

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 027 273

②1 N° d'enregistrement national : **14 60011**

⑤1 Int Cl⁸ : **B 61 D 25/00 (2016.01), B 61 D 17/08, B 60 J 1/10**

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 **Date de dépôt** : 17.10.14.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 22.04.16 Bulletin 16/16.

⑤6 **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire** : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

Demande(s) d'extension :

⑦1 **Demandeur(s)** : AIRBUS DEFENCE AND SPACE SAS
Société par actions simplifiée — FR.

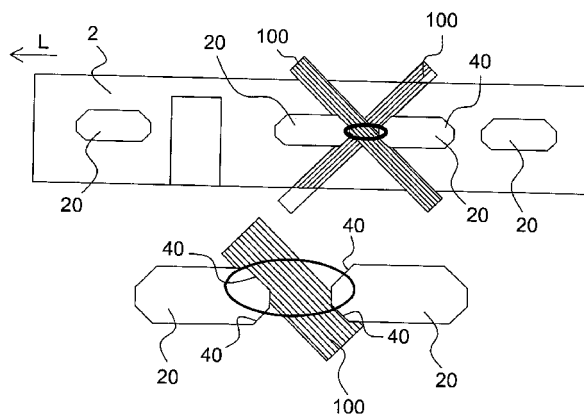
⑦2 **Inventeur(s)** : CLAUDEL SYLVAIN et AUBERON
MARCEL.

⑦3 **Titulaire(s)** : AIRBUS DEFENCE AND SPACE SAS
Société par actions simplifiée.

⑦4 **Mandataire(s)** : CABINET SCHMIT CHRETIEN.

⑤4 **ARCHITECTURE DE PAROI DE FACE DE VOITURE TELLE QU'UNE VOITURE DE TRAIN EN COMPOSITE SANDWICH.**

⑤7 L'objet de l'invention est une voiture de véhicule roulant (1) caractérisée en ce qu'elle comporte des parois latérales (2) d'un seul tenant en matériau composite comportant une structure sandwich (10) pourvue d'une première peau (11) côté extérieur de la voiture, une seconde peau (12) côté intérieur de la voiture et une âme en mousse à cellules fermées (13a) ou en nid d'abeille (13b) entre lesdites peaux, lesdites parois étant pourvues d'ouvertures de fenêtres (20) formées par des interruptions de drapages de fibres longitudinales, de fibres transversales et de fibres diagonales croisées (100), lesdites ouvertures (20) ayant une forme polygonale réduisant la surface de fibres diagonales (100) interrompues dans les coins des ouvertures.



FR 3 027 273 - A1



ARCHITECTURE DE PAROI DE FACE DE VOITURE TELLE QU' UNE VOITURE DE TRAIN EN COMPOSITE SANDWICH

Domaine de l'invention

La présente invention concerne une architecture de paroi de face de voiture
5 telle qu'une voiture de train en composite sandwich équipée d'ouvertures.

L'invention porte sur une solution de conception d'un panneau de structure
en matériau composite équipé d'ouvertures : baies, hublots, fenêtres destiné à
alléger globalement le poids de la structure et applicable notamment sur les parois
d'une caisse de transport ferroviaire, qu'il s'agisse de matériel urbain, métro,
10 tramway, train régional ou de voitures pour lignes grande vitesse.

Arrière plan technologique

Les concepteurs de structures de trains doivent parvenir à des compromis
entre diverses exigences parfois contradictoires :

Ils cherchent à diminuer la masse des structures afin d'augmenter la charge
15 utile et/ou à réduire les consommations d'énergie mais ils doivent maîtriser les
coûts de production et donc trouver des solutions simples tout en assurant le
confort et la sécurité des passagers, et notamment de manière non limitative :

- En limitant les déformations structurales des voitures de train ce qui
implique une raideur en flexion suffisante de ces voitures, cette raideur est par
20 ailleurs importante pour éviter les couplages avec les modes de suspension des
trains;
- En limitant les bruits à l'intérieur des voitures;
- En offrant une garantie contre le feu et les fumées aux passagers;
- En supportant les ondes de pression;

- En supportant les tractions et compressions liées à la traction.

De façon plus précise, une structure de caisse de train se comporte mécaniquement comme un caisson en flexion dont le pavillon (le toit) et le châssis (le plancher) constituent les semelles et les faces constituent les voiles verticales.

5 Comme représenté en figure 1, les faces, quand à elles, sont soumises majoritairement à des contraintes de cisaillement 201.

En outre, les panneaux sont soumis également à des sollicitations de flexion induites par les ondes de pression de l'ordre de 8000Pa subies lors des croisements et/ou les passages en tunnels pour un train à grande vitesse, à l'effet
10 des charges verticales 201, masse des équipements et des passagers sur le châssis, les efforts locaux ou autres.

A ce jour les caisses sont essentiellement composées de structures métalliques, par exemple tôles en acier ou profilés d'aluminium mécano-soudés, telles que décrit par exemple dans le document EP0392828A1 ou
15 JP2000264200A.

De façon générale, on constate que ces structures se présentent soit comme dans le document JP4427273B2 sous forme de parois sandwich, c'est-à-dire de deux peaux métalliques reliées entre elles par des éléments, soit par des panneaux renforcés par des raidisseurs comme décrit dans le document
20 JP2000264200A soit par une combinaison de deux types de solutions

Néanmoins, il est naturel dans le domaine des transports d'envisager des solutions plus légères, en utilisant des matériaux composites à hautes performances, comme cela a pu être le cas par le passé dans les domaines pionniers de l'aéronautique et du spatial. Cela a été proposé par exemple dans les
25 documents EP0544473A1 et EP0544498A1 sous forme de panneaux sandwich à âme en nid d'abeille avec insertion de raidisseurs.

La nécessité d'une rigidité flexionnelle longitudinale des panneaux latéraux vient du fait qu'une structure de train est une poutre en appui sur ses essieux. Cette rigidité doit être contrôlée d'une part pour limiter les flèches, mais également
30 pour contrôler les vibrations et les résonnances - liées à la vitesse de déplacement des trains.

Au delà de la problématique de la raideur, signalons deux brevets qui montrent les difficultés de maîtriser cette raideur du fait de la présence de

fenêtres, le document JP2000264200A qui propose des raidisseurs qui ne sont pas simplement verticaux, mais dont l'angle par rapport à la verticale est optimisé. Dans ce brevet, il est même proposé une vitre continue, simplement localement masquée par des piliers inclinés de liaison sol/plafond.

5 Le document US8656841B1 propose des fenêtres oblongues et non rectangulaire comme usuellement et dans les deux cas, la forme de la fenêtre est modifiée pour être compatible avec une maîtrise de la rigidité des panneaux.

Les matériaux composites structuraux qui permettent d'assurer le gain de masse recherché avec le niveau de performance requis sont à base de fibres
10 longues et continues de carbone ou de verre. Dans ce type de matériaux, la fibre représente environ 50% à 60% du volume, le reste étant constitué d'une matrice organique (en général une résine de type époxy mais aussi parfois en polyester, vinylester, etc, et éventuellement des résines thermoplastiques telles les polyamides, les peek, etc...).

15 Pour la fabrication de structures, il existe deux grandes familles de matériaux composites :

- Les matériaux dits monolithiques, constitués d'un empilement de fibres;
- Les matériaux sandwich, constitués de deux peaux de nature
20 identique aux matériaux monolithiques séparées par une âme. Cette âme est souvent constituée d'un matériaux de très basse densité, type nid d'abeille, ou mousse, ou autre (balsa parfois). Cela permet d'obtenir les propriétés d'inertie de flexion hors plan souhaitée. Ce type de structure est avantageux en termes de
25 performance et de coût.

Dans un matériau sandwich, l'inertie en flexion des panneaux, dans le sens de leur épaisseur, est apportée naturellement par l'écartement des peaux. Il s'agit de l'un des avantages majeurs de ce type d'architecture.

D'autres matériaux d'âmes peuvent être utilisés, par exemple des matériaux
30 plus denses destinées à donner des capacités d'amortissement sonore à la structure sandwich. Voir par exemple le document JP2001278039A.

