

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 07160

(54) Vitrage isolant offrant des propriétés acoustiques améliorées.

(51) Classification internationale (Int. Cl. ³). E 06 B 3/66, 5/20.

(22) Date de dépôt..... 9 avril 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : RFA, 14 avril 1980, n° P 30 14 246.2.

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 42 du 16-10-1981.

(71) Déposant : BFG GLASSGROUP, résidant en France.

(72) Invention de : Dietrich Martin, Paul Derner et Wolf Von Reis.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Barnay,
80, rue Saint-Lazare, 75009 Paris.

L'invention se rapporte à un vitrage isolant comprenant une vitre intérieure, une vitre extérieure, un cadre périphérique d'espacement et un espace intermédiaire rempli de gaz, l'une au moins des vitres étant reliée / par au
5 moins un bord au cadre d'espacement à l'aide d'un profilé de jonction flexible, fixé sur le bord de cette vitre. L'espace intermédiaire est de préférence un espace clos. L'une au moins des vitres intérieure et extérieure peut être réalisée sous la forme d'un panneau de verre composite,
10 ou isolant, étant alors constituée elle-même par un vitrage isolant complexe.

Dans une forme de réalisation connue d'un vitrage du genre décrit (demande de brevet allemand n° 2 031 576, figure 2), le profilé de jonction est une bande de tôle
15 élastique plissée en accordéon. La disposition est telle que la vitre correspondante peut, en cas de variations de volume sous l'effet de la température du gaz de remplissage enfermé dans l'espace intermédiaire, se déplacer en quelque sorte à la manière d'un piston avec déformation
20 de la bande de tôle élastique. Egalement lorsque la vitre en cause s'incurve en une forme convexe vers l'extérieur sous l'action de la pression du gaz de remplissage, le profilé de jonction joue un rôle compensateur en se déformant. En pratique, la structure décrite a pour but
25 d'éviter que, dans un vitrage insonore à deux vitres, ces dernières puissent prendre une forme bombée néfaste. Aucune amélioration de l'insonorisation n'est obtenue. Le taux d'isolation acoustique pondéré est relativement bas dans le cas de la forme d'exécution connue et se situe aux
30 environs de 20 à 30 dB, pour autant que l'épaisseur de l'espace intermédiaire entre la vitre intérieure et la vitre extérieure soit voisine de 10 mm environ.

Une augmentation à 100 mm de l'épaisseur de l'espace intermédiaire, ce qui est en pratique fort
35 difficile pour un vitrage isolant à monter dans une fenêtre normale de structure très lourde, ne porte le taux moyen d'isolation acoustique qu'à 38 dB ou le taux pondéré

d'isolation acoustique à 40 dB environ. Même dans le cas de l'utilisation de vitres monolithiques très lourdes, on ne peut guère atteindre avec des vitrages doubles à remplissage d'air un taux pondéré d'isolation acoustique
5 supérieur à 42 dB environ lorsqu'on se limite à des épaisseurs de verre d'isolation comprises entre 70 et 80 mm.

L'invention a par contre pour but d'améliorer notablement, par des moyens simples, l'atténuation acoustique procuré par un vitrage isolant du genre considéré.

10 Ce but est atteint selon l'invention par le fait que le profilé de jonction est réalisé sous la forme d'une membrane en forme de bande, dont la résistance à la flexion est petite par rapport à la résistance à la flexion, à largeur égale, de la vitre associée, et que la membrane
15 en forme de bande est déformable sous l'action d'oscillations transversales dont est le siège le bord de la vitre à laquelle elle est reliée, et cela en correspondance avec ces oscillations.

Les oscillations transversales en cause sont des
20 oscillations de forme plus ou moins sinusoïdale, qui se développent suivant la direction longitudinale du bord et dont les crêtes font saillie hors du plan de la vitre. La résistance à la flexion de la membrane en forme de bande, laquelle peut être en métal, en caoutchouc, en matière
25 plastique ou en une substance analogue, est de préférence inférieure d'un facteur compris entre 10^{-2} et 10^{-6} , de préférence entre environ 10^{-4} et 10^{-5} , à celle de la vitre à laquelle elle est reliée, à largeur égale. Cela signifie que les oscillations transversales décrites ne sont
30 pratiquement pas perturbées dans leur formation par un serrage ou des contraintes analogues. Le plus souvent, la membrane en forme de bande sera constituée par une bande plane, comportant une largeur libre égale environ ou supérieure à l'épaisseur de la vitre à laquelle elle
35 est reliée.

