

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2020/128103 A1**

(43) Date de la publication internationale  
25 juin 2020 (25.06.2020)

(51) Classification internationale des brevets :  
G10K 11/165 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2019/086979

(22) Date de dépôt international :  
23 décembre 2019 (23.12.2019)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
1874066 21 décembre 2018 (21.12.2018) FR

(71) Déposant : METACOUSTIC [FR/FR] ; 57 boulevard De-  
morieux, Immeuble Atlas 2ème étage, Quartier Novaxis,  
72000 LE MANS (FR).

(72) Inventeurs : LAGARRIGUE, Clément ; 39, rue du Pré,  
72000 LE MANS (FR). LECOQ, Damien ; 24, rue Joubert,  
72000 LE MANS (FR).

(74) Mandataire : GODINEAU, Valérie et al. ; IPSILON  
BREMA-LOYER, 3 rue Edouard Nignon, 44300 Nantes  
(FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,  
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,  
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,  
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,  
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,  
KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,  
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,  
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,

(54) Title: ACOUSTICALLY INSULATING PANEL

(54) Titre : PANNEAU ACOUSTIQUEMENT ISOLANT

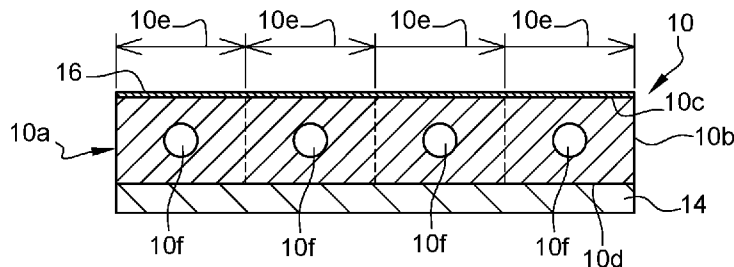


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an acoustically insulating panel (10), comprising a layer (10a) comprising a first face (10c) and a second face (10d), the said layer (10a) being made of a material having a Young's modulus of between 1 kPa and 100 MPa, a density of between 5 and 1000 kg/m<sup>3</sup> and comprising a plurality of diffusers (10f) interposed between the first face (10c) and the second face (10d), the Young's modulus of the diffusers (10f) being greater than the Young's modulus of the material of the said layer, the diffusers (10f) being arranged in the said layer in such a way as to form a periodic array of cells positioned side-by-side in a direction parallel to the said first (10c) and second (10d) faces, with each cell (10e) comprising at least one diffuser (10f), the panel further comprising sealing means (16) designed to prevent the passage of air from the outside of the panel into the said layer (10a).

(57) Abrégé : L'invention concerne un panneau acoustiquement isolant (10), comprenant une couche (10a) comprenant une première face (10c) et une seconde face (10d), ladite couche (10a) étant réalisée dans un matériau ayant un module d'Young compris entre 1kPa et 100 MPa, une masse volumique comprise entre 5 et 1000 kg/m<sup>3</sup> et comprenant une pluralité de diffuseurs (10f) intercalés entre la première face (10c) et la seconde face (10d), le module d'Young des diffuseurs (10f) étant supérieur au module d'Young du matériau de ladite couche, les diffuseurs (10f) étant agencés dans ladite couche de manière à former un réseau périodique de cellules agencées côte à côte selon une direction parallèle auxdites première (10c) et seconde (10d) faces avec chaque cellule (10e) comprenant au moins un diffuseur (10f), le panneau comportant en outre des moyens d'étanchéité (16) aptes à interdire le passage d'air depuis l'extérieur du panneau dans ladite couche (10a).

WO 2020/128103 A1

SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,  
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

## DESCRIPTION

TITRE : Panneau acoustiquement isolant

Domaine technique de l'invention

5 La présente invention concerne un panneau acoustiquement isolant permettant de limiter la transmission d'ondes acoustiques entre deux faces dudit panneau.

Etat de la technique antérieure

Parmi les solutions connues d'atténuation acoustique, on connaît ainsi les panneaux à simple paroi dont le principe d'isolation est décrit par la loi de masse qui montre que plus une paroi est massive et épaisse plus l'isolation sera importante. Ces parois sont souvent couplées à un matériau acoustique absorbant, tel qu'un matériau poreux permettant de diminuer le temps de réverbération dans la salle émettrice. En diminuant ce temps de réverbération, on peut diminuer légèrement le niveau sonore dans la salle émettrice et donc diminuer le niveau sonore dans la salle réceptrice. Un grand nombre de produits acoustiques de ce type existe sur le marché aujourd'hui, notamment les capots de machine ou les éléments de séparation de stands de travail en usine.

A l'heure actuelle, les matériaux utilisés pour l'absorption acoustique sont en grande majorité des matériaux à matrice poreuse tels que des matériaux dits poreux (mousse polyuréthane, ...) ou des matériaux dits fibreux (laine de verre, fibre de palme, ...). L'intégration de ces matériaux dans des panneaux acoustiques est facile à réaliser. De plus le panneau ainsi obtenu est léger et possède de bonnes performances pour l'atténuation acoustique d'une grande partie des fréquences du spectre audible.

Toutefois, ces matériaux ne permettent pas une bonne atténuation des sons très basses fréquences, c'est-à-dire pour des fréquences de l'ordre de 50 Hz à 500 Hz pour des panneaux d'épaisseur mince d'épaisseur de l'ordre de 2 à 5 cm, correspondant par exemple au bruit émis par un moteur au ralenti. Ceci est particulièrement vrai pour les fréquences dont la longueur d'onde correspondante est supérieure à quatre fois l'épaisseur du matériau.

Tous les panneaux à simple paroi affichent le même comportement et la même courbe d'isolation. Le niveau de cette courbe dépend uniquement de la masse volumique et de l'épaisseur de la plaque. Le problème est donc que pour avoir une isolation forte il faut une paroi extrêmement lourde et épaisse. Ainsi, on ajoute une masse lourde (souvent un matériau bitumineux) sur la paroi, ou bien un matériau poreux. Ce matériau poreux est cependant très peu efficace à moins de pouvoir mettre des épaisseurs de plusieurs dizaines de centimètres. Dans une optique de transport et dans le domaine du bâtiment, ce n'est pas envisageable, puisque l'on cherche même à alléger et rendre le plus fin possible les structures.

On connaît également les panneaux à double paroi comprenant deux plaques entre lesquelles est placée une lame d'air ou un matériau poreux. L'isolation acoustique de ce type de panneau

possède deux minima locaux à la fréquence de respiration  $f_{\text{resp}}$  et à la fréquence critique  $f_c$ . Ces minima sont problématiques car ils traduisent une faiblesse dans l'isolation acoustique. La fréquence critique est située en hautes fréquences (plusieurs kHz) et correspond à une coïncidence entre la longueur d'onde vibratoire de la paroi et la longueur d'onde acoustique, ce qui se traduit par une forte transmission de l'énergie acoustique. La fréquence de respiration est quant à elle située en très basses fréquences (entre 50 et 500 Hz) et est liée à la résonance masse-air-masse de la paroi : les plaques oscillent en opposition de phase sous l'effet de la raideur du milieu acoustique compressible dans la cavité. Mis à part ces deux fréquences, la double paroi a un comportement intéressant d'un point de vue acoustique puisqu'entre celles-ci, la pente d'isolation est de +18dB/octave puis de +12dB/octave. Son isolation peut donc être importante en moyenne et haute fréquences (entre 500 et 4000Hz). Il est important de noter qu'un tel système a un comportement acoustique mais aussi vibratoire. En effet, du côté source, l'onde acoustique arrive sur la première plaque qui va être sollicitée de façon mécanique et se déformer (il y a une onde acoustique dans le solide, on dit également vibration), et qui va ensuite rayonner une onde acoustique dans la cavité d'air. L'onde acoustique dans cette cavité va ensuite exciter la seconde plaque qui va vibrer et rayonner dans une partie de réception que l'on souhaite isoler de la source. En général, on rajoute un matériau poreux dans la cavité pour atténuer les modes acoustiques dans la cavité sans influencer la vibration des plaques. De plus, ces plaques sont optimisées d'un point de vue masse et épaisseur pour avoir une fréquence de respiration la plus basse possible (souvent en dessous de 100Hz) et une fréquence critique la plus haute possible (entre 2500 et 5000 Hz). On aura compris que les panneaux à simple paroi ou ceux à double paroi souffrent de difficultés similaires relatives à l'encombrement et à la masse des panneaux pour réaliser une isolation acoustique acceptable.

Un panneau à double paroi permet ainsi d'obtenir des isolations acoustiques importantes en moyenne et haute fréquences mais présente toujours une isolation acoustique faible à basse fréquence, notamment à cause de la fréquence de respiration. A l'instar des panneaux à simple paroi, la solution consiste à augmenter la masse des parois extérieures ou leur épaisseur, ce qui est évidemment problématique.

