness, thereby forming a neck (31, 41, 61, 71, 81) having a determined opening surface (A31) and a determined length (L31), the dimensions of said enclosure and said neck being determined together to form a Helmholtz resonator for a first frequency or frequency range, called natural frequency, **characterised in that** it comprises at least one mobile element, called wafer (32, 42, 62, 72a, 72b, 92a, 92b), suspended to said enclosure by one or more mechanical connections, or suspensions (33, 43, 6140, 83, 931a, 931b), in a position partially obstructing said at least one neck, i.e. unsealed on all or part of its stroke; and **in that** the stiffness of the suspensions and the stiffness of the wafer are determined in their combination, particularly in their ratio, so that said wafer vibrates in a "piston" type resonance mode along the direction of the incident wave (D3), at a second frequency or frequency

range different from the first frequency, particularly lower, thereby achieving absorption for this second frequency or frequency range.

2. Device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the wafer (32, 42, 62, 72a, 72b, 92a, 92b) is made of one or more materials chosen from silicon, quartz, alumina, titanium and its alloys, steel, aluminium and its alloys, plastics and notably polymers.
3. Device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the suspensions (33, 43, 6140, 83, 931a, 931b) are made of a material and using a geometry providing an elastic behaviour, with stiffness for the movement of the wafer in its periphery of less than 6N/m, and in particular of less than 2N/m for a wafer of average diameter between 10mm and 20mm.
4. Device (3) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the suspensions (33) comprise elongated arms (331) connecting the wafer (32) to the enclosure (37) in a shape extending around said wafer parallel to the edge of the neck (31) and/or the wafer (32).
5. Device (3) according to claim 4, **characterised in that** the wafer (32) is made within a plate (320, 512, 612) or a sheet integral with the enclosure (37), by a part rendered mobile with respect to said enclosure by means of one or more cutouts (330) made in said plate or sheet so as to form suspension arms (331).
6. Device (6, 7) according to any one of claims 1 to 3, **characterised in that** the wafer (62, 72a, 72b) is held in the neck by one or more advances protruding from the neck at both ends to extend in front of the periphery of the wafer so as to form a stop preventing said wafer from escaping from the neck.
7. Device (7) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the wafer (72a, 72b) has a periphery which conforms to the inner surface of the neck with a determined deviation over a sufficiently determined length, in combination with said deviation and with the nature of the materials of the neck and the wafer, to allow said wafer to move (D3) along the neck without causing its blocking by tilting and arching.
8. Device (8) according to any one of claims 1 to 3, **characterised in that** the wafer is formed by a diaphragm (82) of speaker fixed to an outer frame (87, 85) by a flexible peripheral seal (83, 84), and **in that** said seal has one or more cutouts (830, 840) surrounding said wafer over at least 20% of its periphery, and in particular at least 40%.
9. Device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the wafer (32, 82) further interacts with the enclosure by an electromagnetic system (324, 374, 824, 874) so as to form the membrane of a loudspeaker, and **in that** said electromagnetic system is controlled by an electronic circuit:
  - in order to achieve active acoustic absorption, and/or
  - so as to modify the acoustic impedance of said loudspeaker to enhance absorption, shift the absorption frequency, widen the absorption frequency range, or a combination of these effects.
10. Sound absorbing wall (5) comprising a multitude of devices (3, 4, 6, 7, 8) according to any one of the preceding claims juxtaposed within a continuous two-dimensional array to provide acoustic absorption in a common direction (D3).
11. Wall according to the preceding claim, **characterised in that** it comprises a plate (500) with a honeycomb structure whose housings form a multitude of cavities (30) which are closed (58) on a so-called rear side, and whose cavities are covered on one front side by one or more walls (511, 512, 513, 611, 612, 613, 614) cut to form a multitude of necks (31, 41, 71) each receiving a wafer (32, 62, 72a, 72b).
12. Process for the industrialisation of an acoustic absorber according to any one of Claims 1 to 9, intended to absorb a target frequency, **characterised in that** it comprises:
  - a step of determining dimensions of a cavity (30, 80) provided with a neck (31, 41, 61, 71, 81) so that said cavity and said neck form a Helmholtz cavity having a first frequency Helmholtz resonance higher than the target frequency, and
  - a step of determining characteristics of a suspended wafer adapted to be arranged in the neck of said cavity so as to produce an absorber tuned to a second frequency corresponding to said target frequency.