Les matériaux composites permettent donc de mettre en oeuvre les mêmes solutions techniques que les matériaux métalliques, à savoir des structures

monolithiques raidies ou des structures sandwich, mais avec une grande variété de solutions possible, car de nombreuses combinaisons sont possibles entre les diverses fibres (Carbone, Verre, SiC, fibres végétales, ...), les résines (époxy, polyester, vinylester, PEEK, polyamides, ... thermodurcissables ou thermoplastiques) et les âmes (nids d'abeilles métalliques, mousses ou autres).

Par ailleurs, les propriétés mécaniques optimales des matériaux composites étant assurée par les fibres, ces matériaux sont par nature anisotropes, et de ce fait leur optimisation des structures nécessite que les orientations des fibres dans l'épaisseur du matériau soient définies en fonction des sollicitations mécaniques que voit la structure.

Ainsi, pour le pavillon et le châssis, les exigences de raideur conduisent à orienter préférentiellement les fibres dans le sens de la longueur. Par contre, concernant les panneaux de faces, la contrainte de cisaillement qui s'applique doit être reprise par des fibres orientées plutôt à + et -45°. C'est en effet dans ces conditions que la structure est optimisée dans son fonctionnement mécanique, et donc par conséquent en masse et en coût.

Comme toute véhicule destiné au transport de passagers (automobile, autocar, train, avions, véhicule spatial même), les voitures de train doivent comporter des fenêtres. Ces fenêtres étant faite de matériaux différents du reste de la structure du véhicule, elles doivent être l'objet d'une conception spécifique.

Un dispositif de fixation des fenêtres au reste de la paroi ou de la structure doit être mis en place, comme par exemple dans le brevet FR 2911112A1 relatifs aux avions. En outre, un renforcement de la structure dans leur voisinage doit être prévu comme décrit dans ce le brevet US 2012/0223187A1.

Dans le cas de voitures qui sont des structures en matériaux composite comme vu précédemment, la contrainte de cisaillement qui s'applique sur la face doit être reprise par des fibres orientées à +45° et -45° par rapport à l'horizontale.

Or, comme représenté en figure 3, au niveau des panneaux des faces, la présence des angles de baies classique de forme rectangulaire conduit à couper les fibres entre le haut et le bas du panneau de face, ce qui peut nécessiter d'augmenter la distance entre deux fenêtres ou bien l'épaisseur locale de matériaux entre deux fenêtres ce qui complique la fabrication du panneau et la rend plus onéreuse

Aussi, il a été proposé de modifier la forme des fenêtres dans le cas de structure en matériaux composites et le document US 2012/0223187A1 propose donc dans ce cas des hublots en forme de « diamant » pour un fuselage d'avion, ainsi que la façon de faire leur dimensionnement. Cette forme de hublots de petite
5 taille est évidemment inadaptée pour un train de voyageurs.

Brève description de l'invention

Il est donc connu de faire des caisses de train en matériaux composites, en particulier sous la forme de panneaux sandwich.

Ceci étant, les technologies envisageables sont nombreuses, tant en termes
10 de matériaux (fibres, résines, âmes) que de procédé de mise en oeuvre (drapage de pré-imprégnés, infiltration et ses variantes, ..). Il est aussi connu alors d'adapter la forme des fenêtres pour améliorer la raideur longitudinale de la caisse et, pour les avions, une forme de type diamant a été proposée pour les hublots de façon à encore mieux les adapter aux orientations préférentielles des fibres qu'implique
15 l'optimisation en matériaux composites. Il en est de même d'ailleurs de la modification des peaux des matériaux composite sandwich pour améliorer leur capacité à passer plus d'efforts localement.

Par contre, il n'est pas connu d'optimiser les fenêtres des voitures en matériau composite. Il en est de même en ce qui concerne la façon de le faire.

20 Or les fenêtres de train se distinguent de celles des avions par leur surface unitaire, largement supérieure à celle des avions, par leur géométrie, qui se caractérise par un allongement (rapport de la longueur élevée au carré sur la surface) supérieur à 2 pour la majorité des fenêtres d'une caisse, par la surface totale vitrée comparée à la surface de paroi de la structure latérale, également très
25 supérieure à celle des avions. Ces aspects se justifient par le besoin d'assurer un confort maximal aux voyageurs pendant le trajet, la visibilité et la luminosité étant des aspects importants de ce confort.

Outre ces distinctions, le dimensionnement de la partie courante d'un tronçon de caisse de train se distingue également de celui d'un fuselage d'avion
30 par les spécificités suivantes :

une absence de contrainte induite par le besoin de pressurisation statique de la structure, mais à contrario des contraintes de pressions sous la formes d'ondes de surpression suivie de dépression impactant la structure et les baies en

dynamique rapide lors des passages en tunnels et/ou lors des croisements. Les niveaux de ces pressions (valeurs crêtes) sont de l'ordre de ± 5000 à ± 6000 Pa jusqu'à 8000 Pa pour la grande vitesse;

la nécessité de contrôler la fréquence propre de la structure, pour éviter sa
5 mise en résonance lors du déplacement de la voiture typiquement >11 hz;

la nécessité de supporter les efforts (traction/compression) de la traction entre voitures.

Enfin, et même si les couts sont à prendre en compte dans toute activité industrielle, les exigences dans le domaine du ferroviaire en termes de réduction
10 de cout sont encore plus sévères qu'en aéronautique (le cout au kg accepté est plus de 10 fois moindre), ce qui en fait un critère encore plus important pour les choix de solutions.

L'invention a donc pour objectif de proposer une solution pour réduire la masse des structures d'une caisse de train par l'utilisation des matériaux
15 composites tout en maximisant la surface vitrée disponible pour les passagers.

L'invention permet de concevoir une face (paroi) de voiture fabriquée en matériau composite sous forme d'un sandwich monobloc, renforcé localement seulement pour les interfaces, à base de fibres de carbone haute résistance pour
20 l'essentiel, échantillonnées pour optimiser au mieux les sollicitations mécaniques, mais également prenant en compte des exigences de finition et d'intégration, comportant des ouvertures de forme adaptées pour une meilleure utilisation de cet échantillonnage.

L'invention propose plus particulièrement une voiture de véhicule roulant qui comporte des parois latérales d'un seul tenant en matériau composite comportant
25 une structure sandwich pourvue d'une première peau côté extérieur de la voiture, une seconde peau côté intérieur de la voiture et une âme en mousse à cellules fermées ou en nid d'abeille entre lesdites peaux, lesdites parois étant pourvues d'ouvertures de fenêtres formées par des interruptions de drapages de fibres longitudinales, de fibres transversales et de fibres diagonales croisées, lesdites
30 ouvertures ayant une forme polygonale réduisant la surface de fibres diagonales interrompues dans les coins des ouvertures.

L'invention permet notamment de se passer de raidisseurs ou d'éléments de treillis métallique pour renforcer la structure.

Pour une rigidité accrue de la caisse, les ouvertures ont préférablement une forme générale hexagonale ou octogonale comportant deux grands côtés horizontaux reliés par des bordures latérales convexes comportant deux segments, trois segments ou un segment de forme ovale.

- 5 Avantageusement, les ouvertures sont équipées d'une bordure de renfort pourvue d'un cadre tubulaire.

Selon un mode de réalisation particulier, la bordure de renfort comporte une aile interne de fixation de la bordure sur le bord de l'ouverture côté interne de la paroi.

- 10 Le cadre tubulaire est avantageusement de section rectangulaire, l'aile interne prolongeant une face du cadre tubulaire sur l'intérieur de la paroi.

L'aile interne se fixe préférablement sur l'intérieur de la paroi au moyen de vis, rivets ou autres moyens de fixation qui solidarisent l'aile et la peau interne du panneau composite.

- 15 Avantageusement, une face du cadre tubulaire dirigée vers l'intérieur de la voiture se fixe au moyen de vis, rivets ou autres moyens de fixation sur un rebord de l'ouverture réalisé par la seconde peau débordant de l'âme de la paroi.

Selon un mode de réalisation particulier, la bordure de renfort comporte une collerette interne accueillant une fixation d'une fenêtre.