Pour répondre à la problématique d'isolation acoustique, c'est-à-dire à la problématique de la réduction de la transmission d'un bruit par une source acoustique, et s'affranchir des difficultés des techniques précitées, il est actuellement étudié la possibilité d'utiliser la technologie des cristaux soniques. Cette technologie consiste à disposer des diffuseurs acoustiques à des intervalles prédéterminés les uns des autres afin de bloquer des gammes de fréquences des ondes acoustiques émises par la source pour des longueurs d'ondes proportionnelles à la période (espacement) des diffuseurs.

Pour pouvoir être efficaces, ces cristaux soniques nécessitent plusieurs lignes de diffuseurs ce qui crée des barrières très épaisses, comprises entre 50cm et 2m d'épaisseur, ce qui les cantonne à des applications extérieures, telles que notamment pour des barrières anti-bruit, par exemple à destination de l'isolation acoustique des voies ferrées ou des abords de voies de circulation automobiles, notamment les autoroutes. Dans une application connue, les diffuseurs sont constitués de résonateurs entourés de matériaux poreux pour augmenter la gamme de fréquence d'efficacité (voir SÁNCHEZ-PÉREZ et al., "Noise certification of a sonic crystal acoustic screen designed using a triangular lattice according to the standards EN 1793 (-1;-2;-3)", EuroNoise, 2015). Par ailleurs, on notera que les diffuseurs sont coûteux et complexes à mettre en œuvre. En effet, chaque diffuseur est constitué de trois éléments, à savoir un tube en métal recouvert intérieurement d'une laine de roche, le tout étant recouvert d'un tube en aluminium micro-perforé. En pratique, cet assemblage est complexe et obtenir une tube micro-perforé est difficile puisqu'aucune proposition commerciale n'existe. Ainsi, l'installation d'un mur anti-bruit sur une distance d'un mètre serait donc très coûteux et sans garantie d'efficacité puisque ce type de solution technologique reste encore à l'état de développement.

Il est également connu du document US2011/0100746 d'utiliser des bandes de caoutchouc percées de trous et remplies d'un fluide (air ou eau). Ce genre de matériau est utilisé pour lier deux milieux et empêcher les vibrations de passer de l'un à l'autre. Il est optimisé pour traiter les ondes de compression se propageant dans le sens de l'empilement des trous. Les gammes de fréquences traitées sont beaucoup trop hautes pour pouvoir être appliquées des problématiques d'isolations basses fréquences. Ceci est notamment lié au choix des matériaux et de leurs propriétés mécaniques, qui empêchent de descendre vers des fréquences plus basses.

Enfin, on connaît du document FR3010225 les matériaux à cellules absorbantes comprenant une couche poreuse et des résonateurs acoustiques agencés entre deux faces de la couche poreuse. Lorsqu'ils sont utilisés pour des applications d'isolation acoustique, seules les résonances des résonateurs agissent et permettent d'améliorer l'isolation sur des gammes de fréquences très réduites. Ceci peut être utile pour traiter la fréquence de respiration des doubles parois mais ne permet pas d'augmenter l'isolation sur une large bande. La taille des résonateurs pour traiter des basses fréquences peut également être critique et peut rapidement atteindre plusieurs centimètres de diamètre et plusieurs mètres de longueur. Ce qui dans des applications de transport est problématique.

L'invention a notamment pour but d'apporter une solution simple, efficace et économique à ces problèmes.

Résumé de l'invention

A cet effet, elle propose un panneau acoustiquement isolant, comprenant une couche comprenant une première face et une seconde face, et comprenant une pluralité de diffuseurs intercalés entre la première face et la seconde face, les diffuseurs étant agencés dans ladite couche de manière à former un réseau périodique de cellules agencées côte à côte selon une direction parallèle auxdites première et seconde faces avec chaque cellule comprenant au moins un diffuseur, le panneau comportant en outre des moyens d'étanchéité aptes à interdire le passage d'air depuis l'extérieur du panneau dans ladite couche.

Le panneau selon le présent document qui est un métamatériau vibro-acoustique est ainsi composé d'une matrice solide élastique et d'inclusions rigides diffusantes, c'est-à-dire des diffuseurs vibratoires (et non des résonateurs acoustiques) agencés à l'intérieur de la matrice. L'invention peut être appliquée sur une simple paroi, ou à l'intérieur d'une double paroi, en lieu et place d'un matériau poreux classique comme évoqué précédemment. L'intérêt est de pouvoir traiter des basses fréquences pour des épaisseurs fines, et une masse ajoutée relativement faible là où les matériaux classiques nécessitent une forte épaisseur et une masse ajoutée importante.

Le traitement des ondes sonores au sein du matériau se fait de manière différente de la technique antérieure. La configuration proposée de panneau permet d'avoir une faible vitesse de propagation des ondes vibratoires dans la couche/matrice plus particulièrement lorsque le module d'Young est suffisamment petit et notamment compris entre 1kPa et 100MPa. Une faible vitesse de propagation des ondes mécaniques dans la couche du panneau implique des petites longueurs d'onde et donc nécessite des petites inclusions diffusantes, conduisant à obtenir un panneau de petite épaisseur en comparaison de la technique antérieure. En réussissant à convertir des ondes acoustiques basses fréquences (grandes longueurs d'ondes) en ondes vibratoires dans le matériau (petites longueurs d'ondes), on est donc capable de les bloquer au niveau des diffuseurs, les empêchant de traverser le panneau de part en part, c'est-à-dire dans une direction traversant la première face et la seconde face. Par ailleurs, la masse volumique de ladite couche peut être comprise entre 5 et 1000 kg/m<sup>3</sup>.

Ainsi, le panneau étant destiné à être monté sur un support tel qu'une plaque pouvant servir de support d'accrochage sur un mur ou une quelconque autre paroi à isoler acoustiquement, celui-ci va augmenter l'isolation acoustique de la plaque avec une surépaisseur mince. Cette surépaisseur peut être placée du côté de la source d'émission sonore ou du côté opposé. Cependant, elle sera plus efficace si elle est placée du côté de la source car il est plus facile d'atténuer des ondes acoustiques avant qu'elles n'atteignent une plaque de support, plutôt que d'essayer d'amortir les vibrations d'une plaque déjà mise en mouvement. En pratique, la face destinée à être appliquée sur un support pourra être munie d'un film collant aux fins de fixation sur ledit support.

Pour obtenir un panneau vibro-acoustique efficace dans le domaine de l'acoustique audible (20Hz – 20kHz), et en particulier dans la gamme de fréquence comprise entre 50 et 4000 Hz, il faut donc associer trois éléments : une matrice ou un matériau souple avec un faible module d'Young, un réseau périodique de cellules comprenant chacune au moins un diffuseur et s'assurer que les ondes acoustiques aériennes sont bien transformées en ondes élastiques dans le matériau. Sans l'un d'eux, cette technique ne fonctionne pas aux fréquences d'intérêt industrielles (entre 50 et 4000 Hz). Les cellules sont ici toutes identiques.

L'ajout de moyens d'étanchéité à l'air permet que toute l'énergie acoustique soit transmise de manière mécanique au panneau.

La déposante propose ainsi un panneau qui détourne l'utilisation des matériaux absorbants classiques, notamment les matériaux poreux et les matériaux métaporeux, connus pour être efficaces en absorption acoustique (peu d'ondes réfléchies) mais très peu efficaces en isolation (les ondes traversent le matériau facilement). Lorsque le matériau est poreux, l'ajout d'un film étanche à l'air sur la surface de la couche enlève les propriétés d'absorption du poreux mais permet d'exciter uniquement le squelette. De cette manière, très peu d'énergie acoustique se propage dans l'air contenu dans les pores du matériau. Ceci est une différence fondamentale par rapport aux autres métaporeux acoustiques existants, notamment ceux du brevet US9818393B2 où le matériau poreux est considéré comme un fluide équivalent dans lequel l'énergie acoustique se propage et se dissipe et où la vibration du squelette est faible. Autrement dit, la majeure partie de l'énergie acoustique se propage dans les pores, c'est-à-dire dans le squelette des pores.

Le module d'Young des diffuseurs peut être supérieur au module d'Young du matériau de la couche et de préférence très nettement supérieur, c'est-à-dire au moins dix fois supérieur.

Selon une autre caractéristique, ladite couche est une matrice poreuse, telle que par exemple une mousse polyuréthane, une mousse à mémoire de forme, des fibres de polyester et une mousse polyéthylène. La matrice poreuse peut présenter une porosité comprise entre 0,5 et 0,99. En particulier, la porosité peut être comprise entre 0,7 et 0,99. L'augmentation de la porosité permet de donner de la souplesse à la matrice du matériau, augmentant dès lors l'atténuation des très basses fréquences. La matrice peut être à pores ouverts ou à pores fermés.

Lorsque l'on utilise une matrice poreuse à pores ouverts, les moyens d'étanchéité peuvent par exemple comprendre une film isolant à l'air recouvrant la première face de ladite couche. Ce film peut présenter une épaisseur au moins égale à 0,05 mm. Cette épaisseur minimale permet de garantir la solidité du film. Le film isolant à l'air peut présenter une épaisseur inférieure à 0,5 mm. En effet, au-delà de cette épaisseur, le film devient trop lourde et s'apparente à une plaque.