13. Method according to the preceding claim, wherein the suspended wafer is determined so that the suspension of the absorber has its first normal mode of deformation at a frequency lower than the second frequency.

5 14. Method according to the preceding claim, **characterized in that** the wafer of the acoustic absorber is determined so as to have, when it is free, its first normal mode of deformation at a frequency higher than the second frequency.

15. A method of manufacturing an absorber (3) according to any one of claims 1 to 6 or a wall (5) according to any one of claims 10 to 11, **characterised in that** it comprises at least one step of cutting out (330) a sheet or plate (320, 512, 612) so as to form one or more acoustic absorber wafers (32, 62).

10 16. Method according to the preceding claim, **characterised in that** the plate or sheet (320, 512, 612) is fixed to the surface of a plate (500) having a honeycomb structure, and **in that** the cutting out step (330) produces a plurality of wafers distributed with respect to the housings of the honeycomb structure so as to form the plurality of wafer (32, 62) of an acoustic wall (5) according to claim 11.

15

20

25

30

35

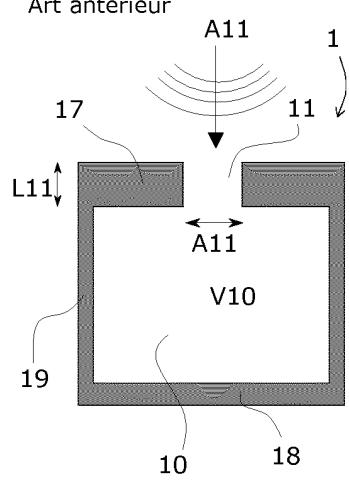
40

45

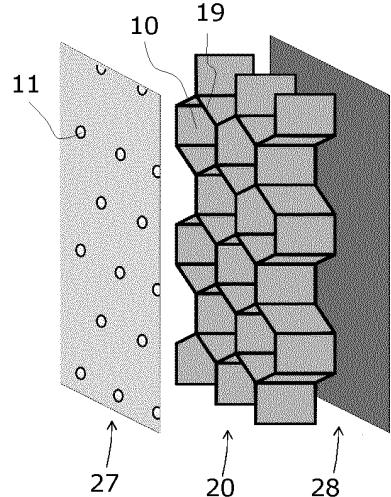
50

55

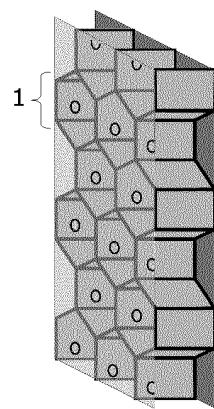
**Fig. 1**  
Art antérieur



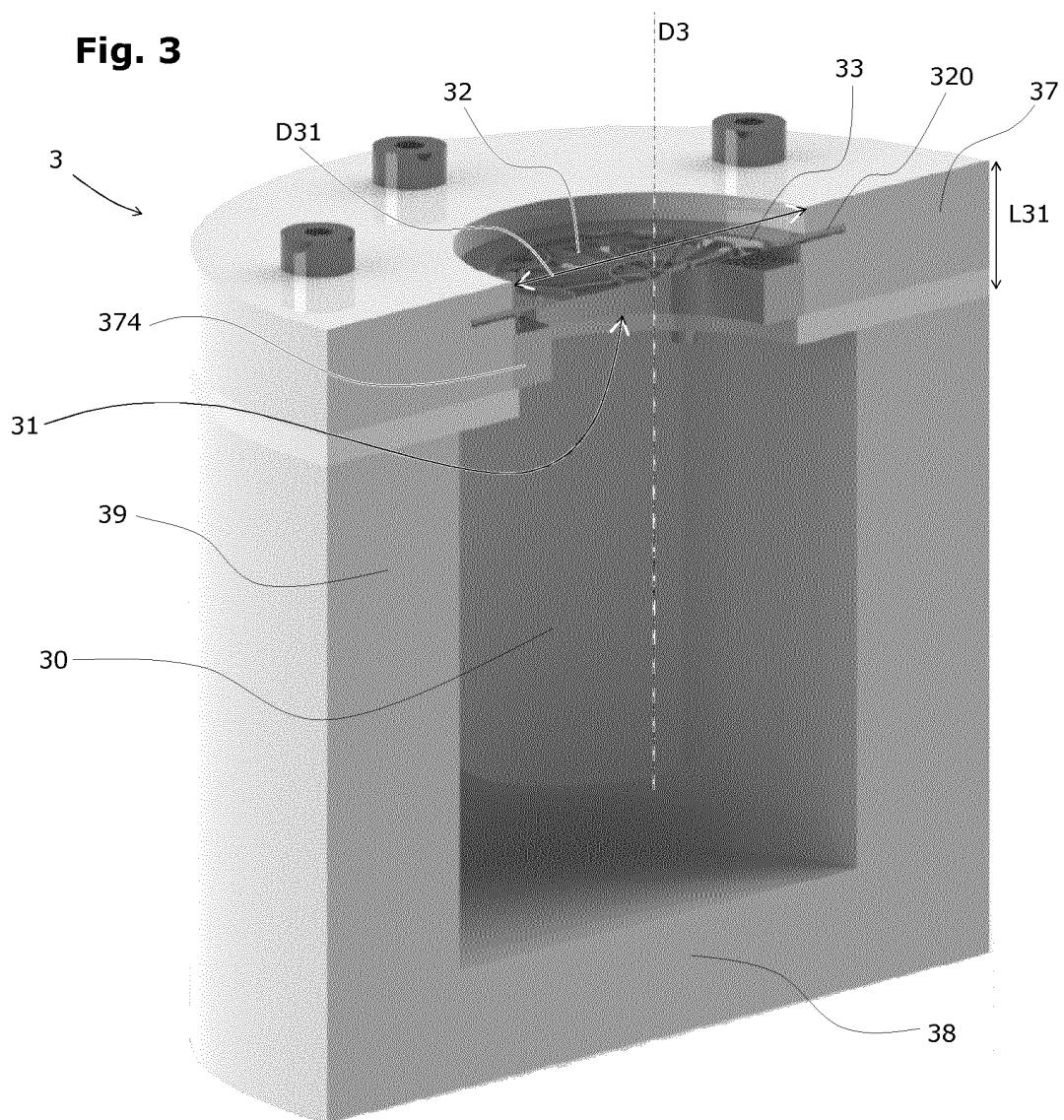
**Fig. 2a**  
Art antérieur

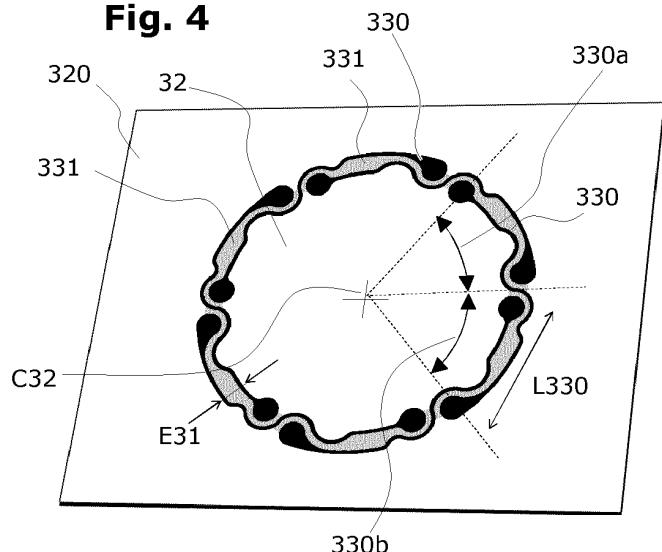
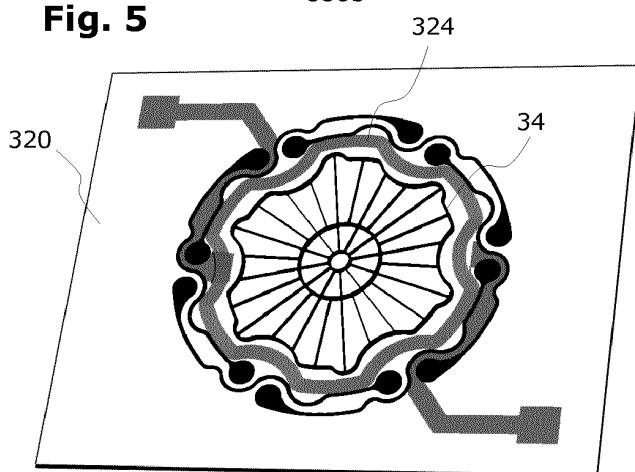
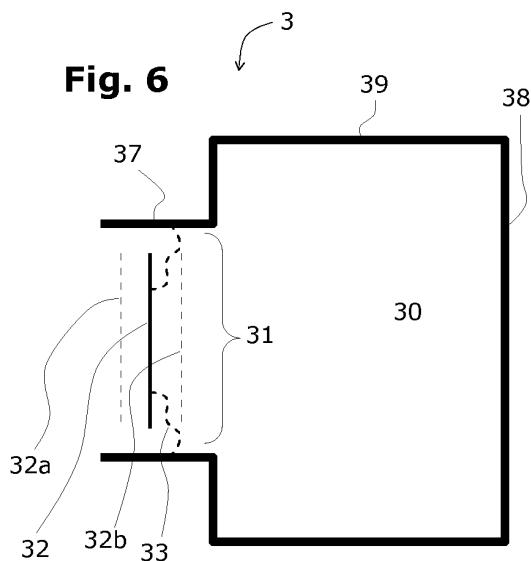
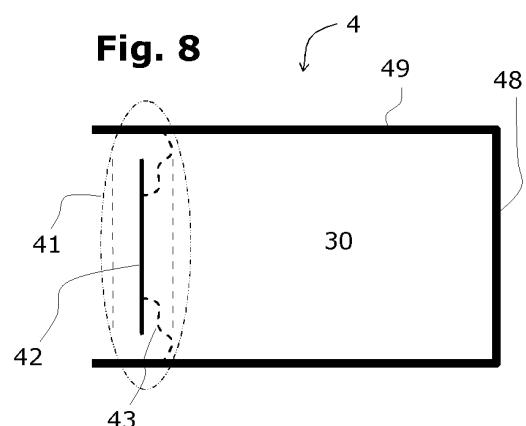
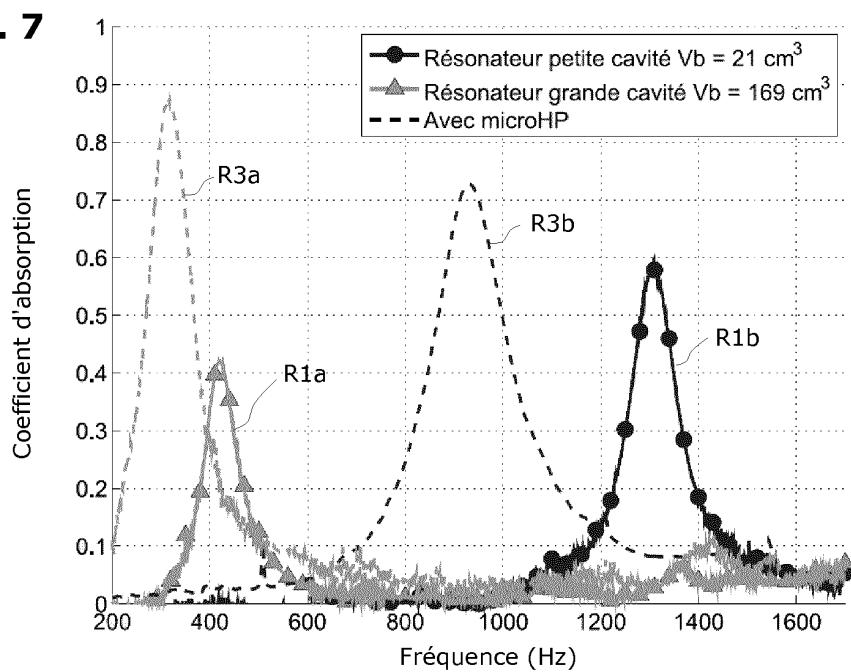


