



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
11.05.2005 Bulletin 2005/19

(51) Int Cl.7: **E04C 3/18**

(21) Numéro de dépôt: **04292414.2**

(22) Date de dépôt: **12.10.2004**

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Etats d'extension désignés:
AL HR LT LV MK

(72) Inventeur: **Pitault, Daniel**
78150 Rocquencourt (FR)

(74) Mandataire: **Jaunez, Xavier et al**
Cabinet Boettcher,
22, rue du Général Foy
75008 Paris (FR)

(30) Priorité: **06.11.2003 FR 0313031**

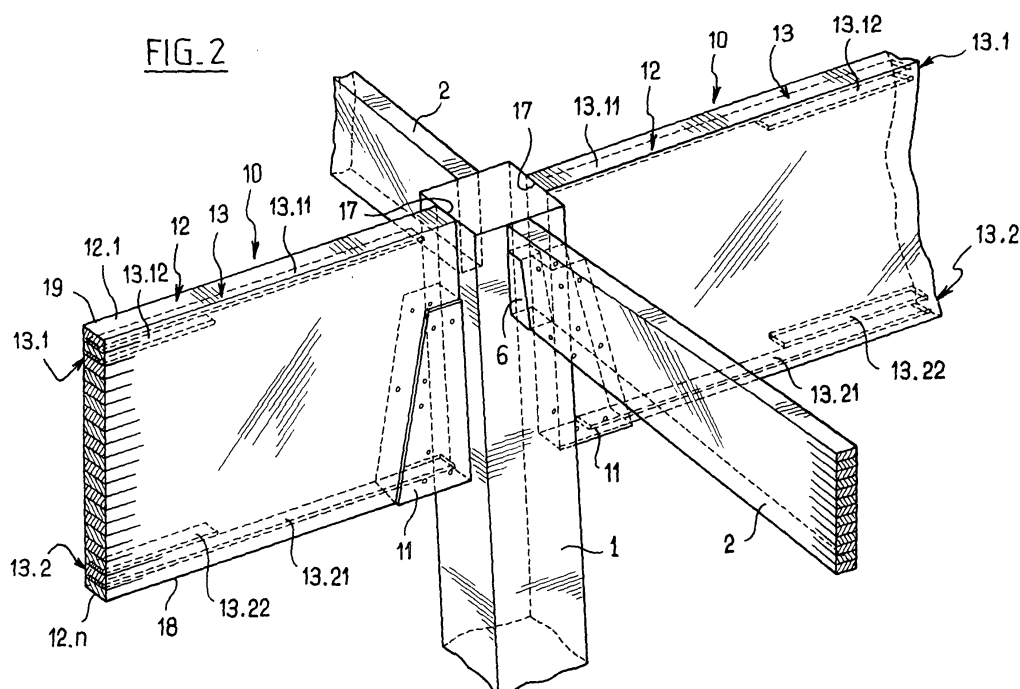
(71) Demandeur: **Pitault, Daniel**
78150 Rocquencourt (FR)

(54) **Poutre de longue portée destinée à constituer un élément porteur d'une superstructure modulaire ou autre ouvrage de génie civil**

(57) L'invention concerne une poutre de longue portée destinée à constituer un élément porteur d'une superstructure modulaire ou autre ouvrage de génie civil, ladite poutre étant constituée d'un corps principal en bois à structure en lamellé-collé, et d'une armature interne de renfort en composite de fibres de carbone.

Conformément à l'invention, l'armature interne de renfort (13) est formée de parties d'armature haute et basse (13.1, 13.2) comportant chacune une pluralité

d'éléments superposés (13.11, 13.12 ; 13.21, 13.22) dont la longueur décroît identiquement à partir des deux extrémités de la poutre au fur et à mesure que l'on s'éloigne du bord libre respectivement supérieur ou inférieur de la poutre conformément à une loi de variation prédéterminée, et dont la section est telle que la section totale des éléments est au moins égale à une valeur minimale calculée en fonction des dimensions de la poutre et des charges appliquées sur ladite poutre.



Description

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne une poutre de longue portée destinée à constituer un élément porteur d'une superstructure modulaire ou autre ouvrage de génie civil, tel que tablier de pont, tablier de passerelle ou ossature de plate-forme.

ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

[0002] On connaît déjà des poutres de longue portée à structure en bois en lamellé-collé, constituées par une superposition d'un nombre important de lames en bois qui sont collées l'une à l'autre. Les portées recherchées pour de telles poutres vont traditionnellement de 25 à 40 mètres. Les calculs de résistance mécanique aboutissent alors à des hauteurs totales de poutre qui vont respectivement de 2,20 mètres à 3,15 mètres. Ceci veut dire que le rapport entre la portée et la hauteur varie pour de telles poutres traditionnelles entre 1/11 et 1/13. Ces telles poutres traditionnelles en lamellé-collé présentent donc des hauteurs nécessairement importantes, et par suite des masses élevées.

[0003] Pour diminuer la hauteur de telles poutres à portée comparable, ainsi que le poids de celles-ci, on a proposé des structures de poutres en lamellé-collé comportant une armature interne de renfort.

[0004] Le document WO-A-00/17465 décrit ainsi une poutre de longue portée formée d'un corps principal en bois à structure en lamellé-collé, et d'une armature interne de renfort constituée par des éléments allongés en composite de fibres de carbone à haute résistance qui s'étendent suivant la direction longitudinale de la poutre, chacun desdits éléments allongés étant logé et collé dans une réservation associée latéralement non débouchante. Une telle approche est intéressante, car la présence d'une armature interne de renfort en composite de fibres de carbone à haute résistance permet de diminuer sensiblement la hauteur d'une poutre pour une portée comparable par rapport aux poutres traditionnelles en lamellé-collé, ainsi que le poids de ladite poutre, et ce en utilisant une trame deux fois supérieure à celle des poutres traditionnelles.

[0005] D'autres documents peuvent être également cités à ce titre pour compléter l'arrière-plan technologique. On pourra ainsi se référer aux documents EP-A-0 177 350, FR-A-2 691 993, FR-A-2 764 622, FR-A-2 218 978, WO-A-96 13378, EP-A-1 260 648, et WO-A-01 96108.

[0006] L'état de la technique est également illustré par le document DE-A-41 00 044. Ce document décrit une poutre en lamellé-collé dont les extrémités sont renforcées par des plaques minces d'armature en matériau à haute résistance, tel que l'acier, le tout étant serré par des tirants. Il convient de noter que les lames sont ici verticales, contrairement aux poutres classiques en la-

mellé-collé, ainsi que cela ressort de la vue de dessus de la figure 1, de sorte que l'acier ne reprend les efforts qu'au niveau des appuis d'extrémité de la poutre. En outre, les plaques sont débouchantes aux extrémités de la poutre.

[0007] Bien que l'approche illustrée dans les documents précités soient intéressante sur le principe, force est de constater que, pour les très longues portées, on utilise des éléments d'armature en composite de fibres de carbone qui sont relativement massifs. Par suite, le poids total de la poutre en lamellé-collé avec son armature interne de renfort reste encore important.

OBJET DE L'INVENTION

[0008] La présente invention a pour objet de concevoir une poutre de longue portée plus performante que les poutres en lamellé-collé à armature interne de renfort précitées, en particulier permettant d'optimiser le dimensionnement et le poids des éléments de renfort, et ce sans pour autant nuire à la résistance mécanique de la poutre.

DESCRIPTION DE L'INVENTION

DESCRIPTION DE L'INVENTION

[0009] Ce problème est résolu conformément à l'invention grâce à une poutre constituée d'un corps principal en bois de structure en lamellé-collé, et d'une armature interne de renfort constituée par des éléments allongés en composite de fibres de carbone à haute résistance qui s'étendent suivant la direction longitudinale de la poutre, chacun desdits éléments allongés étant logé et collé dans une réservation associée latéralement non débouchante, ladite poutre étant remarquable en ce que l'armature interne de renfort est formée d'une partie d'armature haute et d'une partie d'armature basse comportant chacune une pluralité d'éléments superposés dont la longueur décroît identiquement à partir des deux extrémités de ladite poutre au fur et à mesure que l'on s'éloigne du bord libre respectivement supérieur ou inférieur de la poutre conformément à une loi de variation prédéterminée, et dont la section est telle que la section totale des éléments de ladite pluralité haute ou basse d'éléments est au moins égale à une valeur minimale calculée en fonction des dimensions de la poutre et des charges appliquées sur ladite poutre.

[0010] Ainsi, plutôt que de choisir des éléments allongés ayant tous la même longueur pour constituer l'armature interne de renfort, l'invention suggère d'avoir des longueurs différentes pour ces éléments de renfort, sans pour autant que ces diminutions de longueur n'affectent sensiblement la résistance mécanique de la poutre. L'optimisation de la section des éléments de renfort permet également d'utiliser, si nécessaire, des éléments suffisamment minces pour tolérer un cintrage en vue d'un conditionnement aisé.