Dans une réalisation particulière, le film peut se présenter sous la forme d'une membrane présentant mise en tension sur la première face de la couche comprenant, c'est-à-dire logeant, les diffuseurs acoustiques.

5 Les moyens d'étanchéité peuvent présenter une résistivité au passage de l'air au moins supérieure à 50000 N.m-4.s. En dessous de cette valeur, la résistance à l'air est trop faible et engendre des fuites qui ne permettent d'avoir une bonne isolation acoustique.

La couche peut être une matrice non poreuse, par exemple à base de caoutchouc. Dans ce cas, la couche peut être dépourvue de film étanche comme décrit ci-dessus si l'étanchéité de la matrice non poreuse est suffisante. Bien évidemment, on comprend que la couche logeant  
10 les diffuseurs pourrait avoir une structure bi-matériau, c'est-à-dire avec une ou plusieurs sous-couches. Lorsque la sous-couche destinée à recevoir en premier les ondes acoustiques n'est pas étanche à l'air (par exemple une sous-couche à matrice poreuse), alors il serait nécessaire d'ajouter un film isolant à l'air comme décrit précédemment. Le terme sous-couche désigne ici une épaisseur donnée de la couche de matériau logeant les diffuseurs, le terme « sous »  
15 n'indiquant pas un agencement relatif.

Dans une réalisation donnée, lesdits diffuseurs sont des cylindres droits dont les génératrices sont sensiblement parallèles audites première face et seconde face de la couche de matériau logeant les diffuseurs. La première face et la seconde face peuvent être planes. Tous les diffuseurs peuvent être identiques. Ils peuvent présenter une structure interne creuse, pleine  
20 ou avec des parois de renforts internes.

Les diffuseurs peuvent s'étendre sur toute la longueur du panneau et peuvent être dépourvus d'ouverture sur toute leur dimension s'étendant depuis une première extrémité jusqu'à la seconde extrémité opposée.

Le module d'Young desdits diffuseurs peut être au moins dix fois supérieur au module d'Young  
25 de la couche. Cette valeur permet d'assurer un contraste de rigidité suffisamment important entre la structure même de la couche et les diffuseurs, afin de créer des bandes interdites de Bragg.

On pourra utiliser des diffuseurs réalisés en métal tel que de l'aluminium, de l'acier ou du cuivre. Les diffuseurs peuvent également être réalisés en matière polymère type PVC,  
30 polypropylène, PET, PETG, Acétate, Polycarbonate. D'autres matières tels que du papier, du carton roulé, du papier kraft ou du papier phénolisé pourront aussi convenir.

Selon une caractéristique de l'invention, lorsque l'espacement  $\alpha$  entre les cellules est égal à l'épaisseur du panneau, l'espacement peut alors être défini comme  $\alpha = \frac{V_T}{2f_0}$ , où  $f_0$  représente la fréquence centrale d'une gamme de fréquence ciblée (ou d'intérêt) et  $V_T$  représente la  
35 vitesse des ondes de cisaillement dans ledit matériau. Chaque cellule peut comprendre un ou plusieurs diffuseurs, un diffuseur donné d'une cellule étant espacé de la valeur  $\alpha$  du diffuseur

correspondant dans la cellule adjacente. Ce panneau présente ainsi la particularité d'avoir des cellules à section carré. Lorsqu'une source émet des ondes acoustiques dans l'air, les ondes mécaniques se propagent suivant deux directions : les ondes longitudinales (compression) et les ondes transverses (cisaillement). Dans le panneau, ces dernières sont les plus lentes. Si en théorie, pour obtenir une isolation optimale, un dimensionnement précis des diffuseurs est obligatoire, la déposante a remarqué qu'il était possible d'avoir un effet significatif lorsque la période est égale à la moitié de la longueur d'onde de cisaillement comme indiqué précédemment.

Dans encore une autre réalisation selon le présent document, il serait possible que la couche de matériau comprenne au moins une zone dont l'épaisseur présente un gradient positif du module d'Young orienté de la première face vers la seconde face. Ainsi, le gradient pourrait s'étendre depuis la première face jusqu'à la seconde face ou bien sur une partie seulement de la couche. De multiples combinaisons sont ainsi possibles. Le terme « gradient positif » désigne une augmentation du module d'Young.

Le présent document concerne aussi un ensemble comprenant un panneau dont la seconde face est appliquée sur une face d'une plaque de support.

La plaque de support présente préférentiellement un module d'Young supérieur au module d'Young de la couche.

La plaque de support peut présenter un module d'Young au moins dix fois supérieur au module d'Young de la couche.

La combinaison d'une couche à matrice poreuse intégrant des diffuseurs, la couche ayant une première face recouverte d'un film isolant à l'air et une seconde face appliquée sur une plaque de support, avec le module d'Young des diffuseurs et le module d'Young de la plaque de support très nettement supérieurs au module d'Young de la couche s'avère particulièrement efficace pour absorber les ondes sonores dans le domaine audible.

On notera que le module d'Young des diffuseurs et le module d'Young de la plaque de support peuvent être sensiblement les mêmes.

#### Brève description des figures

[Fig. 1] représente une vue en coupe d'un premier mode de réalisation d'un panneau selon l'invention ;

[Fig. 2] est un graphe de l'évolution de la transmission vibratoire en dB en fonction de la fréquence à plusieurs angles d'incidences sur le panneau de la figure 1 ;

[Fig. 3] représente un graphe représentant la perte de transmission (en décibels) en fonction de la fréquence (échelle logarithmique) pour le panneau de la figure 1 ainsi qu'avec un panneau de référence ;

[Fig. 4] représente une vue en coupe d'un second mode de réalisation d'un panneau selon l'invention ;

[Fig. 5] est un graphe de l'évolution de la transmission vibratoire en dB en fonction de la fréquence à plusieurs angles d'incidences sur le panneau de la figure 4 ;

5 [Fig. 6] représente un graphe représentant la perte de transmission (en décibels) en fonction de la fréquence (échelle logarithmique) pour le panneau de la figure 4 ainsi qu'avec un panneau de référence ;

[Fig. 7] représente une pluralité de diffuseurs destinés à être utilisés avec un panneau selon l'invention ;

10 [Fig. 8] représente une autre réalisation possible d'un panneau selon l'invention.

Description détaillée de l'invention

Les figures 1 et 4 représentent respectivement un premier mode de réalisation d'un ensemble 10 comprenant un panneau 10a selon l'invention et un second mode de réalisation d'un ensemble 12 comprenant un panneau 12a.

15 Dans les deux réalisations différentes proposées, le panneau 10a, 12a est porté par une plaque de support 14. Dans les différents exemples, la plaque 14 est réalisée en bois. Cette plaque présente une masse de 3,5 kg. L'utilisation d'une plaque absorbante, telle qu'en bois, permet de renforcer l'indice d'affaiblissement, renforçant ainsi l'isolation acoustique.

Le panneau 10a, 12a comprend une couche 10b, 12b comportant une première face 10c, 12c  
20 et une seconde face 10d, 12d opposées l'une à l'autre. La seconde face 10d, 12d est en contact avec la plaque 14 de support, par exemple à l'aide d'un moyen de collage, tel qu'un film collant. Comme cela est apparent sur la figure 1, la couche 10a, 12a comprend plusieurs cellules agencées côte à côte. On comprend qu'il ne s'agit pas ici de cellules 10e, 12e structurellement distinctes les unes des autres. Chaque cellule 10e, 12e comprend un  
25 diffuseur 10f, 12f1, 12f2 et toutes les cellules 10e, 12e sont identiques. Ainsi, pour ce qui concerne la figure 1, les diffuseurs 10f forment une ligne selon une direction parallèle aux première et seconde faces. Pour ce qui concerne la figure 4, les diffuseurs 12f1 forment une première ligne selon une direction parallèle aux première et seconde faces et les diffuseurs 12f2 forment une seconde ligne selon une direction parallèle aux première et seconde faces.  
30 La seconde ligne de diffuseurs 12f2 est agencée entre la première ligne 12f1 et la seconde face 12d.

Sur les figures 1 et 4, les diffuseurs sont représentés en coupe. Les diffuseurs 10f, 12f1, 12f2 présentent une forme allongée selon une direction sensiblement perpendiculaire au plan de coupe et s'étendent parallèlement aux première face 10c, 12c et seconde face 10d, 12d. Les  
35 diffuseurs 10f, 12f1, 12f2 sont ici des cylindres circulaires droits dont les génératrices sont sensiblement parallèles aux première face 10c, 12c et seconde face 10d, 12d de la couche

10a, 12a de matériau logeant les diffuseurs 10f, 12f1, 12f2. D'autres formes de cylindres droits seront représentées en figure 8.