Dans un vitrage isolant selon l'invention, il est en général suffisant de fixer au cadre d'espacement l'une des vitres le long d'un bord à l'aide d'une membrane en

forme de bande. On peut également, selon l'invention, agencer deux bords opposés ou tous les bords de la vitre de la manière décrite à l'aide d'une membrane en forme de bande. Il est encore envisageable d'intégrer au vitrage isolant selon l'invention d'autres vitres ou panneaux, de manière à former des ensembles comportant plus de deux vitres ou panneaux vitrés.

On utilise ici le terme "membrane" au sens de la statique. En pratique, dans un vitrage isolant selon l'invention, la membrane en forme de bande est tout d'abord un élément constructif statique, car il sert également au maintien ou à la fixation de la vitre associée. Dans une membrane en forme de bande apparaissent en cas de serrage et/ou de déformation principalement des contraintes orientées parallèlement à la surface moyenne et réparties sensiblement uniformément dans l'épaisseur de la membrane. Une déformation n'entraîne donc pas des moments de flexion de rappel notables (contrairement à un élément élastique tel qu'on en utilise en tant que bande de jonction dans la forme d'exécution connue décrite au début). La résistance à la flexion d'une membrane en forme de bande est faible. De tels éléments constructifs n'ont pas été jusqu'ici utilisés dans les vitrages isolants, conformément à la théorie prépondérante et aux règles en vigueur. Selon celle-ci (cf Furrer, Lauber "Raum- und Bauakustik, Lärmabwehr", 1972, pages 197 à 230, notamment la page 208 avec la figure 159 et la page 212 avec la figure 164), on considère l'onde sonore incidente dans l'air, l'onde sonore réfléchie, qui n'intervient pas dans les problèmes d'isolation acoustique, et l'onde sonore transmise, essentielle pour le niveau d'insonorisation. Par coïncidence entre l'onde sonore incidente dans l'air et une onde de flexion dans le vitrage isolant apparaît une crevasse de résonance néfaste dans la courbe d'atténuation acoustique tracée en fonction de la fréquence. Il est connu d'amortir cette crevasse de résonance en constituant tout le cadre d'espacement en tant qu'élément d'amortissement. Un tel cadre d'espacement

n'a cependant pas les propriétés ni le comportement de la membrane en forme de bande, essentielle selon l'enseignement de l'invention. Ce cadre ne permet pratiquement pas des oscillations transversales dans le bord de la vitre.

5 L'amortissement rend seulement moins accusée la crevasse de résonance dans la courbe d'atténuation. Dans ce but, le cadre d'espacement est par exemple entièrement fait d'une matière amortissante par frottement interne ou d'éléments métalliques pourvus d'un revêtement
10 convenable. La théorie traditionnelle ne prend pas en considération le problème du rayonnement de l'énergie sonore en tant que problème autonome n'influençant pas l'atténuation acoustique. Certes, on a récemment expérimenté dans le domaine scientifique le rayonnement
15 sonore de plaques (cf Akustika, 1975, pages 244 et 245) et on a amplement étudié le rayonnement de haut-parleurs ; ces recherches n'ont en rien contribué à l'amélioration du taux d'isolation acoustique de vitrages isolants du genre considéré.