- 20 Selon un mode de réalisation particulier, au moins une des deux peaux de la structure sandwich est réalisée au moyen de plis orientés selon 4 directions privilégiées 0° (axe longitudinal de la caisse), 90° , $+45^\circ$ et -45° .

Selon un mode de réalisation avantageux, les plis sont des plis préimprégnés de grammage unitaire compris entre 125g/m^2 et 500g/m^2 .

- 25 Selon un mode de réalisation avantageux limitant le nombre de plis interrompus, les segments d'angle desdites ouvertures sont inclinés entre 45° et 60° par rapport à une direction longitudinale de la paroi et préférablement inclinés entre 45° et 50° par rapport à une direction longitudinale (L) de la paroi.

- 30 Les fils à 45° sont avantageusement sous la forme de au moins deux plis de $\pm 45^\circ$ en fibre de carbone.

Selon un mode réalisation préférentiel, l'âme du sandwich est réalisée avec un matériau choisi parmi le poly(téréphtalate d'éthylène (PET), le polyméthacrylimide (PMI), le Polyétherimide (PEI), un nid d'abeille aluminium ou

un nid d'abeille poly(m-phénylèneisophthalamide) (MPD-I) (structure imprégnée de résine phénolique).

Brève description des dessins

5 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront apparents à la lecture de la description qui suit d'un exemple non limitatif de réalisation de l'invention en référence aux dessins qui représentent:

en figure 1: une représentation de principe des contraintes de cisaillement selon la direction longitudinale d'un panneau latéral de voiture de train;

en figure 2: un détail d'un panneau de l'invention;

10 en figure 3: une représentation d'un panneau de l'art antérieur;

en figure 4: une vue en perspective d'une partie de panneau et d'ouvertures selon l'invention;

aux figures 5A, 5B: un détail en coupe d'un cadre de renfort au niveau d'une ouverture de fenêtre dans la paroi selon deux modes de réalisation;

15 en figure 6: une vue de face d'un exemple de réalisation de panneau de l'invention pour une voiture à deux étages;

en figure 7: une représentation schématique de la structure de la paroi de l'invention entre des ouvertures de fenêtres;

20 en figure 8: une vue en perspective d'une caisse de voiture avec des parois selon un aspect de l'invention;

en figure 9A: une vue schématique de passages de fibres inclinées entre ouvertures;

aux figures 9B et 9C: des courbes représentatives des contraintes et cisaillement au niveau de découpe des ouvertures dans le cadre de l'invention.

25 Description détaillée de modes de réalisation de l'invention

L'invention est principalement décrite aux figures 2 et 4 à 8.

Son principe est de réaliser une voiture de train 1 dont un exemple est donné en figure 8, qui comporte des parois latérales 2 d'un seul tenant en matériau composite.

30 Le matériau choisi a une structure sandwich 10 représentée en figure 2 et pourvue d'une première peau 11 côté extérieur de la voiture, une seconde peau 12 côté intérieur de la voiture et une âme à cellules fermées 13a ou en nid d'abeille 13b entre lesdites peaux.

Selon l'invention, les parois sont pourvues d'ouvertures de fenêtres 20 formées par des interruptions de drapages de fibres longitudinales, de fibres transversales et de fibres diagonales croisées 100 de la structure sandwich, lesdites ouvertures 20, telles que représentées à la figure 4 ayant une forme
5 hexagonale comportant deux grands côtés horizontaux et des parois latérales 29 à profil en V convexe ou à profil ovale qui réduisent la surface de fibres diagonales 100 interrompues dans les coins des ouvertures et à la figure 7 une forme octogonale pour laquelle les côtés latéraux comportent trois segments.

Par rapport à une structure monolithique équipée de raidisseur, les
10 structures sandwichs offrent notamment les avantages suivants :

- Coûts de fabrication et masse réduits, fonction d'isolation thermique réalisée par l'âme.

Les panneaux monolithiques ont par rapport à une telle solution de structure sandwich les inconvénients suivants:

- 15 - Coût de fabrication (assemblage des cadres et raidisseurs sur les peaux) plus élevé, coût d'assemblage (assemblage local dans les zones de cadres) important.
- De plus, les cadres sont plus épais que le sandwich ce qui réduit localement le volume interne des structures construites.

20 Les matériaux, composite et âme, du panneau doivent être choisis pour respecter de nombreuses contraintes, ce qui conduit à éliminer nombre de solutions potentielles, et au final à retenir des solutions qui sont des compromis encore une fois parmi les multiples solutions envisagées.

Les principales contraintes à prendre en compte sont décrites ci-dessous
25 avec en premier lieu les contraintes mécaniques.

Pour les peaux :

- 30 - Les modules de traction/compression des plis élémentaires, un pli élémentaire étant l'élément de base des empilements de fibre, soit une nappe monocouche d'unidirectionnel (UD) soit un tissu, doivent apporter la raideur souhaitée dans l'empilement. Le choix de la fibre intervient ici au premier ordre. Pour des raisons de coût, le choix s'est porté sur des fibres « HR » (haute résistance) de grade industriel,

notamment T700 de la société Hexcel, TR50S de la société Mitsubishi, Pannex 35 de la société Zoltec.

- La tenue mécanique du pli élémentaire sous les charges de service doit être vérifiée. Les propriétés de la résine interviennent tout autant que les propriétés de la fibre.

5

Compte-tenu de l'application structurale visée et des contraintes sévères auxquels le matériau doit répondre (durée de vie de 30ans en ambiance humide, tenue en température $> 60^{\circ}\text{C}$, fatigue cyclique jusqu'à 10 millions de cycles, ..), tenue aux chocs (...), une résine époxy a été retenue.

10

Les propriétés mécaniques minimale du pli unidirectionnel fibre de carbone/résine considérées en fin de vie et à température maximale de fonctionnement sont les suivantes :

	Données (max T° / fin de vie)
résistance composite - traction 0° (Mpa)	>726
module composite - traction 0° (Gpa)	>114
-résistance composite en compression 0° (Mpa)	>508
-module composite en compression à 0° (Gpa)	>103
-module composite en traction à 90° (Gpa)	>3,0
résistance au cisaillement plan - Tau_12 (Mpa)	>33
module de cisaillement plan - G_12 (Gpa)	>2,0
ILSS (contrainte inter laminaire de cisaillement) (Mpa)	>29

15

Les propriétés mécaniques minimale du pli unidirectionnel fibre de verre/résine considérées en fin de vie et à température maximale de fonctionnement sont les suivantes :

	Données (max T° / fin de vie)
résistance composite - traction 0° (Mpa)	>472
module composite - traction 0° (Gpa)	>35
-résistance composite en compression 0° (Mpa)	>331
-module composite en compression à 0° (Gpa)	>30
-module composite en traction à 90° (Gpa)	>3,0
résistance au cisaillement plan - Tau_12 (Mpa)	>29
module de cisaillement plan - G_12 (Gpa)	>2,0
ILSS (contrainte inter laminaire de cisaillement) (Mpa)	>21

Pour l'âme du panneau :

- 5 - Le module de cisaillement intervient dans la raideur en flexion du panneau. Les tenues en traction/compression et en cisaillement du matériau doivent être notamment adaptées pour assurer une tenue mécanique suffisante sous les charges de service. La densité du matériau est une donnée importante dans une optique de minimisation de la masse de la structure.
 - 10 Outre le comportement mécanique, le choix des matériaux du panneau sandwich fait intervenir d'autres considérations, comme la compatibilité avec le procédé de fabrication visé. Les contraintes de coût associées aux dimensions importantes des pièces justifient la sélection d'un procédé de fabrication sous vide (hors autoclave). L'impact de ce choix intervient au premier ordre sur la sélection
 - 15 de la résine.
- De ce fait, le matériau d'âme doit être capable de supporter les contraintes (pression = 0,1 Mpa + température jusqu'à 120°C) induites lors de la mise en oeuvre du cycle de polymérisation. Ces contraintes conduisent à écarter certains produits (ex : mousse PET de densité inférieure à 100kg/m³).

Le matériau doit en outre respecter des normes ferroviaire de comportement au feu et notamment la norme EN45545 dans sa version 2013.