[0011] De préférence, la loi de variation déterminant les longueurs des éléments d'armature correspond sensiblement à la courbe des moments fléchissants de ladite poutre.

[0012] Avantageusement, la partie d'armature haute et la partie d'armature basse sont agencées symétriquement par rapport à la fibre neutre de ladite poutre.

[0013] Conformément à un mode d'exécution particulier, la partie d'armature haute et la partie d'armature basse comportent chacune deux ou trois niveaux d'éléments de renfort superposés. On pourra alors prévoir que chaque niveau d'armature haute ou basse comporte deux éléments de renfort identiques juxtaposés.

[0014] Les éléments allongés de renfort peuvent en outre être des lames plates couchées, ou en variante des barres pleines de section ronde ou autre.

[0015] On pourra prévoir que les lames plates juxtaposées de chaque paire sont disposées côte à côte dans une réservation commune, chaque réservation commune étant définie par une engravure non débouchante pratiquée dans une lame de bois et par la face en regard de la lame de bois directement adjacente.

[0016] On pourra en variante prévoir que les barres de renfort juxtaposées de chaque paire sont disposées dans des réservations associées adjacentes mais non communicantes entre elles, chacune desdites réservations étant définie par deux engravures complémentaires non débouchantes pratiquées dans deux lames de bois adjacentes. En particulier, il pourra s'avérer intéressant de prévoir, contre chaque extrémité libre des barres de renfort de plus grande longueur, une plaque de butée encastrée dans une réservation associée communiquant avec la réservation individuelle recevant la barre de renfort concernée.

[0017] Il est par ailleurs intéressant de prévoir que chaque réservation commune ou individuelle présente en outre au moins une saignée longitudinale débouchant dans ladite réservation, en vue d'éviter une délamination du bois de certaines lames, ou une fissuration du carbone de certains éléments de renfort.

[0018] Avantageusement encore, les éléments de renfort constituant les parties d'armature haute et basse sont tous noyés dans la matière de collage utilisée, celle-ci étant de préférence la même que la matière de collage solidarissant les lames de bois entre elles. En particulier la matière de collage est une colle de résorcine, et de préférence une colle de résorcine-urée-formol.

[0019] De préférence enfin, la poutre de l'invention comporte des lames de bois et des éléments de renfort incurvés, de façon à présenter une contre-flèche qui est maximale à mi-longueur de ladite poutre. La présence d'une contre-flèche permet de mieux maîtriser les efforts des moments fléchissants, et aussi de favoriser les écoulements des eaux en toiture grâce à la déclivité ainsi formée qui guide les eaux de pluie en direction des extrémités des poutres de longue portée.

[0020] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lumière de la

description qui va suivre et des dessins annexés, illustrant un mode de réalisation particulier.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0021] Il sera fait référence aux figures où :

- la figure 1 illustre en perspective une partie d'une superstructure modulaire utilisant des poutres de longue portée conformes à l'invention ;
- la figure 2 est une vue en perspective illustrant, à plus grande échelle, la zone de tête d'un des poteaux verticaux de la superstructure précédente, avec deux extrémités de poutre de longue portée présentant une armature interne de renfort agencée conformément à l'invention ;
- la figure 3 est une vue en élévation d'une poutre conforme à l'invention, dont les parties d'armature haute et basse comportent chacune deux niveaux d'éléments superposés, ici visibles par transparence, dont les longueurs sont déterminées à partir d'une loi de variation conforme à une courbe également illustrée, qui est en l'espèce la courbe des moments fléchissant de ladite poutre ;
- la figure 4 est une vue en élévation, à plus grande échelle, de l'extrémité de la poutre de la figure 3, et la figure 5 en est la coupe selon V-V ;
- la figure 6 est une vue en élévation illustrant une variante de la poutre illustrée en figure 3, dans laquelle les parties d'armature haute et basse comportent chacune trois niveaux d'éléments superposés ;
- la figure 7 est une vue en élévation de l'extrémité de la poutre de la figure 6, et la figure 8 en est la coupe selon VIII-VIII ;
- les figures 9 et 10 sont des vues de détail, respectivement en position assemblée et en éclaté, permettant de mieux distinguer le logement d'éléments allongés juxtaposés constituant une partie de l'armature interne haute ou basse, disposés entre deux lames de bois adjacentes ;
- la figure 11 est une vue en élévation illustrant une extrémité d'une poutre réalisée conformément à une autre variante de l'invention, dans laquelle les parties d'armature haute et basse comportent des éléments allongés réalisés sous la forme de barres pleines en composite de fibres de carbone à haute résistance ;
- la figure 12 est une coupe selon XII-XII de la figure 11 permettant de mieux distinguer l'armature interne supérieure constituée par deux paires de barres de carbone superposées ;
- la figure 13 est une vue éclatée en perspective permettant de mieux appréhender l'agencement des réservations associées aux barres de carbone de plus grande longueur, avec des plaques de butée terminale associées ;
- la figure 14 est une vue en élévation permettant de

distinguer une semelle d'appui fixée latéralement de chaque côté de la poutre de grande longueur, en partie haute de celle-ci, lesdites semelles étant destinées à servir d'appui pour des poutrelles métalliques entretoisant une poutre horizontale de longue portée dans une superstructure de type modulaire ; et

- la figure 15 est une vue en coupe, à plus grande échelle, permettant d'illustrer la zone d'appui de poutrelles associées à une même poutre, l'ensemble étant revêtu d'un élément de toiture isolant assurant l'étanchéité de la superstructure.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0022] Sur la figure 1, on distingue une superstructure modulaire S, qui est ici agencée pour former la structure porteuse d'un bâtiment de forme parallélépipédique de grandes dimensions, tel qu'un entrepôt ou un magasin de grand surface.

[0023] La superstructure S comporte une pluralité de poteaux verticaux de support 1 encastrés dans un sol P par l'intermédiaire de fondations en béton, lesquels poteaux sont reliés entre eux par des poutres horizontales de longue portée. On a illustré en l'espèce des poteaux 1 qui sont réalisés en béton, mais qui pourraient en variante être des poteaux métalliques, par exemple à structure en H. On a en outre illustré des poteaux verticaux 1 de hauteur importante, par exemple une dizaine de mètres, afin de réaliser une superstructure porteuse d'un toit ou d'un étage supérieur d'un édifice, mais ceci ne constitue qu'un exemple d'application. En particulier, on pourra prévoir que les poteaux 1 de la rangée centrale sont de hauteur légèrement supérieure à celle des autres poteaux verticaux, afin de former une déclivité facilitant l'écoulement des eaux vers les bords de toiture.

[0024] Les poteaux verticaux de support 1 sont reliés entre eux par des poutres horizontales de longue portée notées 2, 10. Les poutres 10, qui s'étendent parallèlement les unes aux autres, sont en appui, au niveau de leurs extrémités, sur des sabots de fixation 11, ainsi que cela est mieux visible sur la figure 2, et elles présentent une armature interne (non visible sur la figure 1) agencée conformément à l'invention. Les poutres horizontales de longue portée 2, dont la direction est orthogonale à la direction des poutres 10, sont ici quant à elles de type traditionnel, c'est-à-dire qu'elles sont de type lamellé-collé, mais sans armature interne, en étant simplement encastrées sur des sabots porteurs fixés en tête des poteaux (sabots 6 mieux visibles sur la figure 2).

[0025] Pour l'un des modules la superstructure S, on a illustré ici des poutrelles métalliques 5 de type conventionnel, fréquemment dénommées poutres "joist canam" par les spécialistes, ces poutrelles métalliques utilisées en lieu et place de pannes entretoisant deux poutres horizontales de longue portée 10. Ainsi, un module ou maille de la superstructure S est constitué par quatre

poteaux verticaux de support 1, deux poutres horizontales de longue portée 2 de type traditionnel, et deux poutres horizontales de longue portée 10 présentant, conformément à l'invention, une armature interne de renfort ayant un dimensionnement optimisé. A titre indicatif, l'agencement de l'invention permet de réaliser des superstructures modulaires de très grandes dimensions, un module unitaire pouvant avoir 24 mètres de large sur 36 mètres de long, la hauteur étant donnée par la hauteur du poteau vertical 1 qui sera par exemple de 10 mètres jusqu'à 15 mètres, en particulier pour les poteaux d'une rangée centrale. Le contreventement est en l'espèce assuré d'une part par un encastrement des poteaux verticaux en béton 1, et d'autre part au moyen de poutres à plat 5.1 intercalées entre deux poutrelles "joist canam" 5 (de telles poutres sont illustrées sur la figure 1) et deux câbles 5.2 en croix tendus par des ridoirs 5.3.