Pour obtenir une bonne atténuation des basses fréquences du domaine audible, le panneau 10a, 12a acoustiquement isolant est tel que la couche, logeant les diffuseurs, est réalisée dans un matériau ayant un module d'Young compris entre 1kPa et 100 MPa et présentant une masse volumique comprise entre 5 et 1000 kg/m<sup>3</sup>. Par ailleurs, la couche 10a, 12a comprend des moyens d'étanchéité aptes à interdire le passage d'air depuis l'extérieur du panneau dans ladite couche. Ces moyens d'étanchéité sont représentés sur la figure 1 par le trait 16 en pointillés sur la première face de la couche 10a, 12a. Ces moyens d'étanchéité 16 peuvent être partie intégrante de la couche lorsque la structure constitutive de la couche 10a, 12a permet cette étanchéité à l'air ou bien être formés par un film isolant à l'air qui recouvre la première face de ladite couche lorsque le matériau ne permet pas d'assurer intrinsèquement la fonction d'étanchéité à l'air. Dans ce dernier cas, le trait 16 représente donc un film étanche à l'air. Ce film étanche peut être déposé sur la première face de la couche 10a.

Le panneau 10a, 12a ainsi configuré, c'est-à-dire avec une matrice souple ayant un faible module d'Young, un réseau périodique de cellule 10e, 12e comprenant au moins un diffuseur 10f, 12f1, 12f2 (en figure 1 un seul diffuseur et en figure 4 deux diffuseurs) et des moyens d'étanchéité à l'air permettant de s'assurer de la transformation des ondes sonores aériennes émises par une source sonore en ondes acoustiques dans le solide, permet d'obtenir une bonne atténuation aux fréquences d'intérêt industrielles, c'est-à-dire entre 50 et 4000 Hz.

Il est ainsi possible d'utiliser n'importe quel matériau ayant un module d'Young et une densité effective faible. Ceci permet d'obtenir des vitesses de propagation d'ondes mécaniques faibles (<<340m/s). Les longueurs d'ondes associées sont alors plus petites que dans l'air, ce qui implique une petite période spatiale des diffuseurs (quelques centimètres) pour obtenir un effet à basse fréquence. Les matériaux ayant un module d'Young entre 1 kPa et 100 MPa et une masse volumique comprise entre 5 et 1000 kg/m<sup>3</sup> de préférence entre 10 et 100 kg/m<sup>3</sup> répondent à cette condition.

Le matériau de la couche 10b, 12b peut avoir une matrice poreuse à pores ouverts ou fermés, tels que par exemple la mousse de mélamine Basoctect type G+ de BASF, une mousse polyuréthane, une mousse à mémoire de forme, un mousse comprenant des fibres de polyester, la mousse Stratocell Whisper, une mousse de polyester, une mousse éthylène-propylène-diène monomère. Les mousses, telles que celles en polyéthylène, peuvent être obtenues par un procédé de réticulation. Ces mousses présentent une structure interne à pores ouverts. Bien évidemment, les mousses peuvent être obtenues par d'autres procédés autre qu'un procédé de réticulation.

La matrice poreuse peut présenter une porosité comprise entre 0,5 et 0,99. En particulier, la porosité peut être comprise entre 0,7 et 0,99. L'augmentation de la porosité permet de donner

de la souplesse à la matrice du matériau, augmentant dès lors l'atténuation des très basses fréquences.

Il faut que toute l'énergie acoustique soit transmise de manière mécanique au matériau. Si c'est un matériau homogène, cette transmission se fait naturellement mais si c'est un matériau n'assurant pas cette transmission, tel qu'un matériau poreux à pores ouverts il faut rendre la première face, qui est exposée à la source sonore, étanche en appliquant une fine couche de matériau imperméable, par exemple en ajoutant un film étanche. Ceci va empêcher l'énergie de se propager dans les pores ouverts du matériau et donc empêcher une propagation des ondes acoustiques selon les lois de l'acoustique aérienne. Les revêtements utilisables pour former le film 16 étanche à l'air sont par exemple : tous les films d'épaisseur 0,05 à 0,5 mm et en particulier les films d'aluminium laminés, tramés ou texturés, les films polymères, type pvc, vinyle, polypropylène et toute matière ayant une résistivité au passage de l'air supérieur à 50000 N.m<sup>4</sup>.s.

Dans le panneau acoustique 10a, 12a selon l'invention, des ondes longitudinales (c'est-à-dire les ondes de compression) et des ondes transverses (c'est-à-dire les ondes de cisaillement) se propagent. Toutefois, la déposante s'est aperçue que les ondes transverses s'avèrent être les ondes les plus lentes dans le panneau 10a, 12a. Pour obtenir une isolation acoustique optimale, si un dimensionnement précis est en théorie obligatoire, la déposante a remarqué qu'il était possible d'avoir un effet significatif de réduction de la transmission sonore lorsque l'espacement  $\alpha$  entre les cellules 10e, 12e est égal à la moitié de la longueur d'onde de cisaillement :

$$\alpha = \frac{V_T}{2f_0}$$

Avec  $f_0$  la fréquence centrale de la gamme de fréquence à traiter et  $V_T$  représente la vitesse des ondes de cisaillement dans ledit matériau.

En effet, la déposante s'est aperçue qu'une relation pouvait être établie entre la vitesse des ondes transverses dans le panneau et l'espacement de la cellule, à la condition que l'épaisseur du panneau soit sensiblement égale à l'espacement entre les cellules. On remarquera que dans le cas de la figure 1, l'espacement entre les cellules (toutes identiques) est le même que l'espacement entre les diffuseurs. Dans le cas où la cellule comprend plusieurs diffuseurs et que toutes les cellules sont identiques, l'espacement entre un diffuseur donné et le diffuseur qui lui correspond dans la cellule adjacente est égal à l'espacement entre les cellules.

L'utilisation de cette formule permet de simplifier la définition du panneau puisqu'il n'est pas nécessaire de faire un calcul par éléments finis pour connaître la disposition et les dimensions des diffuseurs pour avoir une bonne absorption.

Sur l'exemple proposé en figure 1, les diffuseurs 10f sont espacés latéralement de 6 cm, la mousse est de la mélamine présentant un module d'Young de 100kPa. Les diffuseurs présentent tous un même diamètre qui est de 1,2 cm et la plaque de support est en bois présentant un module d'Young de 1Gpa et une épaisseur de 1 cm. Les paramètres dimensionnels du panneau acoustiquement isolant sont résumés dans le tableau suivant :

[Tableau 1]

|  | Epaisseur de la matrice | Largeur de la cellule unitaire | Rayon des diffuseurs | Epaisseur de la paroi du diffuseur | Nombre de lignes | Nombre de diffuseurs par cellule |
|--|-------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------------------|------------------|----------------------------------|
| nom et unité                               | Em (cm)                 | l (cm)                         | r (cm)               | Et (cm)                            | n                | ni                               |
| Caractéristiques du panneau de la figure 1 | 3                       | 3                              | 0.6                  | 0.1                                | 1                | 1                                |

Le graphe de la figure 2, obtenu expérimentalement, comprend plusieurs courbes. Chaque courbe représente la transmission vibratoire en dB en fonction de la fréquence et pour un angle d'incidence donné des ondes acoustiques sur la première face du panneau. Les angles d'incidence sont indiqués sur le graphe. On remarque que la transmission est inférieure pour les faibles angles d'incidence. Sur ces courbes, on observe qu'entre 250 Hz et 750 Hz environ, il y a une faible transmission vibratoire et que l'énergie est donc peu transmise à travers la couche.

La courbe de la figure 3, obtenue expérimentalement, illustre la perte de transmission en ordonnée en fonction de la fréquence. La courbe 18 représente les pertes en transmission (rapport entre l'intensité acoustique côté source sur celle côté réception) dans le panneau de la figure 1 et la courbe 20 représente la perte en transmission dans un panneau de référence formé d'une matrice d'un matériau identique au panneau de la figure 1 mais dépourvue de diffuseurs et d'étanchéité à l'air.

On observe la présence d'un pic sur les pertes en transmission à environ 400 Hz et qui s'étale entre 300 et 800 Hz, ce qui démontre l'efficacité de la configuration proposée pour l'isolation acoustique à basse fréquence, c'est-à-dire aux basses fréquences audibles.

La figure 4 représente une seconde réalisation d'un panneau 12b selon l'invention dans lequel chaque cellule 12e comprend deux diffuseurs, les cellules 12e étant agencées côte à côte pour former une structure périodique. Chaque cellule 12e comprend un premier diffuseur présentant un premier rayon et un second diffuseur présentant un second rayon supérieur au premier rayon. Le premier diffuseur 12f1 est agencé plus près de la première face 12c tandis que le second diffuseur 12f2 est agencé plus près de la seconde face 12d. La cellule 12e se répète périodiquement selon la loi donnant l'espacement  $\alpha$  indiqué précédemment.