Pour les mousses cellulaires, certaines familles de matériaux tels que le poly(téréphtalate d'éthylène (PET) dans certaines densités, le polyméthacrylimide (PMI), le Polyétherimide (PEI) satisfont à l'ensemble de ces exigences. Les âmes en nid d'abeille aluminium ou nid d'abeille poly(m-phénylèneisophtalamide) (MPD-I) (structure imprégnée de résine phénolique) (connu sous la marque NOMEX par exemple) y satisfont également.

L'isolation thermique est aussi une contrainte à prendre en compte. L'utilisation d'un matériau d'âme constitué de cellules fermées présentant intrinsèquement d'excellentes propriétés d'isolation thermique offre l'avantage d'intégrer la fonction de protection thermique dans la fabrication du panneau, et ainsi gagner du coût et du cycle sur la réalisation de cette fonction généralement réalisée au niveau de la structure de caisse.

Pour éviter des phénomènes de vieillissement accéléré des matériaux par absorption d'eau mais aussi des risques de dégradation sous l'action du gel, le choix d'un matériau d'âme à cellule fermée est donc là aussi préféré. Compte-tenu des points évoqués ci-avant et en y intégrant des contraintes de coût, les solutions préférentiellement retenues sont décrites dans le cadre d'une application comme suit:

La face de la voiture est un panneau sandwich d'une seule pièce percée pour réaliser les ouvertures telles que fenêtre, portes, dispositifs d'affichage ou autres. Les ouvertures comportent des renforcements servant à la fixation des éléments sur ces ouvertures (vitrages, portes, ...) et permettant de compenser la perte de raideur du panneau de face lié à la présence du trou. Ce renforcement au niveau des ouvertures de fenêtres est apporté par une bordure de renfort à cadre de bordurage (métallique dans le cas de l'exemple) tel que représenté en figure 4 et en section de coupe du trou du panneau composite borduré par la bordure de renfort 21 aux figures 5A et 5B.

Selon ces exemples, la bordure de renfort 21 est pourvue d'un cadre tubulaire 30.

Dans le cas de la figure 5A, la bordure comporte une aile 31 dite aile interne permettant de fixer la bordure sur le bord 2a de l'ouverture sur la face interne du panneau, c'est à dire la face se trouvant à l'intérieur de la caisse.

Le tube de réalisation du cadre tubulaire 30 est de section rectangulaire, 5 l'aile interne 31 prolongeant une face latérale 21a du cadre tubulaire de la bordure de renfort 21.

L'aile interne 31 se fixe sur la paroi côté intérieur de la voiture au moyen de vis, rivets ou autres moyens de fixation 32 qui, dans le cas de rivets, vont enserrer l'aile externe et la peau formant la face intérieur de la paroi de la voiture. Un joint 10 37a est interposé entre l'aile 31 et la face interne de la paroi.

La face latérale 21b du cadre tubulaire 30 dirigée vers l'extérieur de la voiture se fixe au moyen de vis, rivets ou autres moyens de fixation 32 sur un rebord de l'ouverture réalisé par la peau 2b du panneau formant la face externe de la caisse et qui déborde par rapport à l'âme du panneau. Un joint 37b est intercalé 15 entre la face latérale 21b et la seconde peau 2b.

La bordure de renfort 21 comporte en outre une collerette interne 34 de fixation de la fenêtre.

L'aile interne 31 se fixe sur la paroi côté intérieur de la voiture au moyen de vis, rivets ou autres moyens de fixation 32 qui, dans le cas de rivets, vont enserrer 20 l'aile externe et la peau formant la face intérieur de la paroi de la voiture. Un joint 37a est interposé entre l'aile 31 et la face interne de la paroi.

La face latérale 21b du cadre tubulaire 30 dirigée vers l'extérieur de la voiture se fixe au moyen de vis, rivets ou autres moyens de fixation 32 sur un rebord de l'ouverture réalisé par la peau 2b du panneau formant la face externe de 25 la caisse et qui déborde par rapport à l'âme du panneau.

La bordure de renfort 21 comporte en outre une collerette interne 34 de fixation de la fenêtre.

Dans le cas de la figure 5B, outre les éléments vus précédemment, une plaque d'encadrement 36 se fixe sur la face latérale externe 21b de la bordure et 30 sur le panneau 2. Dans ce cas, la plaque d'encadrement 36 et la peau extérieure se terminent en biseau de manière complémentaire et les éléments de fixation 33b solidarissant la plaque et le panneau se fixent dans l'âme du panneau.

Un joint 37c est intercalé entre la plaque d'un côté et la bordure et le panneau de l'autre côté.

Les peaux sont réalisées avec des fibres carbone grade « HR » et verre E en fonction des zones et des besoins et une résine époxy présentant, lorsque
5 imprégnée avec les fibres ci-dessus dans un panneau monolithique d'épaisseur compris entre 2 et 8mm, des propriétés FST > HL1 R1, R7 (suivant norme EN45545).

L'épaisseur d'une peau est de 2 à 5 mm et les fibres sont sous forme de nappes unidirectionnelles ou de tissus pré-imprégnés.

10 Pour l'âme on choisit une mousse de PET de densité supérieure ou égale à 100kg/m^3 , une mousse PMI de densité supérieure ou égale à 50kg/m^3 ou un nid d'abeille de densité supérieure ou égale à 50kg/m^3 , en fonction des zones et des besoins. L'épaisseur de l'âme est de 10mm à 200mm là aussi en fonction des zones et des besoins.

15 Le procédé retenu est une polymérisation sous poche à vide (hors autoclave) avec une température ne dépassant pas 120°C .

L'épaisseur précise des peaux, de l'âme, et les orientations des fibres dans les peaux dépendent évidemment des sollicitations sur la caisse.

Comme indiqué précédemment, ces spécifications concernent la fréquence
20 propre du véhicule qui doit être supérieure à une dizaine de Hz ; il faut alors dimensionner la face en raideur, les efforts de compression/traction liés à la circulation de la voiture, et qui sont de l'ordre de la centaine de tonne; les efforts de flexion, liés aux ondes de pressions de l'ordre de $10\,000\text{Pa}$.

Globalement, pour une voiture d'une quinzaine de mètres entre bogies,
25 permettant de transporter une quarantaine de passagers dans cette zone, les calculs classiques par éléments finis conduisent à un matériau sandwich d'une quarantaine de mm d'épaisseur.

Selon un mode de réalisation de l'invention notamment pour une voiture à deux étages avec fenêtre inférieures 20a et fenêtres supérieures 20b, la paroi va
30 comporter des épaisseurs de peaux différentes entre la partie basse de la face et la partie haute. Selon l'exemple donné figure 6, la partie inférieure du panneau (301) est réalisée avec une épaisseur de peau de 2,78 mm et une épaisseur

d'âme de 38 mm tandis que la partie supérieure 302 est réalisée avec une épaisseur de peau de 3,33 mm et une épaisseur d'âme de 38mm .

On notera en particulier que chaque peau a une épaisseur de l'ordre de 3 mm, ce qui est au passage largement supérieur aux épaisseurs des fuselages des avions, qui ne dépassent pas 2 mm.

En parties courantes (hors liaison et point particuliers) au moins une et préférablement les deux peaux de la structure sandwich sont par exemple réalisées avec des plis de préimprégnés carbone, haute résistance, par exemple de type T700 de la société Toray.

Pour réaliser la ou les peaux, on peut utiliser à titre d'exemple comme éléments de base: un pré-assemblage de plis à fibres orientées à +45°, 0°, -45° respectivement de grammage sec 125g, 250g, 125g, un pli unidirectionnel orienté à 0° de grammage sec 500g et un pli qui est un tissu orienté à 0°/90° de grammage sec 500g, ces valeurs étant données avec une tolérance de ± 10%.