20 Dans le cadre de la pratique traditionnelle, on étouffe, dans des vitrages isolants du genre considéré, les oscillations transversales décrites dans la région du cadre d'espacement. Par contre, il a été reconnu selon l'invention que, lorsque la membrane en forme de bande est
25 déformable sous l'action d'oscillations transversales dont est le siège le bord de la vitre à laquelle elle est reliée, et cela en correspondance avec ces oscillations, sans opposer de résistance nuisible à ces oscillations ou déformations, lorsqu'ainsi les oscillations transversales
30 décrites ne sont pas étouffées, un accroissement marqué du taux d'isolation acoustique peut être obtenu : pour un vitrage isolant de conception et de conformation données par ailleurs, l'énergie sonore transmise chute de 50% et plus. Il en est ainsi en particulier dans le
35 domaine des fréquences moyennes. Il en est par ailleurs en particulier ainsi lorsque les vitres comportent une épaisseur totale de verre supérieure à 10 mm, par

exemple 15 mm et plus, et que l'espace intermédiaire qui les sépare présente une épaisseur comprise entre 10 et 70 mm, de préférence entre 25 et 50 mm, le gaz de remplissage n'étant pas de l'air. L'épaisseur totale des verres se
5 situe en général, dans les vitrages isolants selon l'invention, entre 10 et 35 mm. On choisit avantageusement l'espacement des vitres d'autant plus grand que l'épaisseur totale de verre est petite. Par exemple, pour une épaisseur de verre de 10 mm, on choisira un espacement égal ou
10 supérieur à 50 mm, pour une épaisseur de 15 mm un espacement égal ou supérieur à 25 mm et pour une épaisseur de 20 mm un espacement égal ou supérieur à 10 mm.

Une forme d'exécution d'un vitrage isolant selon l'invention, qui se distingue par une atténuation
15 acoustique particulièrement élevée, est, en combinaison avec la disposition et la conformation décrites pour la membrane en forme de bande, caractérisée par le fait que le gaz de remplissage est un gaz dans lequel la vitesse du son est inférieure d'au moins 10% à sa valeur dans
20 l'air. On parvient également à des valeurs d'atténuation acoustique particulièrement élevées lorsque, en combinaison avec la disposition et la conformation décrites pour ladite membrane, ----- le gaz de remplissage est un gaz dans lequel la vitesse du son est supérieure d'au moins 20%, de
25 préférence 30%, à sa valeur dans l'air.

S'il s'agit d'un vitrage isolant de très grandes dimensions, il peut être utile de prévoir des éléments de soutien sous le bord de la vitre reliée à la membrane en forme de bande. Dans ce cas, il convient selon
30 l'invention que ces éléments de soutien soient disposés avec un écartement supérieur à la longueur d'onde des oscillations transversales pour la fréquence d'adaptation apparente. L'expression "fréquence d'adaptation apparente" se rapporte au phénomène déjà mentionné de la coïncidence
35 d'ondes. Lorsque, tandis qu'augmente la fréquence d'excitation, la longueur d'ondes dans l'air devient, pour une fréquence déterminée, plus petite que la longueur d'onde de flexion de la vitre, il apparaît ce qu'on appelle

des effets de coïncidence. Ceux-ci se manifestent par une sorte de résonance spatiale entre l'excitation acoustique de la vitre et ses oscillations de flexion libre. Cet effet est également appelé effet d'adaptation apparente et la fréquence correspondante s'appelle fréquence d'adaptation apparente. Il entre enfin dans le cadre de l'invention de raccorder à la membrane en forme de bande et/ou au bord de la vitre associée des agencements d'amortissement complémentaires. Egalement sur la vitre reliée à la membrane en forme de bande peut être appliquée, du côté opposé au cadre d'espacement, une lèvre de recouvrement reliée par ailleurs au cadre d'espacement ou à un élément de cadre attenant.

La description qui va suivre, en regard des dessins annexés à titre d'exemples non limitatifs, permettra de bien comprendre comment l'invention peut être mise en pratique.

La figure 1 représente en coupe verticale un vitrage isolant selon l'invention.

La figure 2 représente une vue suivant la flèche A de l'objet de la figure 1.

La figure 3 représente une autre forme d'exécution de l'objet de la figure 1.