Dans cette seconde réalisation d'un panneau selon l'invention, les diffuseurs 12f1, 12f2 sont espacés latéralement de 6 cm, la mousse est de la mélamine présentant un module d'Young de 100kPa. Deux diffuseurs sont utilisés et présentent des diamètres différents. La plaque de support est en bois présentant un module d'Young de 1Gpa et une épaisseur de 1 cm. Les paramètres dimensionnels du panneau acoustiquement isolant de la figure 4 sont résumés dans le tableau suivant :

[Tableau 2]

|  | Epaisseur de la matrice | Largeur de la cellule unitaire | Rayon des diffuseurs | Epaisseur de la paroi du diffuseur | Nombre de lignes | Nombre de diffuseurs par cellule |
|--|-------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------------------|------------------|----------------------------------|
| nom et unité                               | Em (cm)                 | l (cm)                         | r (cm)               | Et (cm)                            | n                | ni                               |
| Caractéristiques du panneau de la figure 4 | 3                       | 6                              | 0,6 et 0,7           | 0,1                                | 2                | 2                                |

Le graphe de la figure 5, obtenu par simulation numérique, comprend plusieurs courbes. Chaque courbe représente les pertes en transmission vibratoire en dB en fonction de la fréquence et pour un angle d'incidence donné des ondes acoustiques sur la première face 10c du panneau 10a. Les angles d'incidence sont indiqués sur le graphe. On remarque que la transmission est inférieure pour les faibles angles d'incidence. Sur ces courbes, on observe qu'entre 400Hz et 1000 Hz environ, il y a une faible transmission vibratoire et que l'énergie est donc peu transmise à travers la couche.

La courbe de la figure 6, obtenue par simulation numérique, illustre les pertes en transmission en ordonnée en fonction de la fréquence. La courbe 22 représente les pertes en transmission dans le panneau de la figure 4 et la courbe 24 représente les pertes en transmission pour une plaque de bois seule.

On observe que jusqu'à 1000 Hz environ, la perte de transmission est supérieure d'environ 5 dB pour le panneau selon l'invention, ce qui démontre l'efficacité de la configuration proposée pour l'isolation acoustique à basse fréquence.

Les deux exemples précités montrent bien qu'avec une configuration d'un panneau acoustique selon l'invention, il est possible d'augmenter de manière conséquente l'isolation acoustique aux très basses fréquences.

Contrairement aux configurations de la technique antérieure, il est possible d'avoir une bonne isolation même avec une seule ligne de diffuseur 10f (figure 1). Ceci est dû au fait qu'il y a plusieurs ondes qui se propagent simultanément, sur une couche assez fine. La probabilité qu'elles rencontrent un diffuseur est donc très importante. Pour obtenir un effet encore plus important, l'ajout de plusieurs lignes de diffuseurs 12f1, 12f2 (figure 4) peut permettre

d'augmenter encore les performances de l'ensemble comme cela est visible sur la figure 5 où la bande de fréquence est élargie avec une amplitude de transmission plus importante. Toutefois, de manière évidente, on comprend que cela se fait aussi au détriment d'une épaisseur ou d'une masse plus importante.

- 5 Le tableau ci-dessous résume les plages de valeurs pouvant être utilisées pour réaliser le matériau. La variabilité des paramètres indiqués dans le tableau ci-après est due au fait que la géométrie précise ne peut être obtenue qu'après optimisation en prenant en compte les paramètres de la matrice et la gamme de fréquence à traiter.

[Tableau 3]

|                             | Épaisseur de la matrice | Largeur de la cellule unitaire | Rayon tube      | Épaisseur tube | Nombre de lignes | Nombre de diffuseurs par ligne et par cellule unitaire |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------|----------------|------------------|--|
| unité                       | Em (cm)                 | l (cm)                         | r (cm)          | Et (cm)        | n                | ni   |
| Caractéristiques du panneau | 0.1 à 50                | 0.3*Em à 5*Em                  | 0.2*Em à 0.8*Em | 0.05 à 1       | 1 à 10           | 1 à 4  |

10

Des outils de dimensionnements ont été développés à l'aide du logiciel Comsol® et au moyen de la méthode des éléments finis. Pour cela, Le matériau de la matrice est considéré comme un solide élastique et ses paramètres mécaniques équivalents sont renseignés. Les modes vibratoires d'une cellule unitaire sont calculés pour tous les angles d'incidence permettant ainsi d'identifier les bandes interdites : bandes fréquentielles pour lesquelles il n'existe pas de mode quel que soit l'angle d'incidence. Il est alors possible d'accorder la géométrie de la cellule élémentaire, notamment la périodicité des tubes, en fonction de la bande interdite désirée. Le résultat est satisfaisant lorsque la vibration constituée d'ondes longitudinales et transversales dans le solide élastique ne se propage pas jusqu'à la plaque. Il est possible de modifier les gammes de fréquences pour lesquelles le matériau est efficace en modifiant les paramètres suivants :

15

20

- Épaisseur de la matrice
- Périodicité des inclusions
- Rayon des inclusions
- 25 - Module d'Young de la matrice
- Densité de la matrice
- Géométrie des inclusions
- Matériau et épaisseur du film étanche
- Facteur d'amortissement du matériau permettant l'étanchéité.

30

La figure 7 illustre différentes formes de diffuseurs utilisables avec l'invention. La première ligne représente des diffuseurs 28 creux présentant la forme d'une paroi cylindrique ou

tubulaire. La deuxième ligne représente des diffuseurs 30 comprenant une paroi cylindrique 32 ou tubulaire creuse avec des parois internes 34 de renfort reliant les faces internes de la paroi cylindrique 32. La troisième ligne comprend des diffuseurs 36 à structure creuse logeant à l'intérieur un résonateur mécanique 38 masse-ressort, c'est-à-dire un absorbeur mécanique où l'énergie est dissipée sous l'effet de la résonance du système masse-ressort (masse = masse centrale en noire et ressort = parois internes de renfort). Le résonateur ou masse interne comprend une paroi cylindrique externe 40 dont les faces internes sont reliées par des ponts de liaison 42 au résonateur 38. Le principe est celui d'une masse connectée à un ressort dont un déplacement initial fourni à la masse est progressivement absorbé par le déplacement de la masse liée au ressort. C'est le principe de l'absorbeur dynamique qui permet alors de traiter une autre bande de fréquences que celle des bandes interdites, c'est-à-dire un traitement à la fréquence de résonance du système masse-ressort. Le principe de fonctionnement est donc différent d'un résonateur acoustique dans lequel on obtient une résonance de l'air dans une cavité (résonateur de Helmholtz). La quatrième ligne représente des diffuseurs 44 à structure creuse similaire à ceux de la troisième ligne. Cependant, dans ces réalisations, chaque masse interne 46 est reliée à la paroi tubulaire 48 ou paroi cylindrique externe par l'intermédiaire d'un seul pont 50 de liaison. Ainsi, ce type de diffuseur 44 présente une plus faible rigidité de l'ensemble masse 46 et pont 50 de liaison permettant ainsi une meilleure dissipation de l'énergie en comparaison des réalisations de la troisième ligne dans laquelle chaque masse 38 est reliée à la paroi cylindrique 40 externe par plusieurs ponts 42 de liaison.

Dans les réalisations ci-dessus, chaque pont de liaison peut être une paroi plane s'étendant d'une extrémité à l'autre de la paroi cylindrique.

Enfin, à titre d'exemple, la figure 8 illustre une variante possible du premier mode de réalisation. Dans celui-ci, chaque cellule 24 comprend deux diffuseurs 26a, 26b espacés d'une distance  $a$ , la cellule 24 étant espacée d'une distance  $a$  de la cellule voisine. Les diffuseurs 26a, 26b sont ici identiques mais pourraient aussi être différents, c'est-à-dire avoir des rayons différents, des emplacements différents ou encore des formes comme représentés sur la figure 7.