[0026] En variante, on pourra assurer le contreventement, pour chaque module, par une panne réalisée sous la forme d'une poutre traditionnelle en lamellé-collé identique aux poutres 2, disposés à mi-longueur entre deux groupes de poutrelles "joist canam" (quatre ou cinq poutrelles pour chaque groupe en général selon le cas), ou encore pour des largeurs de mailles un peu plus faibles (15 mètres par exemple), on pourra prévoir exclusivement des poutres traditionnelles en lamellé-collé identiques aux poutres 2 (par exemple onze poutres entre deux poutres 2), sans pannes métalliques du type "joist canam" ou autres. On s'est en effet aperçu que les pannes en lamellé-collé de 15 mètres de portée avaient un poids très proche de celui des poutrelles métalliques du type "joist canam" de 24 mètres de portée. Ces deux variantes, non représentées ici, permettent d'abaisser substantiellement le coût de la superstructure modulaire réalisée.

[0027] Les poutres horizontales de longue portée 2 et 10 sont en lamellé-collé, mais ne sont pas réalisées conformément à un même agencement. En effet, les poutres transversales 2 sont de type traditionnel, en étant constituées par un bloc unitaire en lamellé-collé de section rectangulaire, avec une hauteur de 1 à 1,2 mètre, et une largeur de l'ordre de 0,2 mètre. Les extrémités des poutres 2 sont encastrées sur des sabots métalliques 6 que l'on distingue mieux sur la figure 2. Ces sabots métalliques sont de type conventionnel, et sont visés en tête des poteaux 1 concernés.

[0028] Au contraire, les poutres horizontales de longue portée 10, qui sont en appui sur des sabots métalliques 11, également de type traditionnel, vissés en tête des poteaux 1, ont une armature interne de renfort très particulière qui va être décrite plus en détail ci-après en référence aux autres figures.

[0029] Chaque poutre 10 est ainsi constituée d'un corps principal en bois 12 à structure en lamellé-collé, et d'une armature interne de renfort 13 qui est formée d'une partie d'armature haute 13.1 et d'une partie d'armature basse 13.2 comportant chacune une pluralité

d'éléments superposés.

[0030] Sur la figure 2, on a illustré un mode de réalisation particulier dans lequel les parties d'armature haute et basse comportent chacune deux niveaux d'éléments superposés. C'est ainsi que la partie d'armature haute 13.1 comporte deux éléments superposés 13.11, 13.12, et la partie d'armature basse 13.2 comporte également deux éléments superposés 13.21, 13.22. En l'espèce, les éléments allongés de renfort sont des lames plates couchées en composites de fibres de carbone à haute résistance.

[0031] Il est intéressant de noter que les lames plates couchées illustrées sur la figure 2 sont totalement intégrées dans le corps principal en bois 12 de la poutre 10, c'est-à-dire que chaque lame de carbone est logée dans une réservation associée qui est non débouchante latéralement, et également non débouchante au niveau des extrémités notées 17 de la poutre 10. On constate également que les lames plates couchées formant la partie d'armature haute et les lames plates couchées formant la partie d'armature basse sont disposées sensiblement symétriquement par rapport à la fibre neutre de la poutre 10, afin d'avoir un équilibre maximal pour le comportement en flexion de ladite poutre et éviter ainsi de générer des moments de torsion indésirables.

[0032] Sur la variante de la figure 2, on a ainsi illustré un mode de réalisation dans lequel les parties d'armature haute et basse comportent chacune deux niveaux d'éléments superposés. On pourra cependant prévoir plus généralement plus de deux niveaux superposés, en particulier trois niveaux, comme cela est illustré sur les figures 3 à 10, auxquelles on va maintenant se référer.

[0033] Conformément à une caractéristique essentielle de l'invention, les parties d'armature haute 13.1 et d'armature basse 13.2 comportent chacune une pluralité d'éléments superposés dont la longueur décroît identiquement à partir des deux extrémités la poutre au fur et à mesure que l'on s'éloigne du bord libre respectivement supérieur ou inférieur de la poutre conformément à une loi de variation prédéterminée. En outre, la section des éléments de renfort est telle que la section totale des éléments de ladite pluralité haute ou basse d'éléments est au moins égale à une valeur minimale calculée en fonction des dimensions de la poutre et des charges appliquées sur ladite poutre.

[0034] La loi de variation déterminant les longueurs des éléments d'armature peut être de plusieurs types, ayant en général une forme sensiblement parabolique. En particulier, on pourra déterminer les longueurs des éléments d'armature à partir de la courbe MF des moments fléchissants de la poutre, ladite courbe étant illustrée sur la figure 3 à l'aplomb de la poutre de longue portée 10 dont les parties d'armature haute et basse comportent chacune deux niveaux d'éléments superposés.

[0035] La partie d'armature haute 13.1 comporte tout d'abord un premier élément de renfort 13.11 agencé juste en dessous du bord supérieur 19 de la poutre. Ainsi

que cela est mieux visible sur la figure 4, les extrémités de cet élément de renfort 13.11 n'arrivent pas jusqu'aux bords d'extrémité 17 de la poutre, c'est-à-dire que les réservations associées sont axialement non débouchantes. Dans la pratique, on pourra prévoir une distance de l'ordre d'une dizaine de centimètres en-deçà des bords libres 17. On trouve ensuite, en s'éloignant du bord supérieur 19, un deuxième élément de renfort 13.12 de longueur plus courte. La longueur de ce dernier élément est donnée par la loi de variation choisie, en l'espèce la courbe des moments fléchissants MF de la poutre. On obtient alors pour l'élément de renfort 13.12 une longueur L2 qui est de l'ordre de 0,55 L1, où L1 est la longueur de l'élément de renfort 13.11.

[0036] Pour la partie d'armature basse 13.2, on trouve une disposition symétrique de la précédente par rapport à la fibre neutre de la poutre, avec un élément de renfort 13.21 de même longueur que l'élément 13.11, et un élément de renfort plus intérieur 13.22 de même longueur que l'élément de renfort 13.12. L'élément de renfort 13.21 est de même faiblement distant du bord inférieur 18 de la poutre. En outre, la section des éléments de renfort 13.11, 13.12, 13.21, 13.22 est choisie telle que la section totale de ces éléments soit au moins égale à une valeur minimale calculée en fonction des dimensions de la poutre et des charges appliquées sur ladite poutre.

[0037] Dans la pratique, on s'attachera à disposer les parties d'armature haute et basse aussi près que possible des bords respectivement supérieur et inférieur de la poutre. En l'espèce, on constate que l'élément de renfort 13.11 est agencé juste en dessous de la lame supérieure notée 12.1 du corps de poutre, et que de la même façon l'élément de renfort 13.21 est disposé juste au-dessus de la dernière lame 12.n de ladite poutre, le nombre n correspondant au nombre de lames constituant le corps de poutre 12.

[0038] Ainsi que cela est mieux visible sur la coupe de la figure 5, chaque niveau d'armature haute 13.1 ou basse 13.2 comporte deux éléments de renfort identiques juxtaposés. Ceci permet de laisser subsister un joint libre entre les bords longitudinaux en regard des deux lames juxtaposées, ledit joint autorisant une libre dilatation du carbone, laquelle est notablement différente de celle du bois.

[0039] Ainsi, l'agencement de l'armature interne de renfort présente une double symétrie, à la fois par rapport à la fibre neutre (qui correspond à la ligne en trait mixte L au niveau de la représentation de la courbe des moments fléchissants MF), et par rapport à un plan médian transversal noté Q.

[0040] Les figures 6 à 8, qui correspondent respectivement aux figures 3 à 5 précédemment décrites, illustrent une autre variante dans laquelle la partie d'armature haute 13.1 et la partie d'armature basse 13.2 comportent chacune trois niveaux d'éléments superposés. On distingue ainsi des éléments 13.11, 13.12, 13.13 pour la partie d'armature haute 13.1, et des éléments

13.21, 13.22, 13.23 pour la partie d'armature inférieure 13.2. A chaque fois, les longueurs varient de façon décroissante au fur et à mesure que l'on s'éloigne du bord libre supérieur 19 ou inférieur 18 de la poutre, conformément à la loi de variation retenue. Pour les éléments de renfort de plus faible longueur 13.13, 13.23, la longueur est ici terminée à partir de la courbe MF, et correspond sensiblement à la relation $L3 = 0,25 L1$.

[0041] Là encore, chaque niveau d'armature haute 13.1 ou basse 13.2 comporte deux éléments de renfort identiques juxtaposés, en l'espèce deux lames plates couchées entre lesquelles est défini un joint libre de dilatation.