Le vitrage isolant représenté comprend principalement une vitre intérieure 1, une vitre extérieure 2, un cadre périphérique d'espacement 3 et un ^{espace} intermédiaire rempli de gaz 4. Dans le présent exemple, l'une des vitres, savoir la vitre 2, est reliée par l'un de ses bords, le bord inférieur 5, au cadre d'espacement 3 à l'aide d'un profilé de jonction flexible, fixé au bord de cette vitre. Ce profilé de jonction est réalisé sous la forme d'une membrane en forme de bande 6, qui a été représentée avec une épaisseur exagérée pour la clarté des figures. En pratique, la disposition est telle que la membrane en forme de bande 6 offre une résistance à la flexion petite par rapport à la résistance à la flexion, à largeur égale, de la vitre associée 2. On notera que le rapport V des résistances à la flexion se calcule à l'aide de la formule

7

$$V = \frac{E_M}{E_G} \cdot \frac{D_M^3}{D_G^3}$$

où E_M est le module d'élasticité de la membrane,

5 E_G est le module d'élasticité de la vitre,

D_M est l'épaisseur de la membrane,

D_G est l'épaisseur de la vitre.

La membrane en forme de bande 6 doit en effet être déformable sous l'action d'oscillations transversales 7 dont est le siège le bord 5 de la vitre à laquelle elle est reliée, et cela en correspondance avec ces oscillations 7, sans opposer de résistance néfaste à ces oscillations 7 ou déformations.

De telles oscillations transversales 7 ont été représentées avec une amplitude exagérée sur la figure 2. Dans le présent exemple et selon une forme d'exécution préférée de l'invention, la membrane en forme de bande 6 peut être en métal, en caoutchouc ou en matière plastique, sa résistance à la flexion étant inférieure d'un facteur 20 compris entre 10^{-2} et 10^{-6} à celle de la vitre 2 à laquelle elle est reliée, pour une même largeur. Dans la pratique, on adoptera d'une manière générale un facteur compris entre 10^{-4} et 10^{-5} . Dans le présent exemple et selon une forme d'exécution préférée de l'invention, 25 la membrane en forme de bande 6 est constituée par une bande plane, et sa largeur libre B est environ égale à l'épaisseur D de la vitre 2 à laquelle elle est reliée ; mais elle peut aussi lui être supérieure ou inférieure.

L'épaisseur DZ de l'espace intermédiaire 30 est en principe quelconque dans un vitrage isolant selon l'invention. Les figures 1 et 3 montrent toutes deux une forme d'exécution dans laquelle le dimensionnement est à peu près tel que l'espace intermédiaire présente une épaisseur DZ comprise entre 10 et 70 mm, 35 de préférence voisine de 50 mm environ, tandis que les deux vitres 1,2 offrent une épaisseur totale d'environ 14 mm. Le gaz de remplissage 4 n'est pas de l'air. Il peut être composé soit d'un mélange composé de 40%

d'hexafluorure de soufre et de 60% d'air, soit d'hélium. Dans le premier cas, le gaz de remplissage 4 est un gaz dans lequel la vitesse du son est inférieure d'au moins 10% à sa valeur dans l'air. Dans le second cas, le gaz de remplissage 4 est un gaz dans lequel la vitesse du son est supérieure d'au moins 20% à sa valeur dans l'air. Si l'on compare un tel vitrage isolant avec un vitrage appartenant à l'état de la technique, dans lequel à la place de la membrane 6 est disposé un profilé de jonction faisant ressort et résistant à la flexion, ou dans lequel la vitre correspondante est reliée au cadre d'espacement 3, on constate que, avec ces gaz de remplissage, le taux d'isolation acoustique pondéré atteint environ 50 dB pour la forme d'exécution selon l'invention, tandis que ce taux n'atteint que 45 dB pour la forme d'exécution connue, avec les mêmes gaz de remplissage. (On rappelle qu'à une augmentation de 5 dB du taux d'isolation acoustique correspond une atténuation d'énergie sonore dans un rapport de 3,2).

Dans la forme d'exécution selon l'invention, l'isolation acoustique peut encore être améliorée en augmentant l'épaisseur totale de verre, tandis que dans la forme d'exécution connue une augmentation complémentaire n'est pas possible.