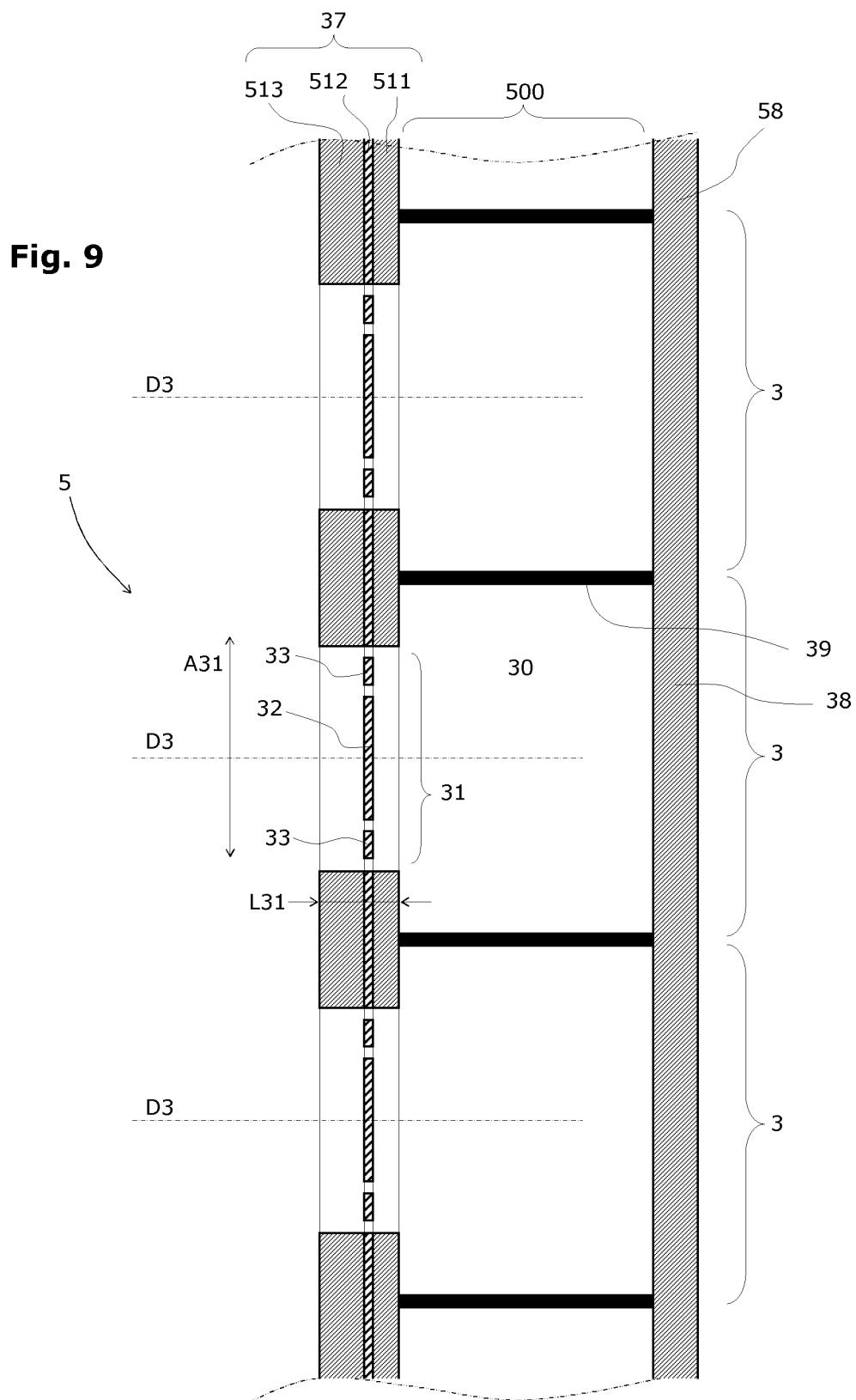
**Fig. 2b**  
Art antérieur



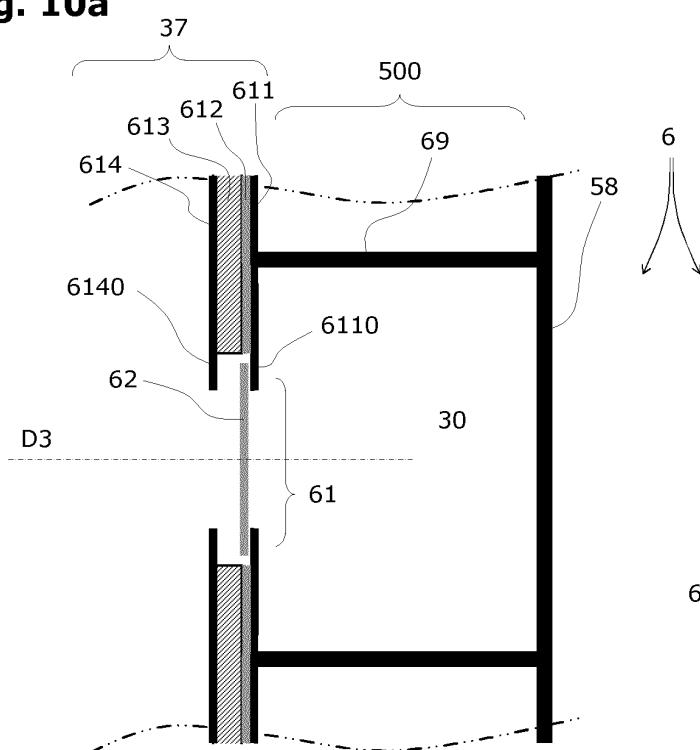
**Fig. 3**



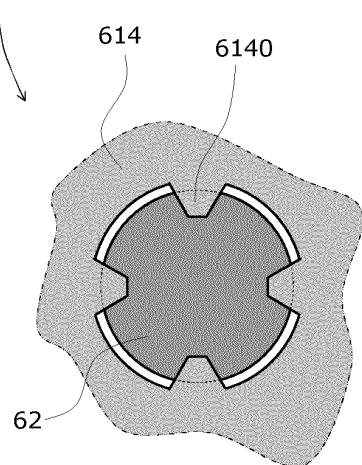
**Fig. 4****Fig. 5****Fig. 6****Fig. 8****Fig. 7**