[0042] Ainsi que cela est mieux visible sur les figures 9 et 10, chacune des paires de lames plates juxtaposées est disposée dans une réservation commune 14. On distingue sur ces figures les deux premières lames de bois supérieures 12.1, 12.2 du corps de poutre, dont la lame inférieure 12.2 présente une engravure centrale 14.2. Cette engravure 14.2 délimite avec la face inférieure 14.1 de la lame 12.1 une réservation commune 14 pour les deux lames plates couchées juxtaposées 13.11. On aurait pu prévoir deux demi-engravures ménagées symétriquement sur chacune des lames en regard pour loger les éléments de renfort juxtaposés, mais le mode de réalisation illustré ici permet de faciliter considérablement la fabrication, et diminue aussi les exigences de précision pour l'usinage.

[0043] Il convient de noter que les bords latéraux 14.5 délimitant l'engravure 14.2 définissent des surfaces de collage importantes avec la face inférieure en regard 14.1 de la lame de bois 12.1, ce qui permet de réduire les phénomènes de délamination du bois dans une situation de flèche maximale de la poutre.

[0044] La figure 9 correspond à la position assemblée, dans laquelle les éléments d'armature sont noyés dans la matière de collage qui est avantageusement celle utilisée pour assembler entre elles les lames de bois, cette matière de collage étant par exemple une colle de résorcine, et de préférence une colle de résorcine-urée-formol.

[0045] On notera en outre la présence de saignées longitudinales 14.3, 14.4 débouchant la réservation 14. Ces saignées contribuent à éviter une possible délamination du bois de certaines lames, ou une fissuration du carbone de certains éléments de renfort.

[0046] A titre indicatif, en utilisant une trentaine de lames de bois d'épaisseur 45 millimètres pour constituer le corps principal en bois 12, on utilisera pour constituer l'armature interne de renfort 13 des lames plates couchées en composite de fibres de carbone à haute résistance dont l'épaisseur va de 10 à 20 millimètres selon la longueur de la portée envisagée. Ceci signifie que chaque lame de bois présentant une engravure de réception sera amincie localement de 10 à 12 millimètres de son épaisseur au niveau desdites engravures. La longueur des lames de renfort en carbone sera d'environ 29,76 mètres pour la longueur L1 qui est la plus

grande (c'est-à-dire environ 30 mètres moins une distance d'environ 12 centimètres à partir de chaque extrémité), la longueur de l'élément suivant sera de l'ordre de 14 mètres, et, lorsque celui-ci sera prévu, la longueur du troisième élément constitutif plus court encore sera de l'ordre de 8 mètres.

[0047] Avec une poutre ayant le dimensionnement précité, le calcul permet de déterminer la valeur minimale de section désirée, c'est-à-dire en l'espèce environ 8160 millimètres carrés, ce qui donne, pour un mode de réalisation dans lequel les parties d'armature haute et basse comportent chacune deux niveaux d'éléments superposés, des lames plates de 120 millimètres de large pour 34 millimètres d'épaisseur.

[0048] Cette dernière valeur montre que l'on peut se contenter d'éléments de renfort faiblement dimensionnés, ce qui ouvre des perspectives extrêmement intéressantes que l'on ne pouvait obtenir précédemment avec les techniques classiques. En particulier, outre la facilité de fabrication des plats de composite, la faible épaisseur permet également de faciliter considérablement le transport dans la mesure où les plats peuvent être conditionnés en forme de rouleaux. En outre, on réalise une économie considérable de plats de composite de fibres de carbone dans la mise en oeuvre.

[0049] Les figures 11 à 13 illustrent une autre variante, dans laquelle l'armature interne de renfort en composite de fibres de carbone à haute résistance est constituée par des éléments allongés réalisés sous la forme de barres pleines, de section ronde ou autre. Comme cela est mieux visible sur la coupe de la figure 12, on utilise, à la fois en partie haute (comme en partie basse) de la poutre 10, des paires de barres de carbone juxtaposées.

[0050] On distingue ainsi une partie d'armature haute 13.1 qui est ici constituée de deux paires de barres 13'.11 de grande longueur, suivies de deux paires de barres 13'.12 de longueur plus faible. La partie d'armature basse 13.2 comporte de la même façon deux paires de barres 13.21 de grande longueur, et deux paires de barres de plus faible longueur 13.22. Les longueurs des barres sont comme précédemment déterminées à partir de la loi de variation retenue, par exemple en correspondance avec la courbe des moments fléchissants de la poutre.

[0051] En raison de l'importance de la section des barres de carbone, on peut avoir à faire face à des efforts importants exercés au niveau des extrémités libres des barres de carbone, lesquels efforts sont exercés directement sur le bois environnant. Pour éviter tout risque d'arrachement ou de délamination de cette zone fortement sollicitée, du corps en bois, il est intéressant de prévoir des plaques terminales de répartition des efforts, comme les plaques 15 illustrées ici. Ces plaques de butée seront de préférence réalisées également en carbone. Comme cela est mieux visible sur la vue éclatée de la figure 13, la plaque de butée 15 est encastrée dans une réservation associée 16 qui communique

avec la réservation 14 recevant les deux barres de renfort 13'.11 juxtaposées. Les deux lames de bois adjacentes concernées 12.1, 12.2 présentent alors chacune deux engravures 14.21, 14.22 de section demi-cylindrique, destinées à recevoir les barres de renfort en composite de fibres de carbone à haute résistance. Au débouché de ces engravures demi-cylindriques, on trouve alors l'engravure transversale 16 qui communique avec les précédentes, correspondant à une demi-hauteur de la plaque de butée 15.

[0052] Comme précédemment, les barres de section ronde sont noyées dans la matière de collage utilisée pour l'assemblage des lames de bois. La matière de collage sera de préférence une colle de résorcine, et plus particulièrement une colle de résorcine-urée-formol. Une telle colle réalise en effet une solidarisation extrêmement forte entre la surface des éléments de renfort en fibres de carbone et les fibres de bois adjacentes. L'armature de renfort 13 fait ainsi intimement corps avec le corps de poutre en lamellé-collé, et procure un comportement mécanique optimal pour la poutre armée ainsi réalisée.

[0053] On aura noté dans le cas de la réalisation d'une armature de renfort sous forme de barres de carbone, que l'on retrouve une partie d'armature haute 13.1 et une partie d'armature basse 13.2 disposées symétriquement par rapport à la fibre neutre de la poutre.

[0054] Grâce à l'armature interne en composite de fibres de carbone précédemment décrite, on obtient une compatibilité surprenante et très performante de déformation entre le bois et les fibres de carbone. Dans la pratique, les éléments en composite de fibres de carbone à haute résistance seront constitués par une association entre des fibres de carbone et une résine associée, obtenue grâce à une polymérisation dans un moule. Sous l'action des charges appliquées, on constate que le bois se déforme, et si l'on pousse les charges au fur et à mesure, en augmentant la charge de façon à atteindre la plastification des lames de bois, celles qui se trouvent sur les fibres extrêmes atteignent les limites de sa résistance et se plastifient, entraînant la colle qui flue et transmettant la charge à la deuxième lame, et ainsi de suite jusqu'à l'épuisement de la résistance des lames en bois. On obtient ainsi un diagramme de déformation qui n'est plus triangulaire, mais rectangulaire.

[0055] Par ailleurs, pour des portées de 25 à 40 mètres, l'utilisation d'une armature interne conforme à l'invention permet de limiter considérablement la hauteur des poutres, avec un gain de 30 à 40 % par rapport aux structures traditionnelles en lamellé-collé ne présentant aucune armature interne.

[0056] Par ailleurs, comme cela est visible sur les figures 3 et 6, il est intéressant de prévoir que la poutre 10 comporte des lames de bois 12.i et des éléments de renfort 13.1j, 13.2j incurvés de façon à présenter une contre-flèche notée $\underline{c}$ qui est maximale à mi-longueur de ladite poutre. Ainsi, le bord inférieur 18 de la poutre 10, ou intrados, est incurvé de telle sorte que la poutre

de longue portée 10 présente une contre-flèche qui est maximale à mi-longueur de la poutre, le paramètre c étant de préférence donné par la relation $c = 0,013 \times (1/2L)$, où L est la longueur de la poutre 10. Ceci correspond alors à une contre-flèche de 1,3%.

[0057] La présence d'une telle contre-flèche permet de mieux maîtriser les efforts des moments fléchissants, et aussi de favoriser les écoulements des eaux en toiture grâce à la déclivité ainsi formée qui guide les eaux de pluie en direction des extrémités des poutres de longue portée.

[0058] Un autre avantage de l'invention réside dans la participation de la poutre de longue portée au cloisonnement d'une partie de toiture de la superstructure.