On a indiqué en traits mixtes sur la figure 1 qu'à la membrane en forme de bande 6 et/ou à la vitre associée 2 peuvent être raccordés complémentirement des agencements d'amortissement 8. La figure 3 montre que sur la vitre 2 reliée à la membrane en forme de bande 6 est appliquée, du côté opposé au cadre d'espacement 3, une lèvres de recouvrement 9, qui est par ailleurs reliée à un élément de cadre 10 attenant à un cadre 11.

Quelques exemples concrets de réalisation vont être exposés dans ce qui suit.

Les taux d'isolation acoustique pondérés R_w indiqués ont été mesurés par la méthode des deux chambres conformément à la norme DIN 52 210 sur, sauf indication

contraire, de grandes vitres de 1,25 m x 1,50 m. Sauf indication contraire également, on a utilisé comme profilé de jonction une bande d'acier de 0,15 mm d'épaisseur et de 30 mm de largeur, collée à la vitre sur une largeur de 7 mm et au cadre d'espacement sur une largeur de 10 mm, de sorte que restait libre une largeur B de 13 mm. La membrane était éventuellement disposée sur tout le pourtour de la vitre. Dans les vitrages isolants sans profilé de jonction, les deux vitres étaient collées de la manière habituelle directement au profilé d'espacement. D'une manière abrégée, dans ce qui suit, cette dernière structure a été dénommée "rigide", tandis que l'autre structure, utilisant une membrane, a été dénommée "flexible".

Exemple 1

Epaisseur de la vitre extérieure $D_1 = 5$ mm.
Epaisseur de l'espace intermédiaire $DZ = 50$ mm, celui-ci étant rempli d'un gaz composé de 70% de SF_6 et de 30% d'air.

Epaisseur de la vitre intérieure $D_2 = 4$ mm.
 R_w rigide = 43 dB.
 R_w flexible = 46 dB.
La vitre d'épaisseur 4 mm est disposée en mode flexible.

Exemple 2

$D_1 = 10$ mm.
 $DZ = 30$ mm; gaz de remplissage composé de 70% de SF_6 + 30% d'air.

$D_2 = 4$ mm.
 R_w rigide = 42 dB.
 R_w flexible = 46 dB.
La vitre d'épaisseur 4 mm est disposée en mode flexible.

Exemple 3

$D_1 = 15$ mm.
 $DZ = 50$ mm, remplissage d'air.
 $D_2 = 8$ mm.
 R_w rigide = 42 dB.

10

 R_w flexible = 47 dB.

La vitre d'épaisseur 8 mm est disposée en mode flexible.

Exemple 4

5 $D_1 = 19$ mm.
 DZ = 12 mm, remplissage avec un gaz composé de 70% de SF_6 et de 30% d'air.

 $D_2 = 8$ mm. R_w rigide = 41 dB.

10 R_w flexible = 47 dB.

La vitre d'épaisseur 8 mm est disposée en mode flexible.

Exemple 5

15 $D_1 = 15$ mm.
 DZ = 12 mm, remplissage d'hélium.

 $D_2 = 8$ mm. R_w rigide = 42 dB. R_w flexible = 48 dB.

20 La vitre d'épaisseur 8 mm est disposée en mode flexible. Les mesures sont réalisées sur des vitrages isolants de 6 m² de surface.

Exemple 6

25 $D_1 = 10$ mm.
 DZ = 50 mm, remplissage avec un gaz composé de 40% de SF_6 + 60% d'air.

 $D_2 = 4$ mm. R_w rigide = 45 dB. R_w flexible = 50 dB.

30 La vitre d'épaisseur 4 mm est disposée en mode flexible.

Exemple 7

Structure des vitres et remplissage de gaz comme dans l'exemple 6, excepté que la largeur libre de la membrane d'acier est moitié (6,5 mm).

35 R_w flexible = 50 dB.

Exemple 8

Structure et remplissage de gaz comme dans

11

l'exemple 7, mais avec une lèvre de caoutchouc 9 de 5 mm d'épaisseur et de dureté Shore de 40 (cf la figure 3).

R_w flexible = 51 dB.

Exemple 9

5 Structure des vitres et remplissage de gaz comme dans l'exemple 6, excepté qu'à la place de la membrane d'acier de 0,15 mm d'épaisseur est utilisée une bande d'aluminium de 0,1 mm d'épaisseur.