**Fig. 10a**



**Fig. 10b**



**Fig. 11a**

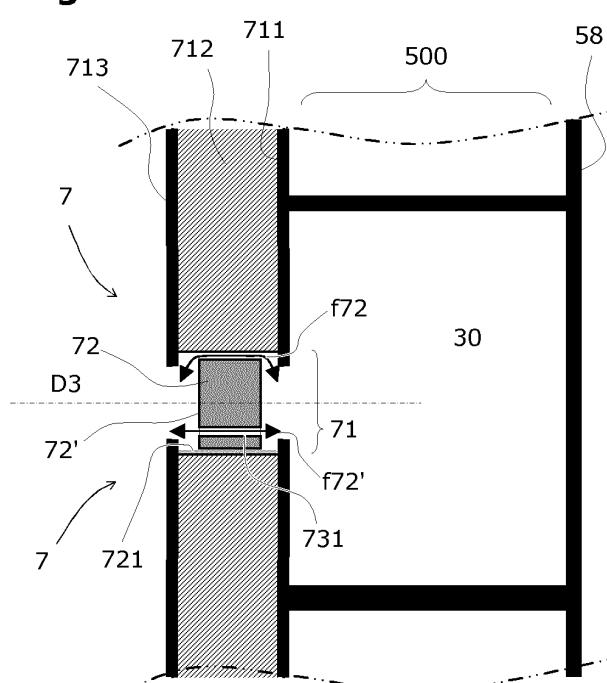
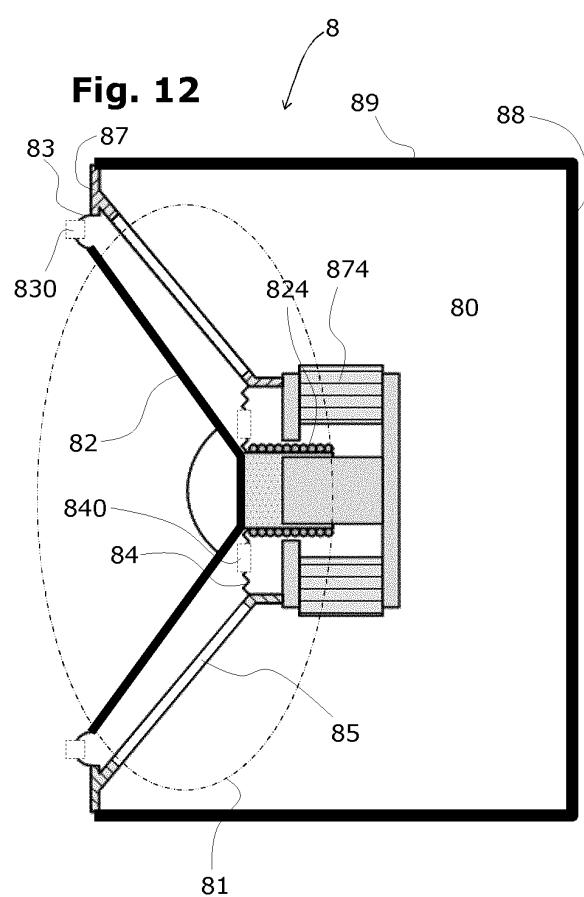
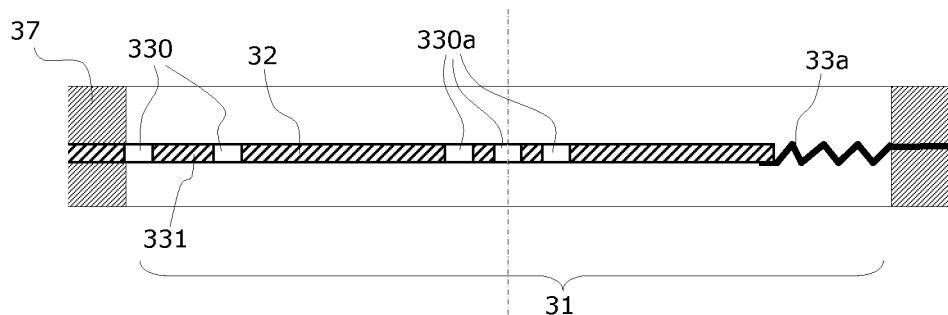