[0059] En effet, si on se réfère aux figures 14 et 15, on constate que chaque poutre de longue portée à armature interne 10 est équipée latéralement, en partie haute et parallèlement au bord supérieur de celle-ci, de deux semelles d'appui 20 fixées par des boulons traversants 21. Ces semelles d'appui 20 s'étendent ainsi longitudinalement sur la presque totalité de la longueur de la poutre 10. Le bord supérieur de chacune des semelles 20 est disposé un peu plus bas que le bord supérieur de la poutre, ce qui ménage un espace d'appui pour des éléments d'extrémité 5.5 des poutrelles du type "joist canam". On peut alors disposer un élément de toiture 25, avec sa plaque supérieure d'étanchéité 26, son matelas intermédiaire isolant 27, et son bac de support ondulé 28, en appui sur les ensembles de poutrelles 5, la fixation étant assurée précisément sur les semelles précitées 20 par des tire-fond 22. Ainsi que cela est aisé à comprendre, les poutres de longue portée 2 et 10 réalisent un cloisonnement naturel de cette partie de toiture, ce qui permet de générer tout naturellement des espaces formant cantons de désenfumage. Les cantons étant ainsi réalisés permettent de rester conforme aux normes les plus sévères en matière de résistance au feu, sans qu'il soit nécessaire de rajouter des éléments constitutifs.

[0060] Enfin, la poutre armée conforme à l'invention, reste extrêmement homogène grâce à l'utilisation d'une surface maximale de collage bois sur bois, et à l'excellent travail du binôme carbone-bois. Cette technique permet par ailleurs une meilleure protection au feu du carbone, et, en le dissimulant, conserve à la poutre toute l'intégralité de son aspect bois.

[0061] Bien que la description qui précède concerne une application à la réalisation d'une superstructure modulaire, on pourra naturellement utiliser la poutre de longue portée dans d'autres ouvrages de génie civil, tels que tabliers de ponts, tabliers de passerelles ou ossatures de plate-forme, et plus généralement tout ouvrage nécessitant des éléments porteurs de grandes dimensions.

[0062] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui viennent d'être décrits, mais englobe au contraire toute variante reprenant, avec des moyens équivalents, les caractéristiques essentielles énoncées plus

haut.

renfort (13.11, 13.12, 13.13 ; 13.21, 13.22, 13.23) sont des lames plates couchées.

Revendications

1. Poutre de longue portée (10) destinée à constituer un élément porteur d'une superstructure modulaire ou autre ouvrage de génie civil, ladite poutre étant constituée d'un corps principal en bois (12) à structure en lamellé-collé, et d'une armature interne de renfort (13) constituée par des éléments allongés en composite de fibres de carbone à haute résistance qui s'étendent suivant la direction longitudinale de la poutre, chacun desdits éléments allongés étant logé et collé dans une réservation associée latéralement non-débouchante, **caractérisée en ce que** l'armature interne de renfort (13) est formée d'une partie d'armature haute (13.1) et d'une partie d'armature basse (13.2) comportant chacune une pluralité d'éléments superposés (13.11, 13.12, 13.13 ; 13.21, 13.22, 13.23) dont la longueur décroît identiquement à partir des deux extrémités de ladite poutre au fur et à mesure que l'on s'éloigne du bord libre respectivement supérieur (19) ou inférieur (18) de la poutre conformément à une loi de variation prédéterminée, et dont la section est telle que la section totale des éléments de ladite pluralité haute ou basse d'éléments est au moins égale à une valeur minimale calculée en fonction des dimensions de la poutre et des charges appliquées sur ladite poutre.
2. Poutre (10) selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la loi de variation déterminant les longueurs des éléments d'armature (13.11, 13.12, 13.13 ; 13.21, 13.22, 13.23) correspond sensiblement à la courbe (MF) des moments fléchissants de ladite poutre.
3. Poutre (10) selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisée en ce que** la partie d'armature haute (13.1) et la partie d'armature basse (13.2) sont agencées symétriquement par rapport à la fibre neutre (L) de ladite poutre.
4. Poutre (10) selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** la partie d'armature haute (13.1) et la partie d'armature basse (13.2) comportent chacune deux ou trois niveaux d'éléments de renfort superposés.
5. Poutre (10) selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** chaque niveau d'armature haute (13.1) ou basse (13.2) comporte deux éléments de renfort identiques juxtaposés.
6. Poutre (10) selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce que** les éléments allongés de

7. Poutre (10) selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce que** les éléments allongés de renfort (13.11, 13.12 ; 13.21, 13.22) sont des barres pleines, de section ronde ou autre.
8. Poutre (10) selon les revendications 5 et 6, **caractérisée en ce que** les lames plates juxtaposées (13.11) de chaque paire sont disposées côte à côte dans une réservation commune (14).
9. Poutre (10) selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** chaque réservation commune (14) est définie par une engravure non débouchante (14.2) pratiquée dans une lame de bois et par la face en regard (14.1) de la lame de bois directement adjacente.
10. Poutre (10) selon les revendications 5 et 7, **caractérisée en ce que** les barres de renfort juxtaposées (13.11) de chaque paire sont disposées dans des réservations associées (14) adjacentes mais non communicantes entre elles, chacune desdites réservations étant définie par deux engravures complémentaires non débouchantes (14.21, 14.22) pratiquées dans deux lames de bois adjacentes.
11. Poutre (10) selon la revendication 10, **caractérisée en ce qu'il** est prévu, contre chaque extrémité libre des barres de renfort de plus grande longueur (13.11, 13.21), une plaque de butée (15) encastrée dans une réservation associée (16) communiquant avec la réservation individuelle (14) recevant la barre de renfort concernée.
12. Poutre (10) selon la revendication 8 ou la revendication 10, **caractérisée en ce que** chaque réservation commune ou individuelle (14) présente en outre au moins une saignée longitudinale (14.3, 14.4) débouchant dans ladite réservation, en vue d'éviter une délamination du bois de certaines lames, ou une fissuration du carbone de certains éléments de renfort (13.11).
13. Poutre (10) selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisée en ce que** les éléments de renfort constituant les parties d'armature haute (13.1) et basse (13.2) sont tous noyés dans la matière de collage utilisée, celle-ci étant de préférence la même que la matière de collage solidarissant les lames de bois entre elles.
14. Poutre (10) selon la revendication 13, **caractérisée en ce que** la matière de collage est une colle de résorcine, et de préférence une colle de résorcine-urée-formol.

15. Poutre (10) selon l'une des revendications 1 à 14, **caractérisée en ce qu'elle** comporte des lames de bois (12.i) et des éléments de renfort (13.1j, 13.2j) incurvés, de façon à présenter une contre-flèche (c) qui est maximale à mi-longueur de ladite poutre.