R_w flexible = 50 dB.

10 Exemple 10

Géométrie et remplissage de gaz comme dans l'exemple 6, mais la membrane d'acier flexible est remplacée par une membrane de caoutchouc de 5 mm d'épaisseur et de dureté Shore de 40.

15 R_w flexible = 50 dB.

Exemple 11

D_1 = 19 mm.

DZ = 50 mm, remplissage avec un gaz composé de 70% de SF_6 + 30% d'air.

20 D_2 = 8 mm.

R_w rigide = 44 dB. R_w flexible = 54 dB.

La vitre de 8 mm d'épaisseur est disposée en mode flexible.

25 La vitesse du son C dans les gaz de remplissage et son rapport C_G/C_L à la vitesse du son dans l'air, ainsi que le rapport V des résistances à la flexion de la membrane et du verre sont donnés dans les deux tableaux suivants.

TABLEAU I

Gaz	C (m/s)	$\frac{C_G}{C_L}$
100% air	329	
40% SF ₆ + 60% air	197	0,60
70% SF ₆ + 30% air	156	0,47
100% He	966	2,94

TABLEAU II

Membrane (épaisseur et volume)	Verre (épaisseur)	V
0,15 mm acier	4 mm	$1,6 \cdot 10^{-4}$
	8 mm	$2,0 \cdot 10^{-5}$
0,1 mm Al	4 mm	$1,6 \cdot 10^{-5}$
5 mm caoutchouc	4 mm	$\sim 10^{-5}$

REVENDICATIONS

1.- Vitrage isolant comprenant une vitre intérieure, une vitre extérieure, un cadre périphérique d'espacement et un espace intermédiaire rempli de gaz, l'une au moins
5 des vitres étant reliée par au moins un bord au cadre d'espacement à l'aide d'un profilé de jonction flexible, fixé sur le bord de cette vitre, caractérisé par le fait que le profilé de jonction est réalisé sous la forme d'une membrane en forme de bande (6), dont la résistance à
10 la flexion est petite par rapport à la résistance à la flexion, à largeur égale, de la vitre associée (2), et que la membrane en forme de bande (6) est déformable sous l'action d'oscillations transversales (7) dont est le siège le bord (5) de la vitre à laquelle elle est
15 reliée, et cela en correspondance avec ces oscillations (7).

2.- Vitrage selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la membrane en forme de bande (6) est en métal, en caoutchouc, en matière plastique ou
20 en une substance analogue et offre une résistance à la flexion inférieure d'un facteur compris entre 10^{-2} et 10^{-6} , de préférence entre environ 10^{-4} et 10^{-5} , à celle de la vitre (2) à laquelle elle est reliée.

3.- Vitrage selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que la membrane en forme de bande (6) est constituée par une bande plane.

4.- Vitrage selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que la membrane en forme de bande (6) comporte une largeur libre (B)
30 égale environ à l'épaisseur (D) de la vitre (2) à laquelle elle est reliée.

5.- Vitrage selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que sur la vitre (2) reliée à la membrane en forme de bande (6) est
35 appliquée, du côté opposé au cadre d'espacement (3), une lèvre de recouvrement (9), qui est par ailleurs reliée au cadre d'espacement (3) ou à un élément de cadre (10) attenant.

6.- Vitrage selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans la forme d'exécution où les vitres comportent une épaisseur totale de verre supérieure à 10 mm, caractérisé par le fait que l'espace intermédiaire qui les sépare présente une épaisseur (DZ) comprise entre 10 et 70 mm, de préférence entre 25 et 50 mm, et que le gaz de remplissage (4) n'est pas de l'air.

7.- Vitrage selon la revendication 6, caractérisé par le fait que le gaz de remplissage (4) est un gaz dans lequel la vitesse du son est inférieure d'au moins 10% à sa valeur dans l'air.

8.- Vitrage selon la revendication 6, caractérisé par le fait que le gaz de remplissage (4) est un gaz dans lequel la vitesse du son est supérieure d'au moins 20%, de préférence 30%, à sa valeur dans l'air.