Le tableau ci-dessous décrit l'architecture fibreuse à laquelle on peut aboutir selon les zones d'application du composite.

pièces et zones	Hauteur âme (mm)	hauteur HT panneau (mm)	empilement	Grammage en fibre sèche (g/m ²)			Epaisseur peau (hors pli protection galvanique)
				500	500	500	
				Tvf (%)	50,00%	50,00%	50,00%
				Epaisseur unitaire (mm)	0,556	0,556	0,556
				densité	1500,00	1500,00	1500,00
				n x UD 0° carb	n x UD 90° Carb	n x ± 45° carb	
pavillon zone centrale (une peau)	10	16,7	n plis	3	1	2	
			ep (mm)	1,67	0,56	1,11	3,33
			%	50%	17%	33%	100,00%
Facade verticale supérieure (une peau)	38	44,8	n plis	2	2	2	
			ep (mm)	1,11	1,11	1,11	3,33
			%	33%	33%	33%	100,00%
Facade verticale inférieure (une peau)	38	43,7	N plis	2	1	2	
			ep (mm)	1,11	0,56	1,11	2,78
			%	40%	20%	40%	100,00%

De façon générale, on constate que l'optimisation de la structure nécessite la présence de fibres à 0°, 90° et +/- 45°.

Les fibres à 45° sont particulièrement adaptées à reprendre les efforts de cisaillement dans le cadre du panneau considéré.

La préférence va dans cet exemple à une répartition de 50% de fibres unidirectionnelles à 0°, 17% de fibres à 90° et 33% de fibres à ± 45° pour réaliser un pavillon, de 33% de fibres unidirectionnelles à 0°, 33% de fibres à 90° et 33% de fibres à ± 45° pour une façade verticale supérieure et 40% de fibres unidirectionnelles à 0°, 20% de fibres à 90° et 40% de fibres à ± 45° pour une façade inférieure.

De façon optimale, la contrainte de cisaillement Tau (t) qui s'applique sur le panneau de face doit être reprise par des fibres 100 orientées à +45° et -45° sur chacune des deux peaux de la structure, comme l'illustre la figure 3.

C'est en effet dans ces conditions que la structure est optimisée dans son fonctionnement mécanique, et donc par conséquent en masse et en coût.

Or, au niveau des panneaux des faces, la présence d'angles de baies conduit à couper les fibres.

Dans une telle configuration, les contraintes de cisaillement passent par la résine, ce qui a comme conséquences un besoin de sur-épaissir les peaux du panneau sandwich dans la zone entre baies (trumeau) afin de faire baisser la contrainte de cisaillement en deçà du niveau admissible par la résine. Pour mémoire, la contrainte de cisaillement plan admissible par la résine (empilement à +45° et -45° avec toutes les fibres coupées) est de l'ordre de 30MPa quand il est de 500MPa dans le sens de la fibre lorsqu'elle est sollicitée en compression. La coupure des fibres rend en outre la structure beaucoup plus sensible aux conditions d'environnement et à la fatigue. Sous charges de fatigue, la contrainte de cisaillement plan admissible par la résine est évaluée à environ 10MPa quand on peut supposer une tenue supérieure à 200MPa dans le sens de la fibre.

Cela se traduit à nouveau par un besoin de surépaisseur supplémentaire ou un risque d'affaiblissement de la structure dans le temps.

La solution proposée schématisée en figure 7 où les fenêtres de hauteur importante comportent un profil octogonal pour lequel les côtés latéraux sont pourvus d'un profil convexe à trois segments, un segment à 45° supérieur un segment vertical intermédiaire et un segment inférieur à 45° consiste à modifier la géométrie des baies de telle sorte qu'une certaine section de fibres 100 orientées

à $+45^\circ$ et -45° puissent être continues entre la partie haute et la partie basse de la face et ainsi transférer les contraintes de cisaillement. On obtient ainsi une configuration qui rappelle celle des hublots décrits dans le document US2012/0223187A1 mais qui en diffère par la grande surface des fenêtres et le fait que leur grand côté est selon l'axe de la voiture. Cela permet d'augmenter la section de fibres travaillantes, sans diminuer de façon significative la surface de vitres.

La voiture étant soumise à des pressions faibles, l'orientation optimale des fibres est bien autour de $\pm 45^\circ$, et non pas autour de 70° comme pour un fuselage d'avion.

Une question concerne l'optimisation de l'angle de découpe des baies (pour un écartement imposé), afin de maximiser la surface vitrée. En effet, pour un écartement donné entre baies, cet angle de découpe influence directement sur la section de fibres travaillantes.

Une simulation par calcul analytique a été menée afin d'évaluer les contraintes sens fil dans les plis à $\pm 45^\circ$ et les contraintes de cisaillement plan dans les plis à $0/90^\circ$ en fonction de l'angle de découpe des fenêtres selon la configuration de la figure 9A où les petits côtés de la fenêtre sont à profil en V convexe.

Cette simulation dont les paramètres montrent que l'angle de découpe à 45° est évidemment optimal permet de constater que cet angle pourrait être porté à 50° avec au minimum un pli de carbone à $\pm 45^\circ$ et qu'un angle de 60° peut aussi être acceptable avec les critères retenus mais avec 2 plis de carbone à $\pm 45^\circ$.

L'empilement du panneau composite (drapage à 0° , $\pm 45^\circ$ et 90°) correspond à celui qui a été défini pour répondre au besoin mécanique en zone courante de la caisse. Pour une configuration de baie correspondant à la caisse étudiée ($L_{\text{trumeau}}=384\text{mm}$ et $H_{\text{baie}}=620\text{mm}$), on fait varier l'angle « α » de découpe de la baie. En conséquence, la longueur « $L_{\text{fibre_non coupée}}$ » diminue, d'une valeur maximale lorsque $\alpha=45^\circ$ jusqu'à une valeur nulle pour une certaine valeur de α (environ 70° dans le cas traité).

Les résultats de l'analyse sont présentés en figure 9-2 et 9-3.

Cette analyse montre que, lorsque l'angle de la baie est supérieur à 70° , toutes les fibres à $\pm 45^\circ$ sont coupées et la contrainte de cisaillement dans les plis à 0° et 90° est supérieure à la valeur admissible, point P en figure 9-2. En conséquence, un renfort devrait être mis en œuvre dans la zone des trumeaux
5 (augmenter l'épaisseur de +250% dans le cas étudié), avec un impact sur la masse et le coût.

Cette analyse montre également que l'angle de découpe à 45° est évidemment optimal, puisque le flux de cisaillement est correctement repris par les fibres à $\pm 45^\circ$ et -45° non coupées comme le montre la figure 9-2, tandis que la
10 contrainte de cisaillement plan est également inférieure à la valeur admissible, voir la figure 9.3.

L'analyse montre également que l'angle des baies pourrait être ouvert jusqu'à environ 55° sans nécessiter de renforts.

La figure 8 représente la caisse complète de la voiture avec le pavillon 35,
15 l'ouvertures de porte 23 et son encadrement 25, des ouvertures de servitude 22, 26 telle que la climatisation et leur encadrement 24, 27 ainsi que les cadres d'extrémité 28 sur lesquels sont fixées les parois 2.

La caisse auto rigidifiée peut être directement assemblée avec un châssis porteur des bogies de la voiture.

20 La présente invention peut être utilisée sur tous les types de véhicules de transport ferroviaire destinés au transport de passager.

RE VENDICATIONS

1 - Voiture de véhicule roulant (1) caractérisée en ce qu'elle comporte des parois latérales (2) d'un seul tenant en matériau composite comportant une structure sandwich (10) pourvue d'une première peau (11) côté extérieur de la
5 structure sandwich (10) pourvue d'une première peau (11) côté extérieur de la voiture, une seconde peau (12) côté intérieur de la voiture et une âme en mousse à cellules fermées (13a) ou en nid d'abeille (13b) entre lesdites peaux, lesdites parois étant pourvues d'ouvertures de fenêtres (20) formées par des interruptions de drapages de fibres longitudinales, de fibres transversales et de fibres
10 diagonales croisées (100), lesdites ouvertures (20) ayant une forme polygonale réduisant la surface de fibres diagonales (100) interrompues dans les coins des ouvertures.

2 - Voiture selon la revendication 1 pour laquelle les ouvertures ont une forme générale hexagonale ou octogonale comportant deux grands côtés
15 horizontaux reliés par des bordures latérales convexes.