5

10

15

20

25

30

35

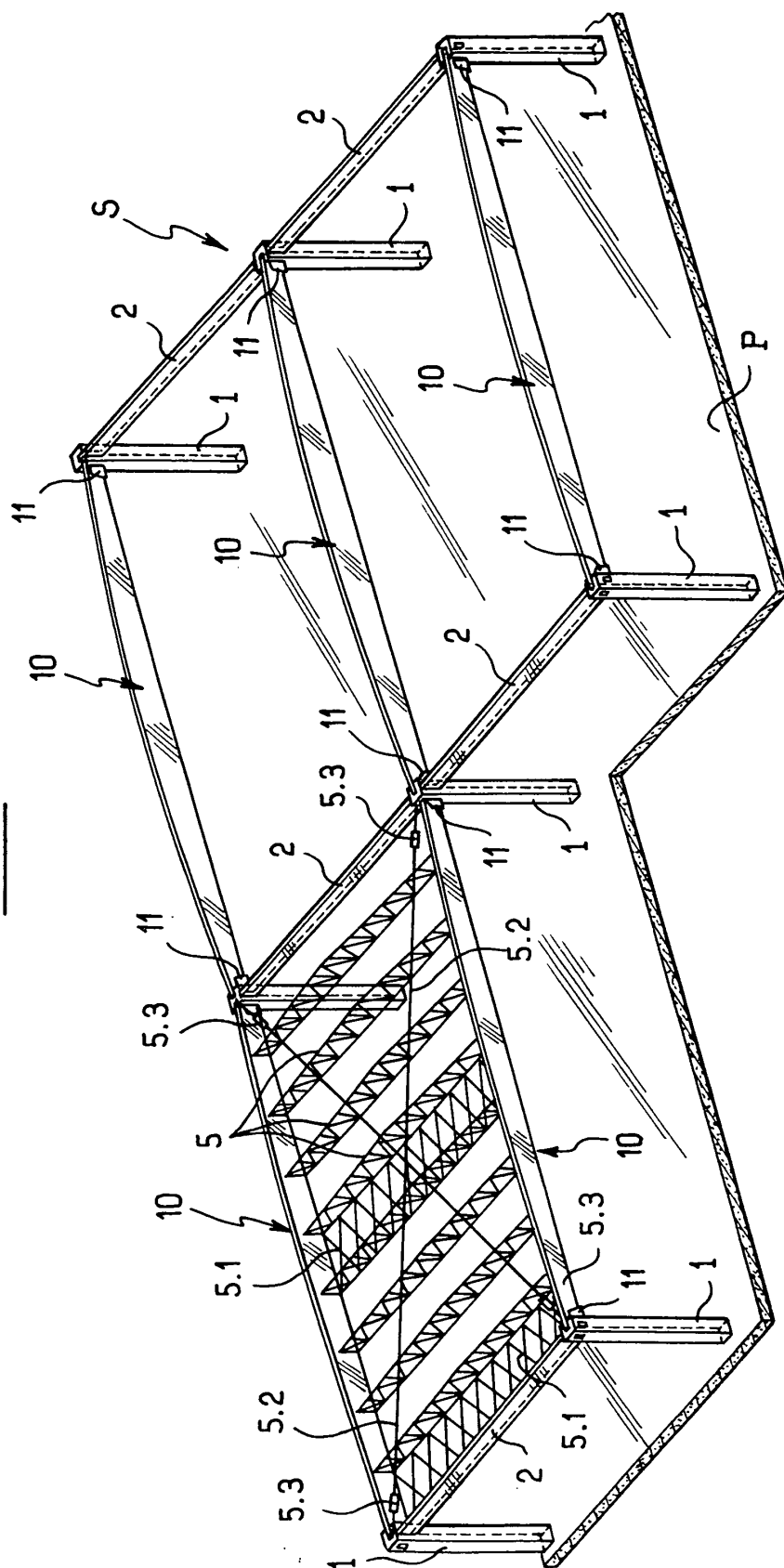
40

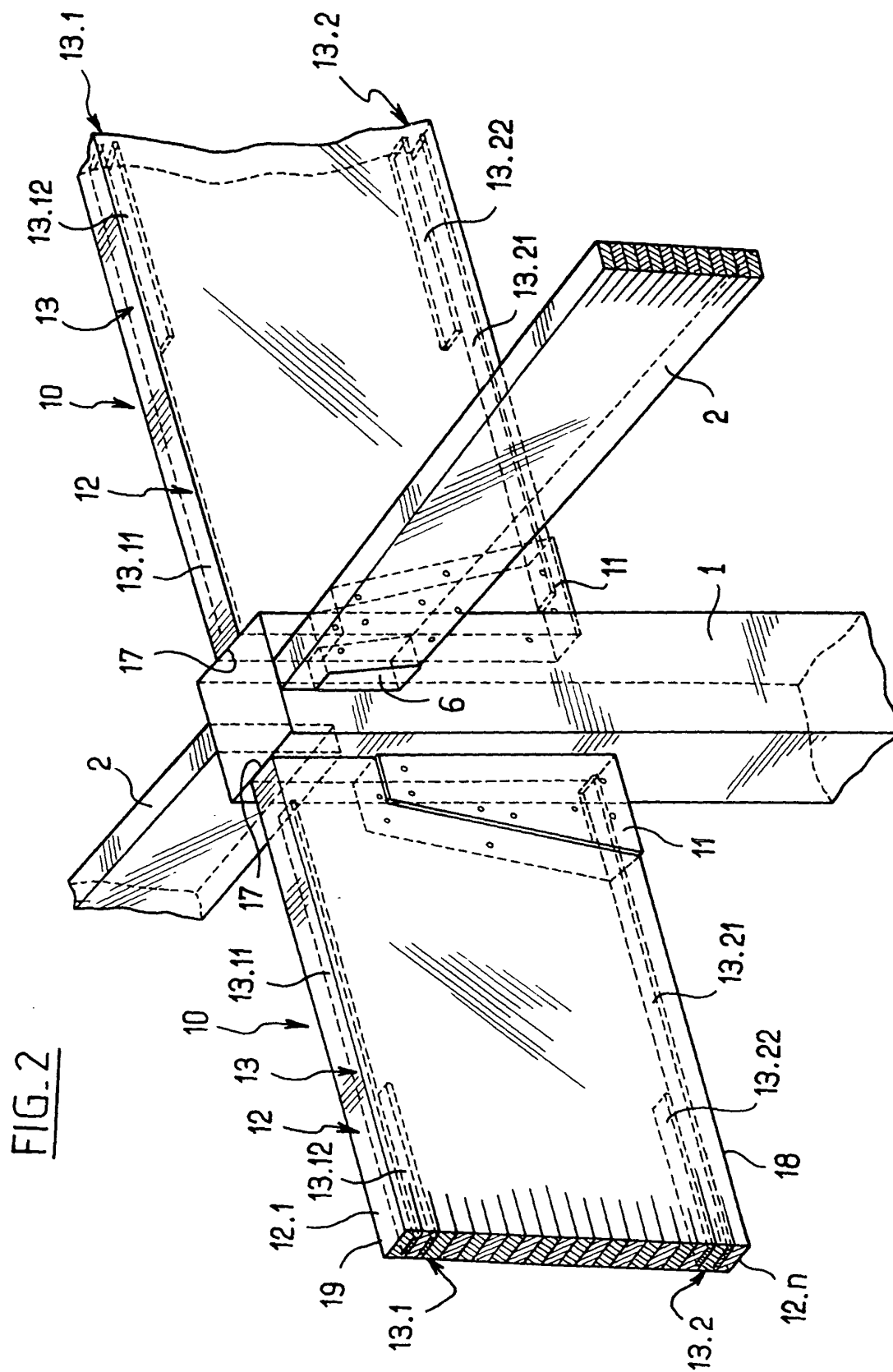
45

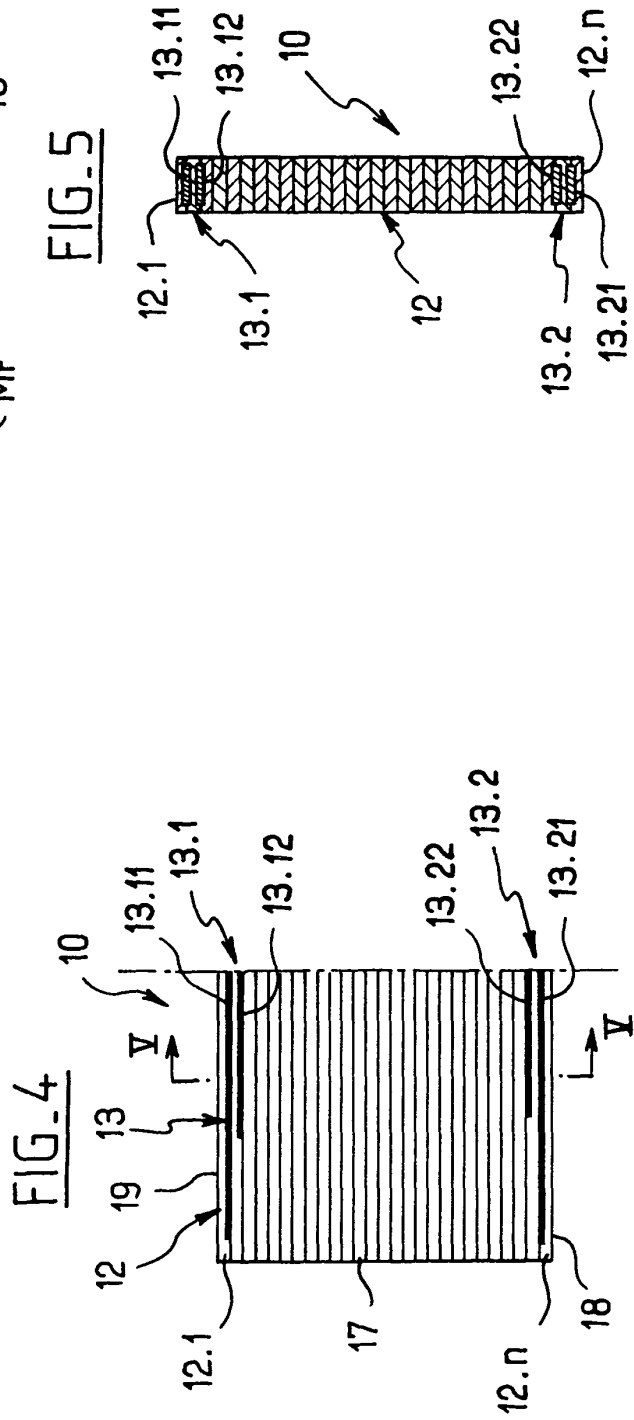
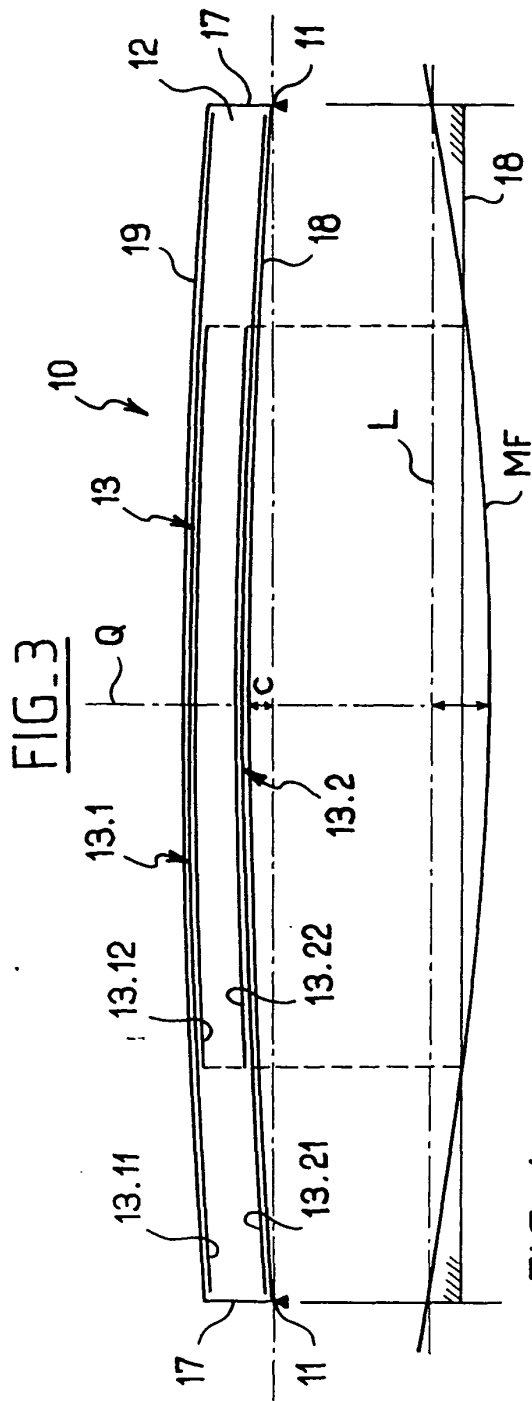
50