9.- Vitrage selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans la forme d'exécution comprenant des éléments de soutien sous le bord de la vitre reliée à la membrane en forme de bande, caractérisé par le fait que les éléments de soutien sont disposés avec un écartement supérieur à la longueur d'onde des oscillations transversales (7) pour la fréquence d'adaptation apparente.

10.- Vitrage selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé par le fait qu'à la membrane en forme de bande (6) et/ou au bord (5) de la vitre associée (2) sont raccordés complémentirement des agencements d'amortissement (8).

1/2

Fig.1

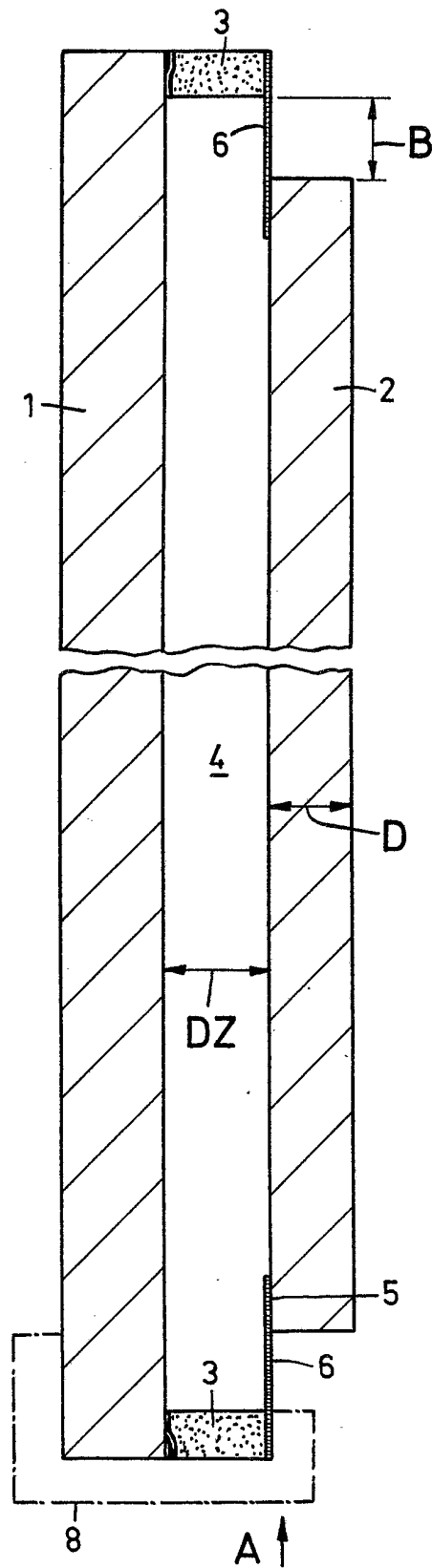


Fig.2

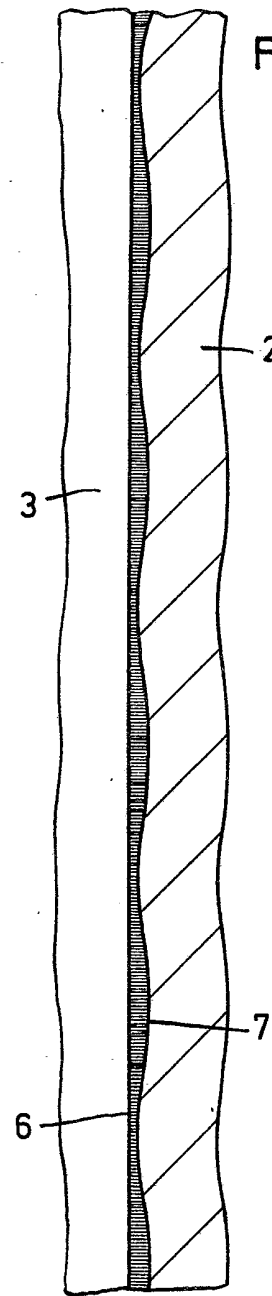


Fig.3