3 - Voiture selon la revendication 1 ou 2 pour laquelle les ouvertures (20) sont équipées d'une bordure de renfort (21) pourvue d'un cadre tubulaire (30).

4 - Voiture selon la revendication 3 ou 4 pour laquelle la bordure de renfort (21) comporte une aile interne (31) de fixation de la bordure sur le bord (2a) de
20 l'ouverture côté interne de la paroi.

5 - Voiture selon la revendication 4 pour laquelle le cadre tubulaire est de section rectangulaire, l'aile interne (31) prolongeant une face du cadre tubulaire sur l'intérieur de la paroi (2).

6 - Voiture selon la revendication 5 pour laquelle l'aile interne (31) se
25 fixe sur l'intérieur de la paroi au moyen de vis, rivets ou autres moyens de fixation (32).

7 - Voiture selon l'une quelconque des revendications 3 à 6 pour laquelle une face du cadre tubulaire (30) dirigée vers l'intérieur de la voiture se fixe au moyen de vis, rivets ou autres moyens de fixation (32) sur un rebord de
30 l'ouverture réalisé par la seconde peau débordant de l'âme de la paroi.

8 - Voiture selon l'une quelconque des revendications 3 à 7 pour laquelle la bordure de renfort (21) comporte une collerette interne (34) accueillant une fixation d'une fenêtre.

5 9 - Voiture selon l'une quelconque des revendications précédentes pour laquelle au moins une des deux peaux (11, 12) de la structure sandwich est réalisée au moyen de plis orientés selon 4 directions privilégiées 0° (axe longitudinal de la caisse), 90° , $+45^\circ$ et -45° .

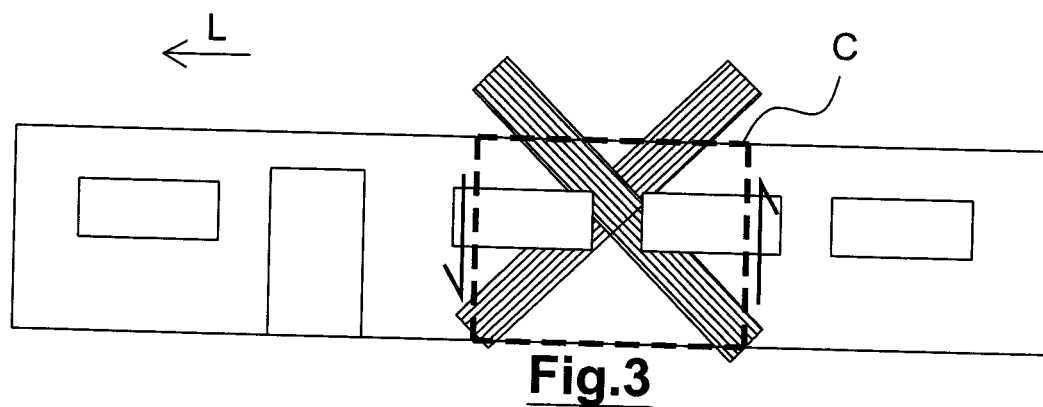
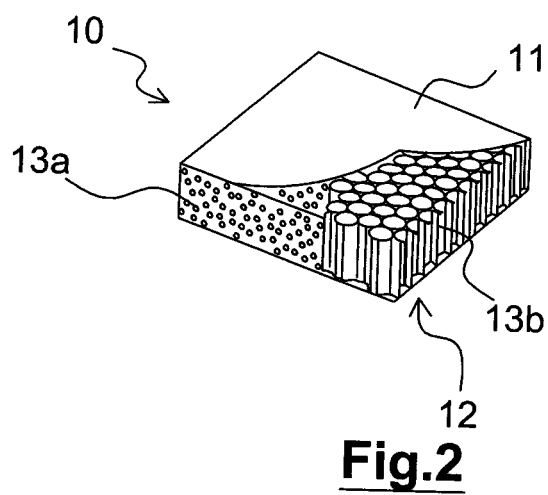
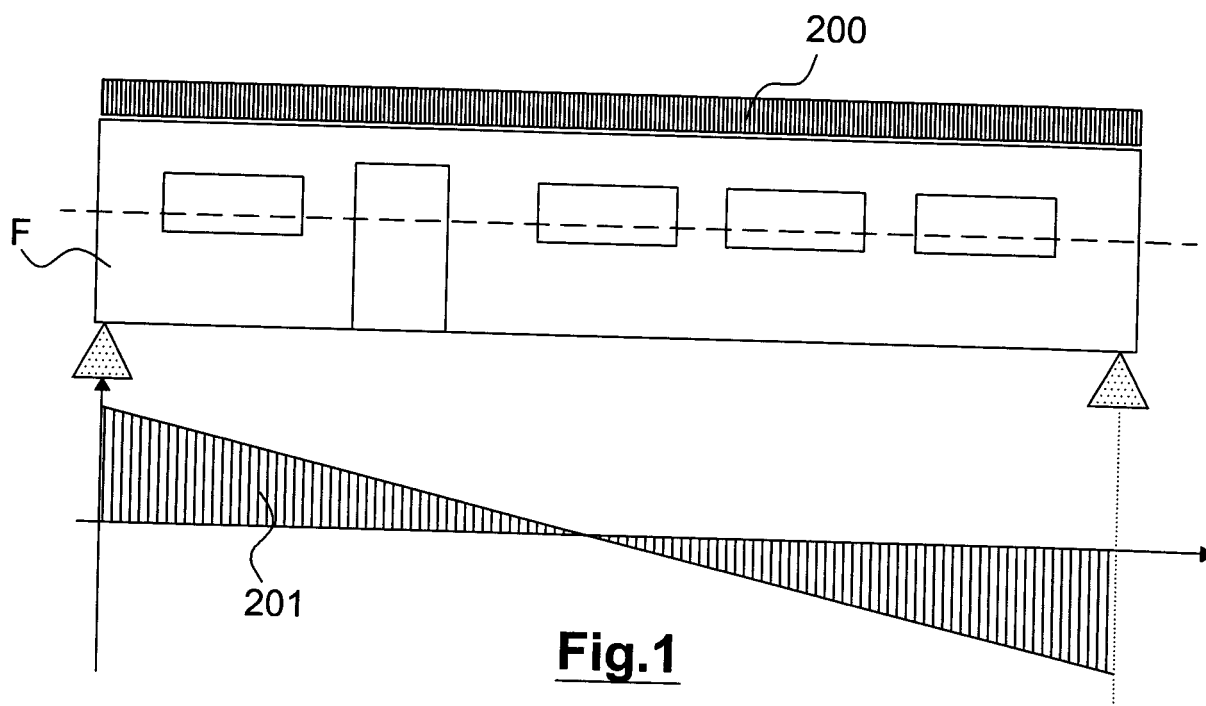
10 10 - Voiture selon la revendication 9 pour laquelle les plis sont des plis préimprégnés de grammage unitaire compris entre 125g/m^2 et 500g/m^2 .

11 - Voiture selon l'une quelconque des revendications précédentes pour laquelle les segments d'angle (40) desdites ouvertures sont inclinés entre 45° et 60° par rapport à une direction longitudinale (L) de la paroi et préférentiellement inclinés entre 45° et 50° par rapport à une direction longitudinale (L) de la paroi.

15 12 - Voiture selon la revendication 9 ou 11 pour laquelle les fils à 45° sont sous la forme d'au moins deux plis de $\pm 45^\circ$ en fibre de carbone.

20 13 - Voiture de train selon l'une quelconque des revendications précédentes pour laquelle l'âme du sandwich (13a, 13b) est réalisée avec un matériau choisi parmi le poly(téréphtalate d'éthylène (PET), le polyméthacrylimide (PMI), le Polyétherimide (PEI), un nid d'abeille aluminium ou un nid d'abeille poly(m-phénylèneisophthalamide) (MPD-I) (structure imprégnée de résine phénolique).