55

FIG. 1







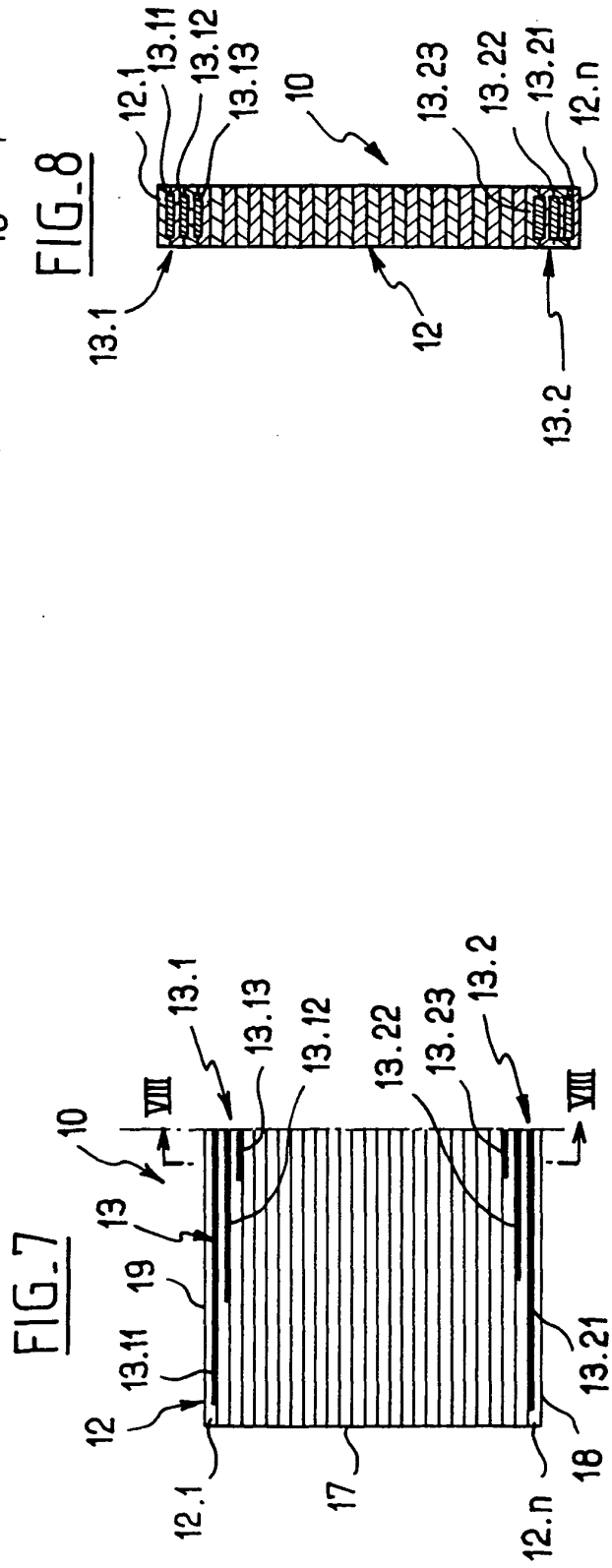
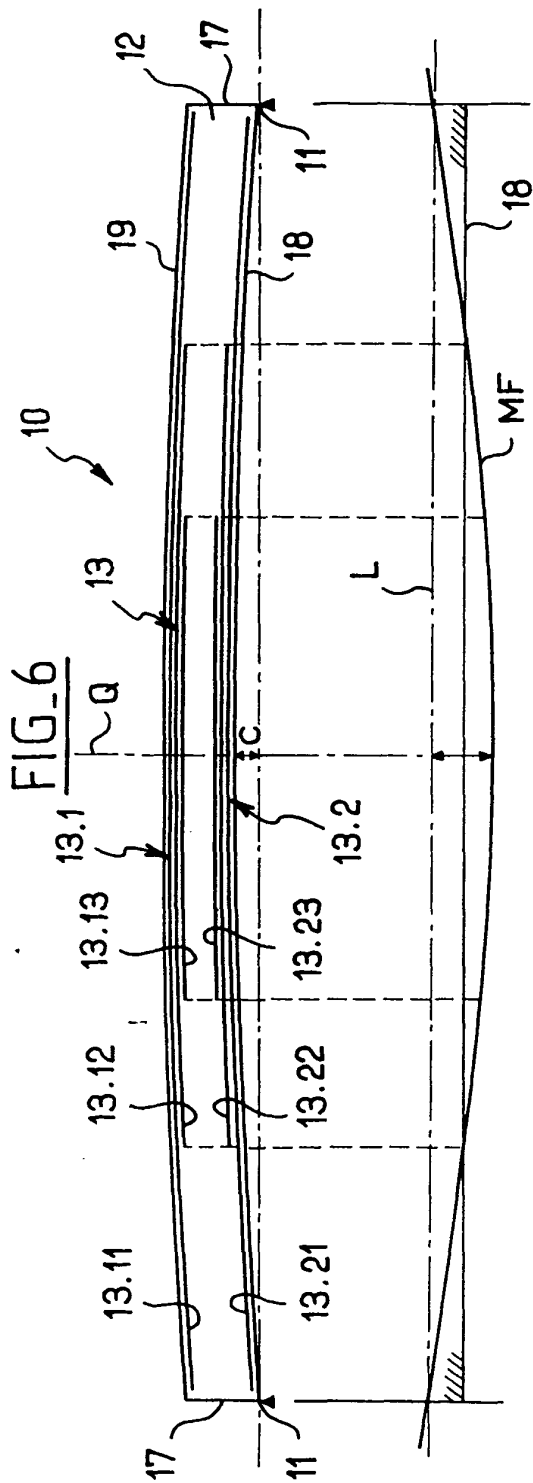