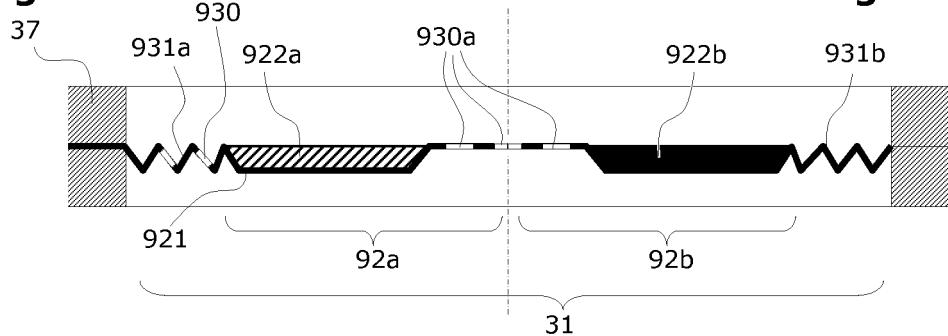
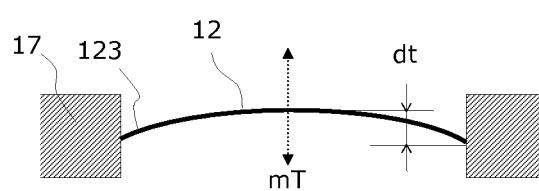
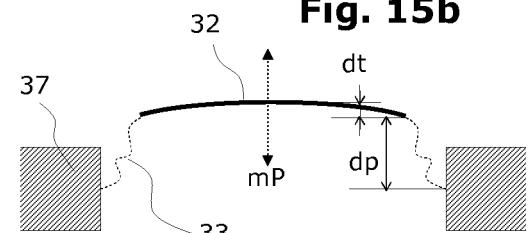
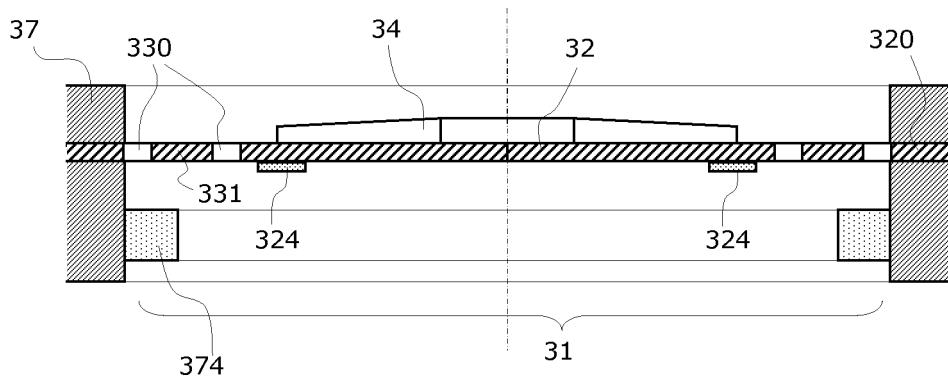