1/5



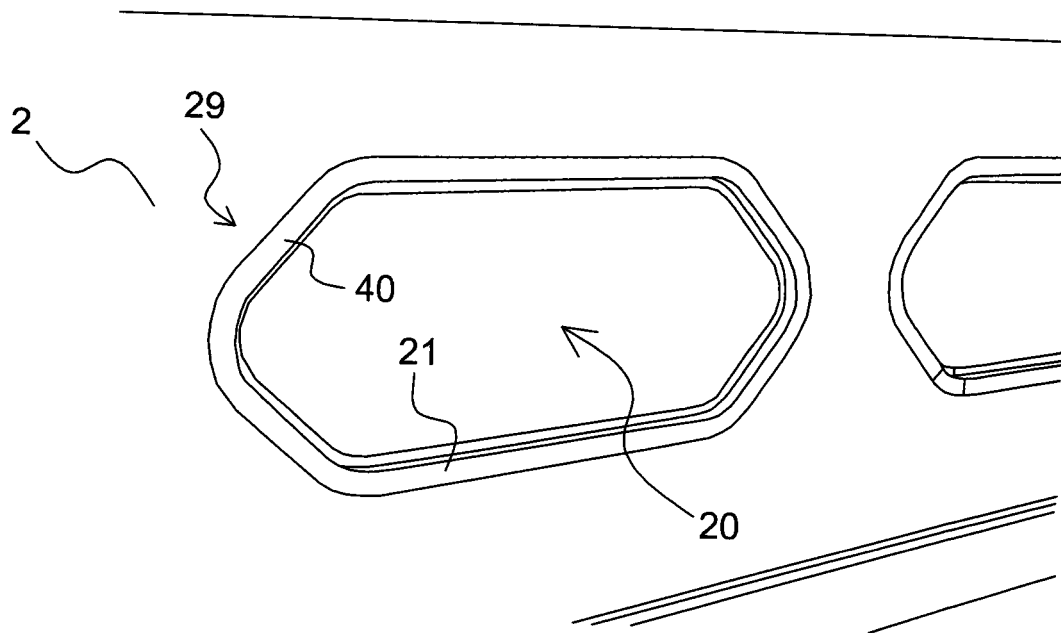


Fig.4

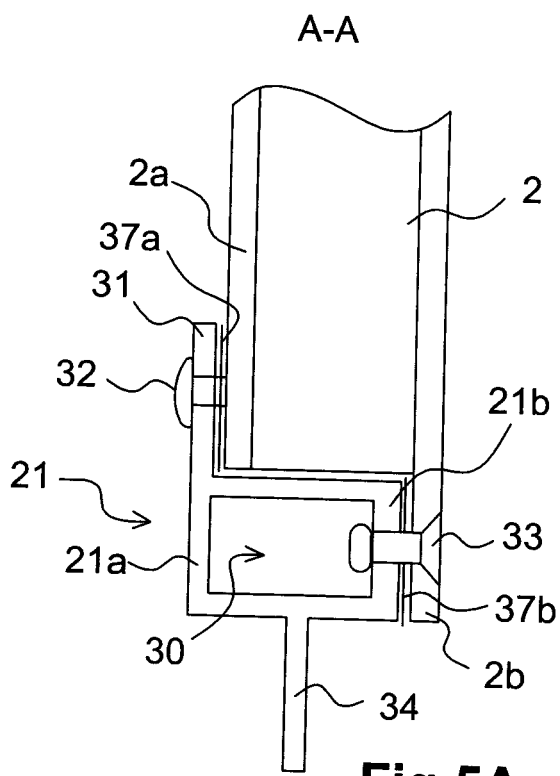


Fig.5A

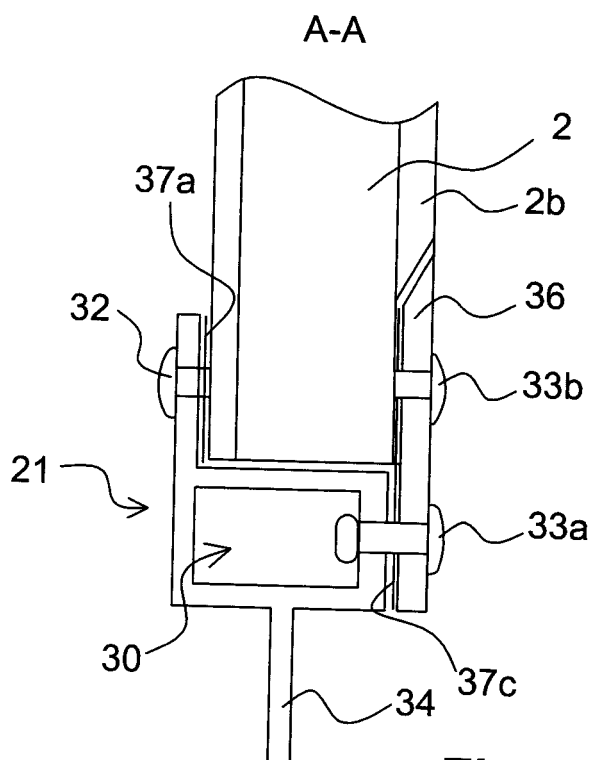
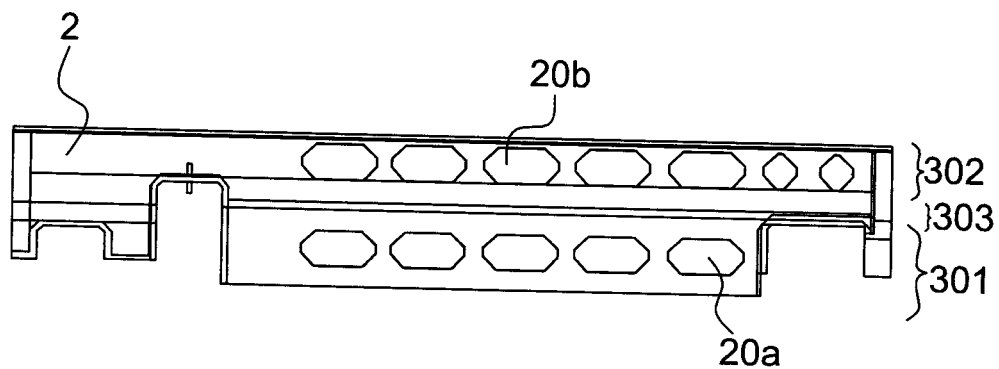
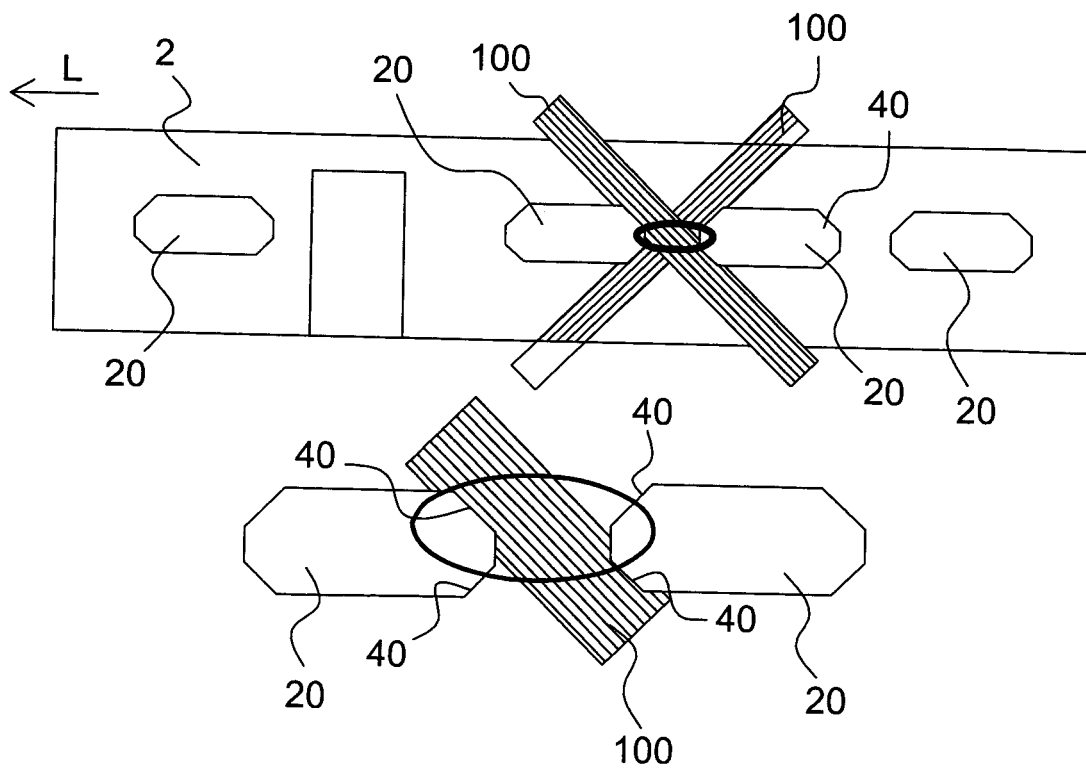
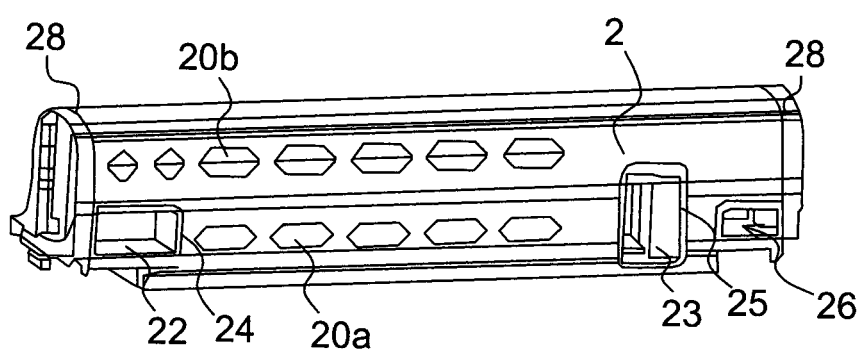
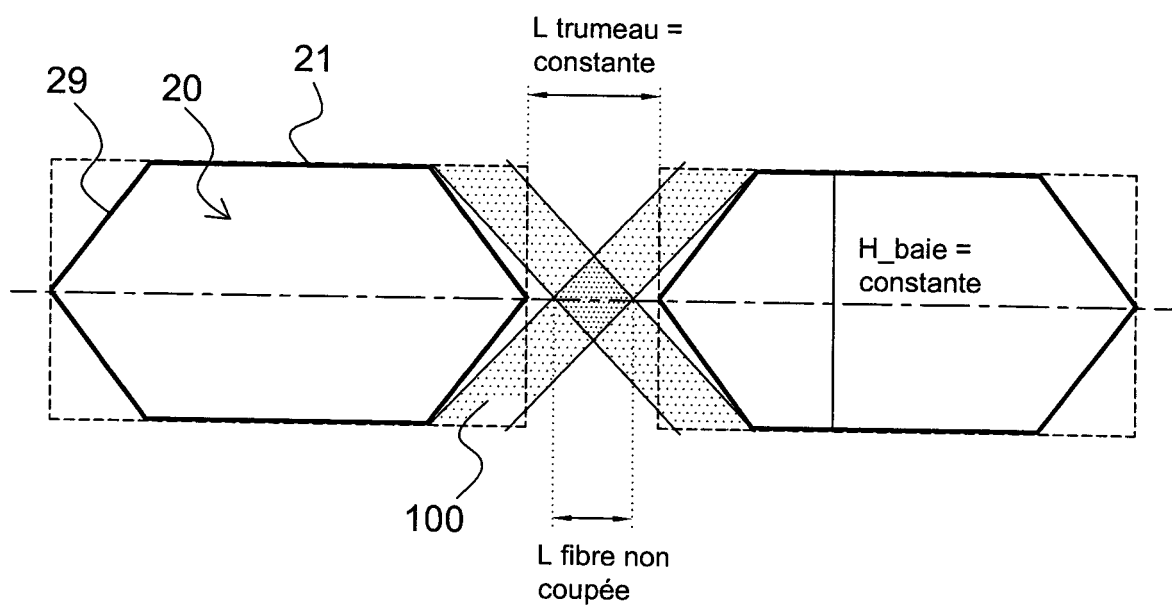