On comprend que la définition précise d'un panneau, c'est-à-dire les positions, les emplacements et le dimensionnement des diffuseurs, peut être réalisée par simulation par éléments finis. Il existe donc de nombreuses combinaisons possibles en termes de positions, d'emplacements, et de dimensionnements des diffuseurs permettant d'avoir une bonne isolation acoustique pour autant que le panneau présente les caractéristiques selon l'invention. En résumé, selon le présent document, le film étanche permet de créer une barrière d'étanchéité à l'air. Celui-ci est appliquée (par collage ou par autre moyen mécanique de fixation) sur la première face de la couche logeant les diffuseurs, afin de créer une surcouche

et améliorer l'isolation acoustique (c'est à dire diminuer les transmission vibratoires et acoustique de part et d'autres) en combinant plusieurs phénomènes acoustiques dont les deux principaux sont :

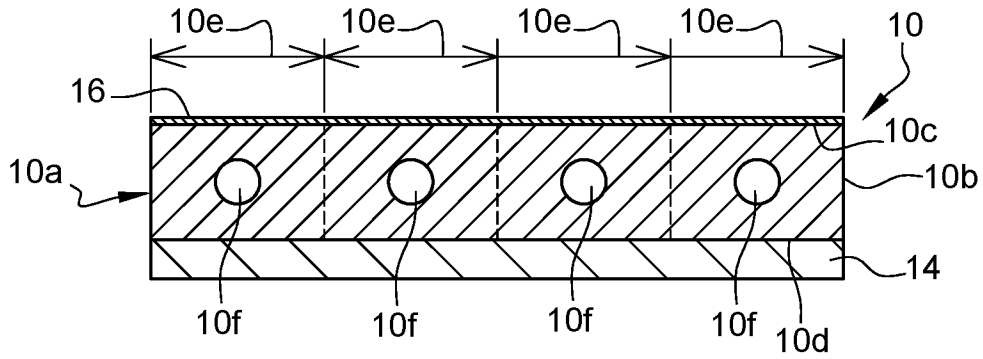
- 5 - un découplage vibratoire entre l'onde acoustique incidente et la plaque de support grâce au film et au poreux de la couche, qui agissent comme une double paroi, dans laquelle l'une des parois est formée par la plaque et l'autre est formée par le film, le film devant avoir une épaisseur suffisamment faible comme évoquée précédemment,
- 10 - la conversion des ondes acoustiques de la source en ondes vibratoires (notamment transversales et de cisaillement) dans la couche de matériau élastique, qui seront alors stoppés par la présence des diffuseurs.

## REVENDEICATIONS

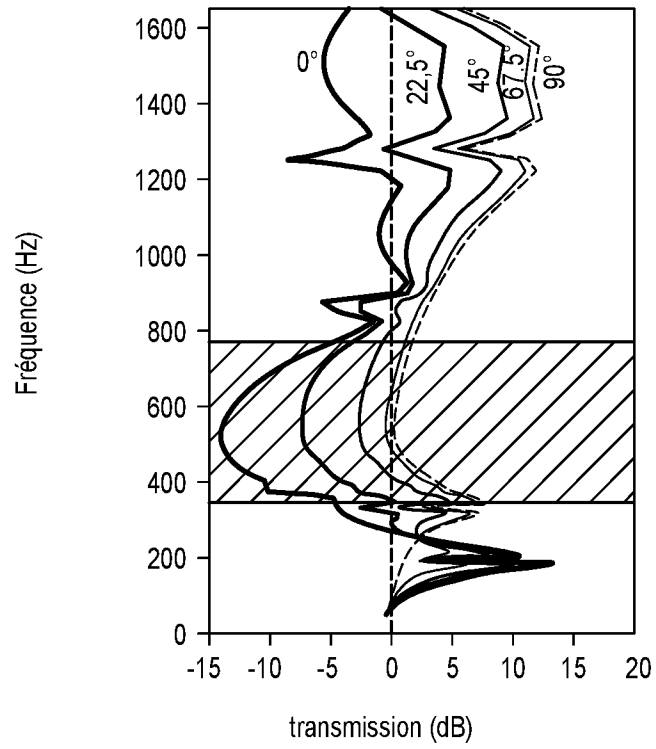
1. Panneau acoustiquement isolant (10), comprenant une couche (10a) comprenant une première face (10c) et une seconde face (10d) et comprenant une pluralité de diffuseurs  
5 intercalés entre la première face et la seconde face, les diffuseurs (10f) étant agencés dans ladite couche de manière à former un réseau périodique de cellules agencées côte à côte selon une direction parallèle auxdites première (10c) et seconde (10d) faces avec chaque cellule (10e) comprenant au moins un diffuseur (10f), le panneau comportant en outre des moyens d'étanchéité (16) aptes à interdire le passage d'air depuis l'extérieur du  
10 panneau dans ladite couche (10a).
2. Panneau selon la revendication 1, dans lequel le module d'Young des diffuseurs est supérieur au module d'Young du matériau de la couche.
3. Panneau selon la revendication 2, dans lequel le module d'Young des diffuseurs est au moins dix fois supérieur au module d'Young du matériau de la couche.
- 15 4. Panneau selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le module d'Young de la couche est compris entre 1kPa et 100 MPa et/ou la masse volumique de ladite couche est comprise entre 5 et 1000 kg/m<sup>3</sup>.
5. Panneau selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel ladite couche (10a) est une matrice poreuse à pores ouverts ou fermés, tels que par exemple une mousse  
20 polyuréthane, une mousse à mémoire de forme et des fibres de polyester.
6. Panneau selon la revendication 5, dans lequel la matrice poreuse présente une porosité comprise entre 0,5 et 0,99, en particulier comprise entre 0,7 et 0,99.
7. Panneau selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel ladite couche est une matrice non poreuse, par exemple à base de caoutchouc.
- 25 8. Panneau selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel lesdits diffuseurs (10f) sont des cylindres droits dont les génératrices sont sensiblement parallèles auxdites première face (10c) et seconde face (10d) de la couche (10a) de matériau logeant les diffuseurs (10f).
9. Panneau selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel tous les diffuseurs (10f) sont identiques.
- 30 10. Panneau selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel les diffuseurs (10f) présentent une structure interne creuse, pleine ou avec des parois de renforts internes.
11. Panneau selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel les moyens d'étanchéité à l'air comprennent un film (16) isolant à l'air recouvrant la première face (10c) de ladite  
couche (10a).
- 35 12. Panneau selon la revendication 11, dans lequel le film isolant à l'air présente une épaisseur au moins égale à 0,05 mm.

13. Panneau selon la revendication 12, dans lequel le film isolant à l'air présente une épaisseur inférieure à 0,5 mm.
14. Panneau selon l'une des revendications 1 à 13, dans lequel les moyens d'étanchéité présentent une résistivité au passage de l'air qui au moins supérieure à 50000 N.m-4.s.
- 5 15. Panneau selon l'une des revendications 1 à 15, dans lequel l'espacement  $\alpha$  entre lesdites cellules est tel que  $\alpha = \frac{V_T}{2f_0}$ , où  $f_0$  représente la fréquence centrale d'une gamme de fréquence ciblée et  $V_T$  est la vitesse de sondes de cisaillement.
16. Panneau selon l'une des revendications 1 à 15, dans lequel ladite couche de matériau comprend au moins une zone dont l'épaisseur présente un gradient positif du module d'Young orienté de la première face (10c) vers la seconde face (10d).
- 10 17. Ensemble comprenant un panneau selon l'une des revendications 1 à 16, dans lequel la seconde face est appliquée sur une face d'une plaque de support.
18. Ensemble selon la revendication 17, dans lequel la plaque de support présente un module d'Young supérieur au module d'Young de la couche.
- 15 19. Ensemble selon la revendication 18, dans lequel la plaque de support présente un module d'Young au moins dix fois supérieur au module d'Young de la couche.