Fig. 12



**Fig. 13a****Fig. 13b****Fig. 14a****Fig. 14b****Fig. 15a****Fig. 15b****Fig. 16**

## RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

### Documents brevets cités dans la description

- US 8857563 B [0016] [0031]
- US 20120155688 A [0017]

### Littérature non-brevet citée dans la description

- Les matériaux actifs à propriétés acoustiques variables. **ROMAIN BOULANDET ; H. LISSEK**. PhD thesis. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine, 2002 [0062]
- **ROMAIN BOULANDET ; HERVÉ LISSEK**. acoustic impedance synthesis at the diaphragm of moving coil loudspeakers using output feedback control. *ICSV18*, 10 Juillet 2011 [0062]
- Advanced control for modifying the acoustic impedance at the diaphragm of a loudspeaker. **ROMAIN BOULANDET ; HERVÉ LISSEK ; ETIENNE RIVET**. Acoustics 2012. Société Française d'Acoustique, Avril 2012 [0062]
- Vers des micro-haut-parleurs à hautes performances électroacoustiques en technologie silicium. **IMAN SHAHOSSEINI**. PhD thesis. Institut d'Electronique Fondamentale, 2012 [0090]
- **I. SHAHOSSEINI et al.** Towards high fidelity high efficiency mems microspeakers. *IEEE International conference on sensors*, 2010, 2426-2430 [0090]