Fig.5B

3/5

**Fig. 6****Fig. 7**

4/5

**Fig. 8****Fig. 9A**

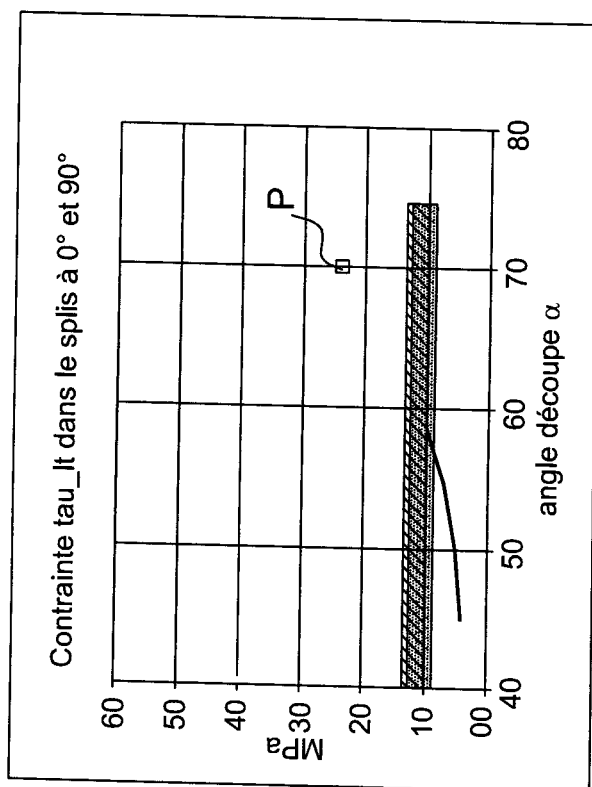
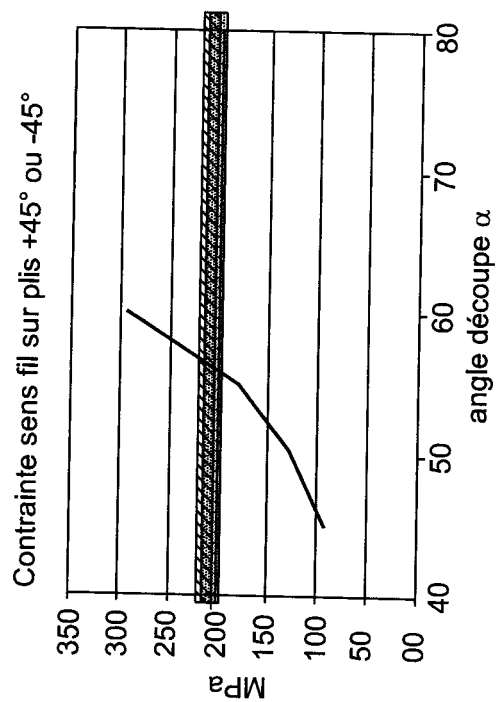


Fig.9B

Fig.9C



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 802457
FR 1460011

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	FR 2 613 995 A1 (CAREL FOUCHE IND [FR]) 21 octobre 1988 (1988-10-21) * page 3, ligne 28-30; figures 1-2 * * page 4, ligne 3-4 * -----	1-13	B61D25/00 B61D17/08 B60J1/10
X	EP 0 577 940 A1 (INVENTIO AG [CH]) 12 janvier 1994 (1994-01-12) * le document en entier * -----	1-13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B61D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 juin 2015		Schultze, Yves	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1460011 FA 802457**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **22-06-2015**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2613995	A1	21-10-1988	AUCUN	

EP 0577940	A1	12-01-1994	AT 149913 T	15-03-1997
			AU 4183693 A	13-01-1994
			CA 2096071 A1	11-01-1994
			DE 59305705 D1	17-04-1997
			DK 0577940 T3	01-09-1997
			EP 0577940 A1	12-01-1994
			ES 2101895 T3	16-07-1997
			FI 933127 A	11-01-1994
			JP H0687443 A	29-03-1994
			NO 932475 A	11-01-1994
			US 5365662 A	22-11-1994