1/4



**Fig. 1**



**Fig. 2**

2/4

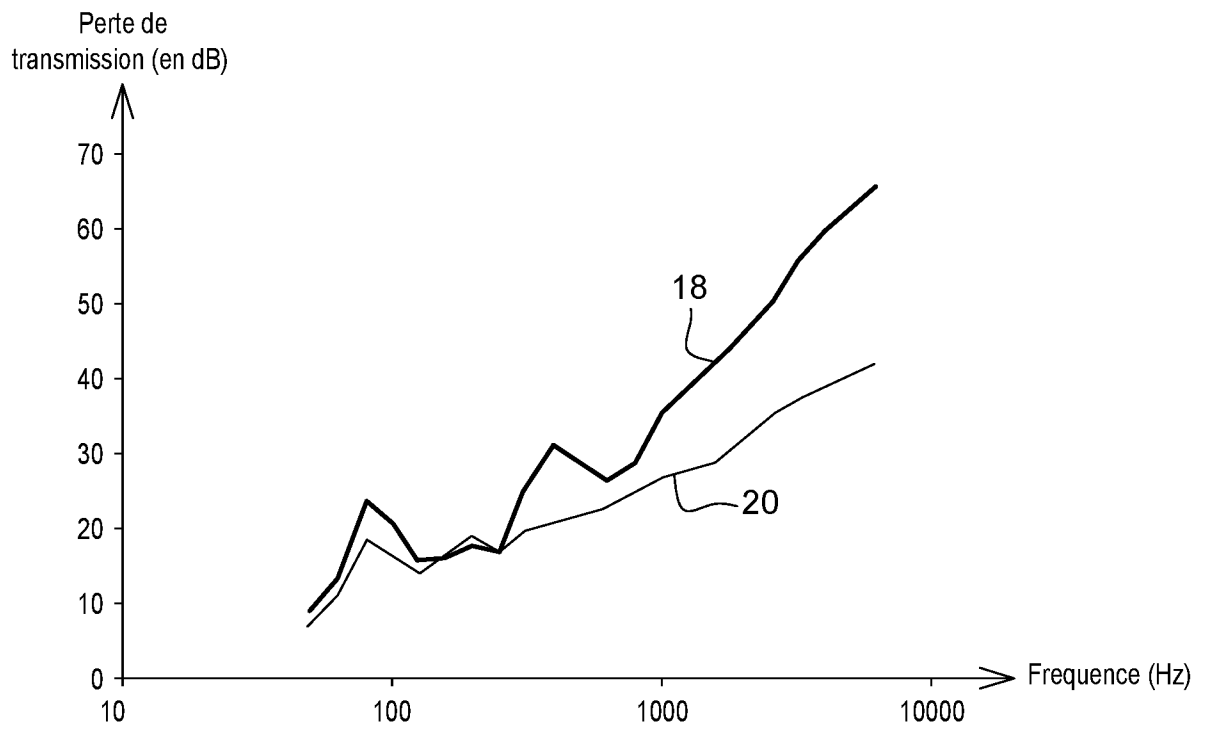


Fig. 3

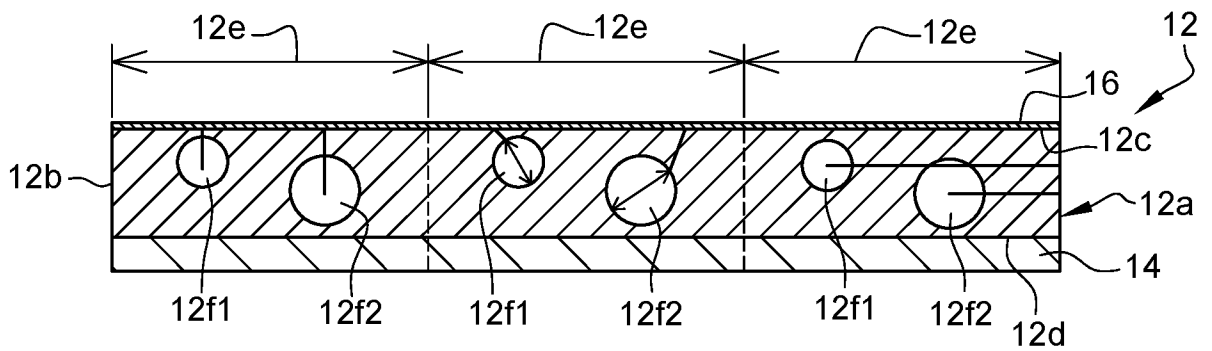


Fig. 4

3/4

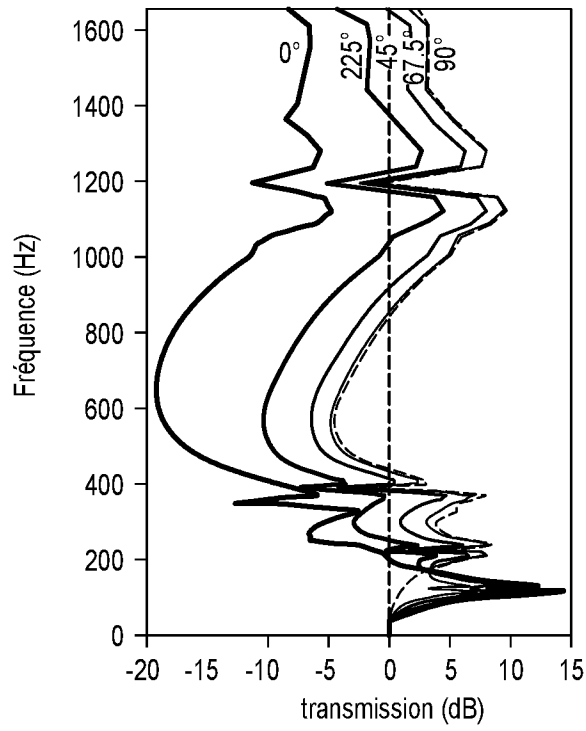


Fig. 5

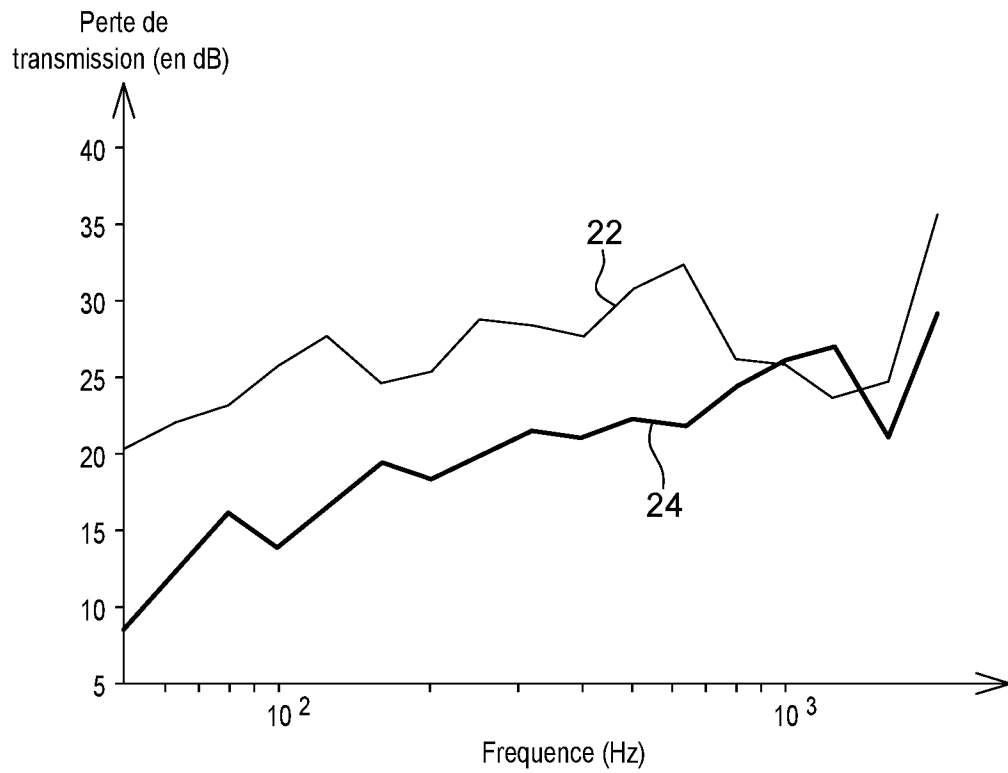


Fig. 6

4/4

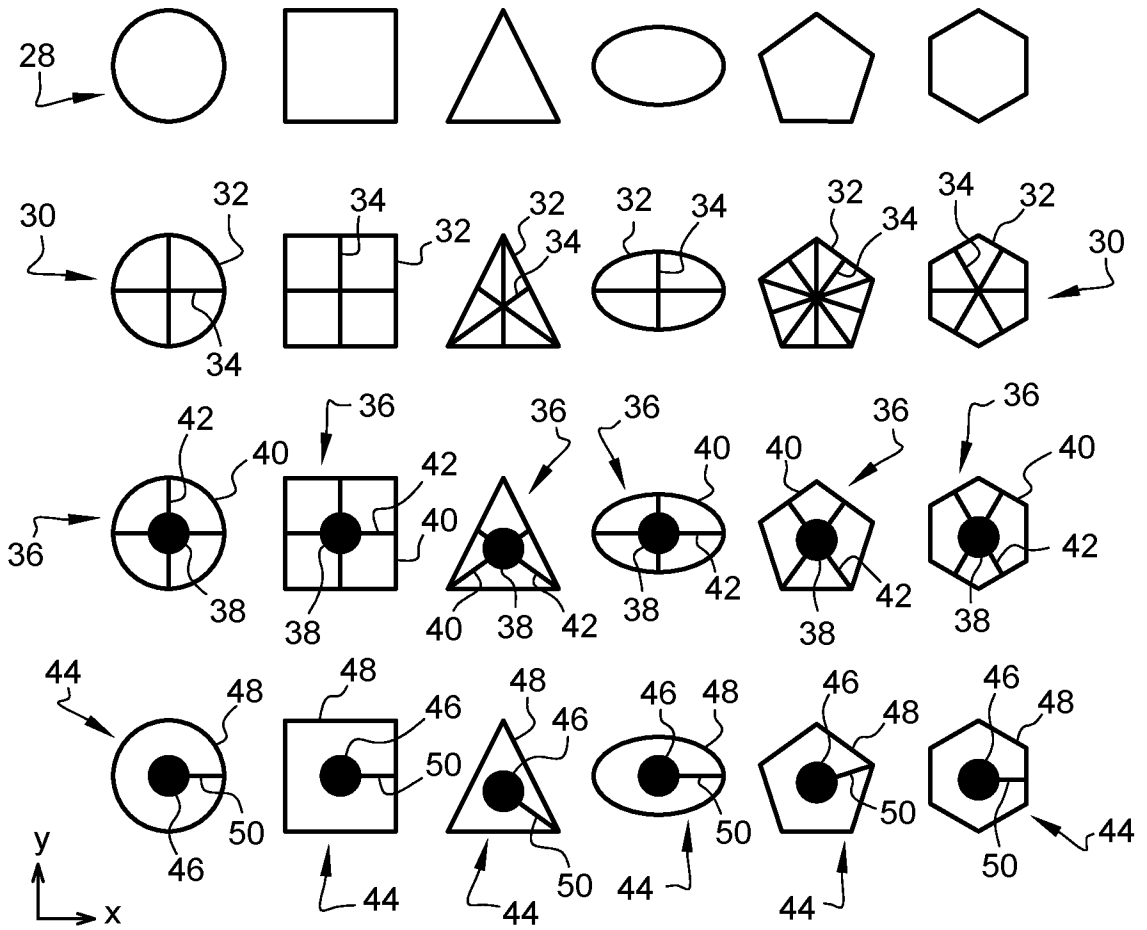


Fig. 7

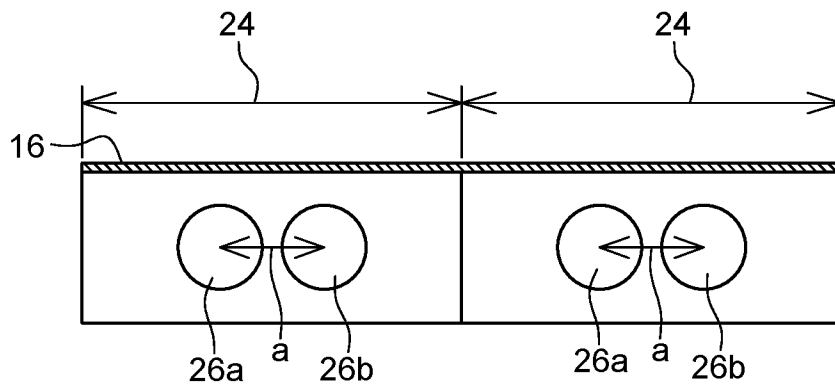


Fig. 8

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/086979**

| <b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b><br><b>G10K 11/165(2006.01)i</b>   |  |  |
|--|--|--|
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC  |  |  |
| <b>B. FIELDS SEARCHED</b>  |  |  |
| Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)<br>G10K  |  |  |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  |  |  |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)<br>EPO-Internal, WPI Data   |  |  |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>  |  |  |
| Category*  | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No.  |
| X  | WO 2015028760 A1 (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]; UNIV MAINE [FR]; SUPMECA [FR]) 05 March 2015 (2015-03-05)   | 1-5,8,10-14,18,19  |
| Y  | p. 4, l. 1-9 ; p. 8, l. 7-8 ; p. 15, l. 8-14;claim 1; figures 2, 1   | 7  |
| X  | EP 3043346 A1 (BASF SE [DE]) 13 July 2016 (2016-07-13)<br>paragraphs [0029] - [0033]; claims 1, 4, 10; figures 1, 4  | 1,16,17  |
| X  | GROBY J-P ET AL. "Using simple shape three-dimensional rigid inclusions to enhance porous layer absorption"<br><i>THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS FOR THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, NEW YORK, NY, US,</i><br>Vol. 136, No. 3, 03 June 2014 (2014-06-03), pages 1139-1148,<br>[retrieved on 1901-01-01]<br>DOI: 10.1121/1.4892760<br>ISSN: 0001-4966, XP012189531<br>p. 1141, 1142, 1144, abstract;figure 4; table 2 | 1,6,9,15   |
| Y  | WO 2017075187 A2 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]) 04 May 2017 (2017-05-04)<br>paragraph [0048]   | 7  |
| <input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.   |  |  |
| * Special categories of cited documents:<br>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance<br>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date<br>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)<br>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means<br>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed<br>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention<br>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone<br>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art<br>"&" document member of the same patent family |  |  |
| Date of the actual completion of the international search<br><b>25 March 2020</b>  |  | Date of mailing of the international search report<br><b>02 April 2020</b> |
| Name and mailing address of the ISA/EP<br><b>European Patent Office<br/>p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk<br/>Netherlands</b><br>Telephone No. (+31-70)340-2040<br>Facsimile No. (+31-70)340-3016  |  | Authorized officer<br><b>Pitzer, Hanna</b><br><br>Telephone No.            |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2019/086979**

| Patent document cited in search report |            |    | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) |              |    | Publication date (day/month/year) |
|--|------------|----|-----------------------------------|-------------------------|--------------|----|-----------------------------------|
| WO                                     | 2015028760 | A1 | 05 March 2015                     | EP                      | 3039672      | A1 | 06 July 2016                      |
|  |            |    |                                   | FR                      | 3010225      | A1 | 06 March 2015                     |
|  |            |    |                                   | US                      | 2016210955   | A1 | 21 July 2016                      |
|  |            |    |                                   | WO                      | 2015028760   | A1 | 05 March 2015                     |
| <hr/>                                  |            |    |                                   |                         |              |    |                                   |
| EP                                     | 3043346    | A1 | 13 July 2016                      | DE                      | 112016000315 | A5 | 05 October 2017                   |
|  |            |    |                                   | EP                      | 3043346      | A1 | 13 July 2016                      |
|  |            |    |                                   | WO                      | 2016113241   | A1 | 21 July 2016                      |
| <hr/>                                  |            |    |                                   |                         |              |    |                                   |
| WO                                     | 2017075187 | A2 | 04 May 2017                       | US                      | 2019139529   | A1 | 09 May 2019                       |
|  |            |    |                                   | WO                      | 2017075187   | A2 | 04 May 2017                       |
| <hr/>                                  |            |    |                                   |                         |              |    |                                   |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2019/086979

| <p>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE<br/>                 INV. G10K11/165<br/>                 ADD.</p>  |  |  |
|---|--|--|
| <p>Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB</p>  |  |  |
| <p>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</p>  |  |  |
| <p>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)<br/>                 G10K</p>  |  |  |
| <p>Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche</p>  |  |  |
| <p>Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)<br/>                 EPO-Internal, WPI Data</p>  |  |  |
| <p>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</p>   |  |  |
| Catégorie*  | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents                                   | no. des revendications visées  |
| X   | WO 2015/028760 A1 (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]; UNIV MAINE [FR]; SUPMECA [FR])<br>5 mars 2015 (2015-03-05)                       | 1-5,8,<br>10-14,<br>18,19  |
| Y   | p. 4, l. 1-9 ; p. 8, l. 7-8 ; p. 15, l. 8-14;<br>revendication 1; figures 2, 1   | 7  |
| X   | EP 3 043 346 A1 (BASF SE [DE])<br>13 juillet 2016 (2016-07-13)<br>alinéas [0029] - [0033]; revendications 1, 4, 10; figures 1, 4 | 1,16,17  |
|   | -----<br>-/--  |  |
| <p><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</p>   |  |  |
| <p><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</p>   |  |  |
| <p>* Catégories spéciales de documents cités:</p>   |  |  |
| <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p>  |  | <p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p> |
| <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p>   |  |  |
| <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p>  |  |  |
| <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p>   |  |  |
| <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p>   |  |  |
| <p>Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée</p>  |  |  |
| <p>25 mars 2020</p>   |  | <p>Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale</p> <p>02/04/2020</p>  |
| <p>Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale</p> <p>Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2<br/>                 NL - 2280 HV Rijswijk<br/>                 Tel. (+31-70) 340-2040,<br/>                 Fax: (+31-70) 340-3016</p> |  | <p>Fonctionnaire autorisé</p> <p>Pitzer, Hanna</p>   |

| C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS |   |                               |
|---|---|-------------------------------|
| Catégorie*                                      | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents  | no. des revendications visées |
| X   | GROBY J-P ET AL: "Using simple shape three-dimensional rigid inclusions to enhance porous layer absorption", THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS FOR THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, NEW YORK, NY, US, vol. 136, no. 3, 3 juin 2014 (2014-06-03), pages 1139-1148, XP012189531, ISSN: 0001-4966, DOI: 10.1121/1.4892760 [extrait le 1901-01-01] p. 1141, 1142, 1144, résumé; figure 4; tableau 2 | 1,6,9,15                      |
| Y   | -----<br>WO 2017/075187 A2 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]) 4 mai 2017 (2017-05-04) alinéa [0048]<br>-----  | 7                             |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2019/086979

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication        |
|---|------------------------|---|-------------------------------|
| WO 2015028760                                   | A1                     | 05-03-2015                              | EP 3039672 A1 06-07-2016      |
|   |                        |   | FR 3010225 A1 06-03-2015      |
|   |                        |   | US 2016210955 A1 21-07-2016   |
|   |                        |   | WO 2015028760 A1 05-03-2015   |
| -----   |                        |   |                               |
| EP 3043346                                      | A1                     | 13-07-2016                              | DE 112016000315 A5 05-10-2017 |
|   |                        |   | EP 3043346 A1 13-07-2016      |
|   |                        |   | WO 2016113241 A1 21-07-2016   |
| -----   |                        |   |                               |
| WO 2017075187                                   | A2                     | 04-05-2017                              | US 2019139529 A1 09-05-2019   |
|   |                        |   | WO 2017075187 A2 04-05-2017   |
| -----   |                        |   |                               |