FIG. 9

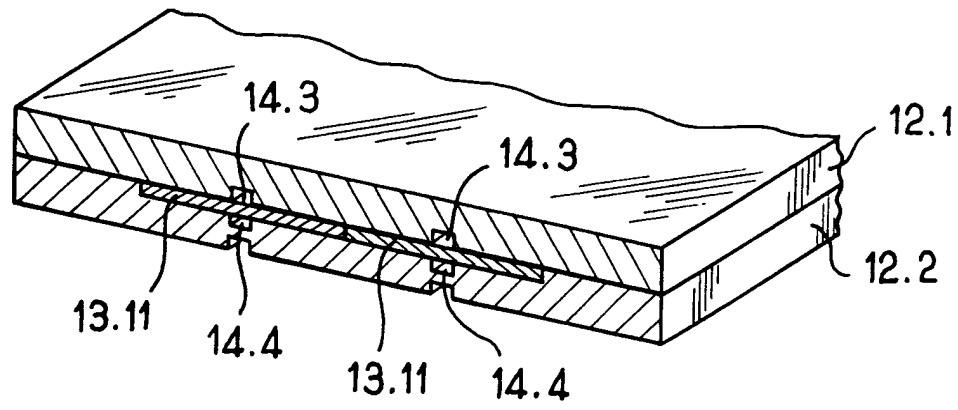
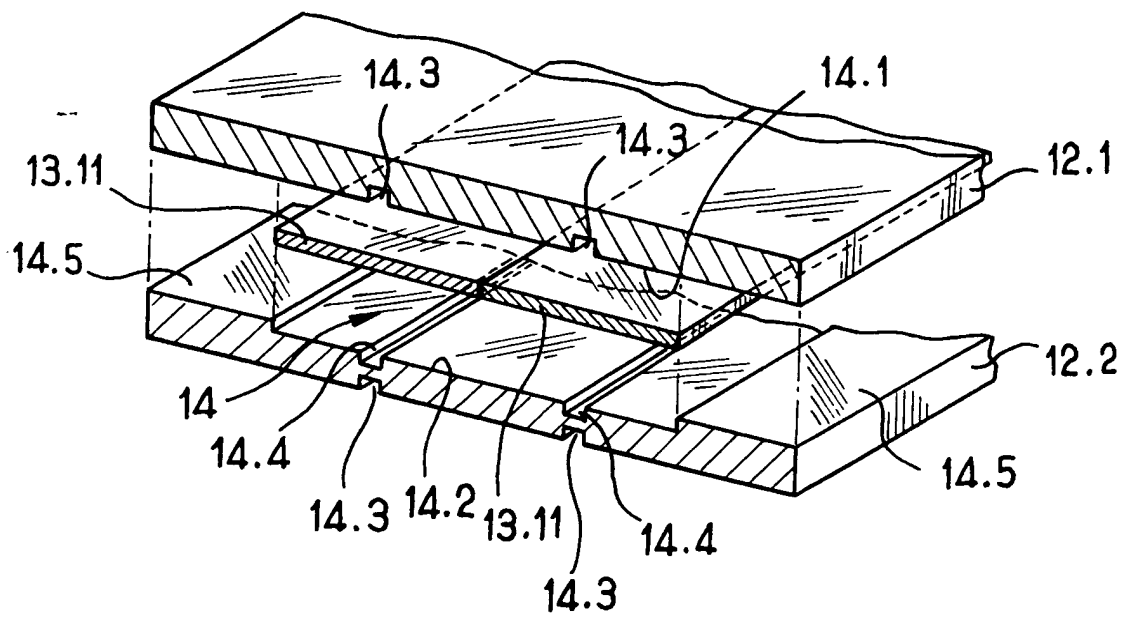


FIG. 10



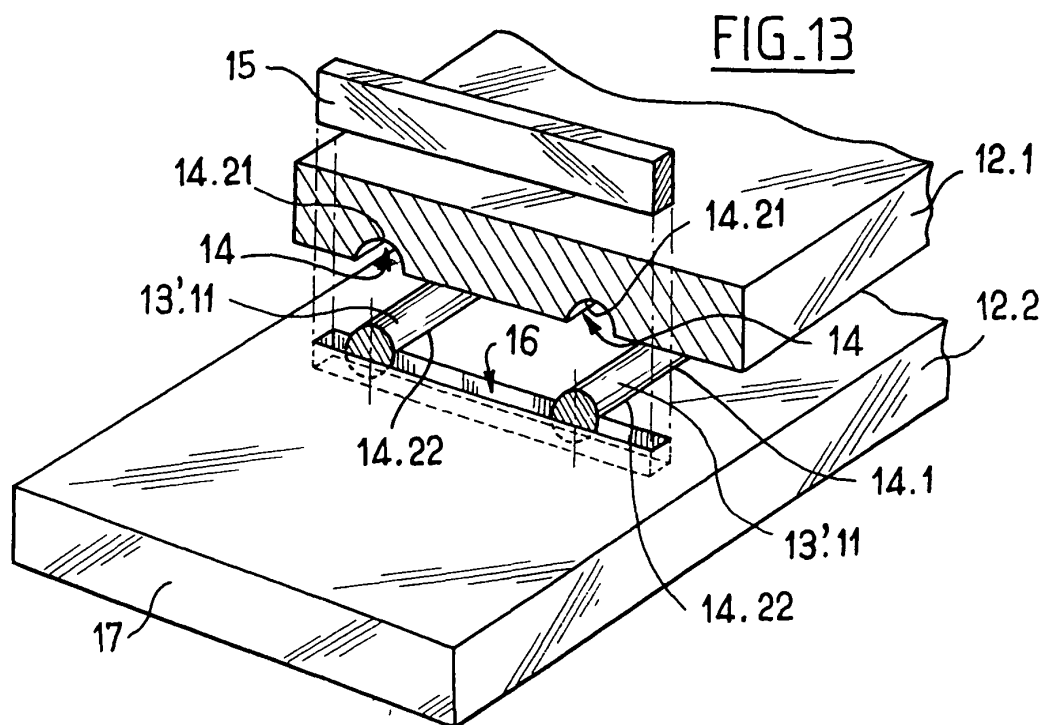
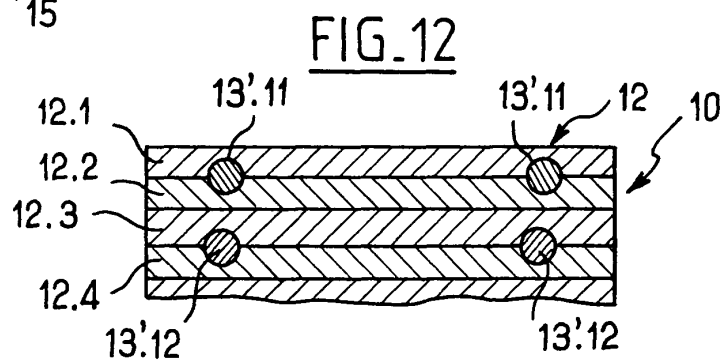
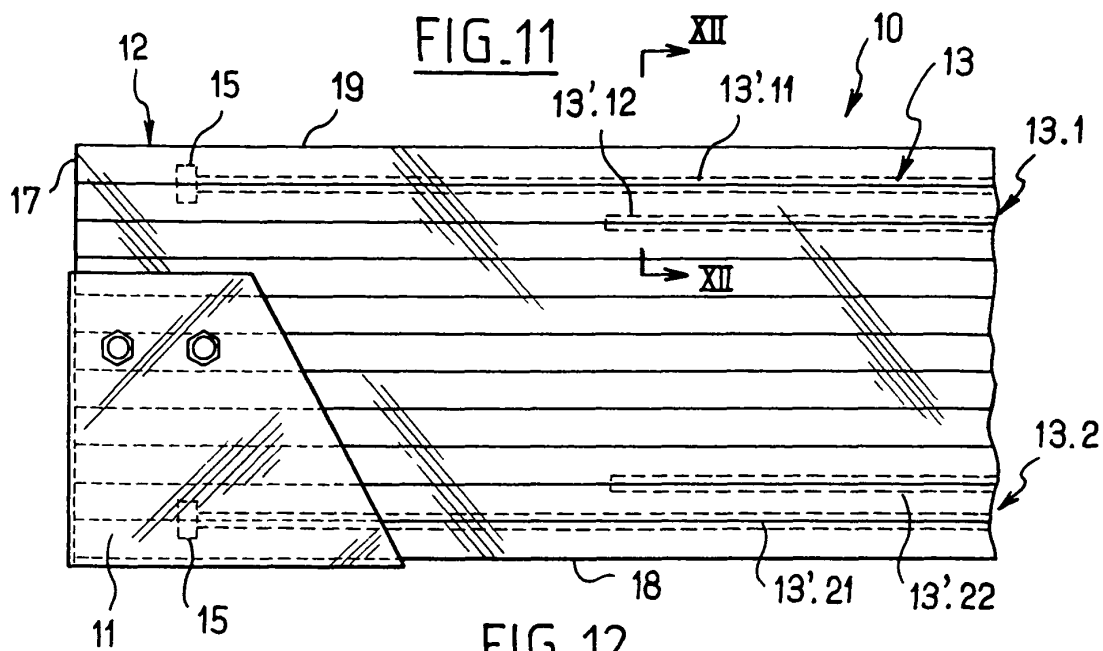


FIG. 14

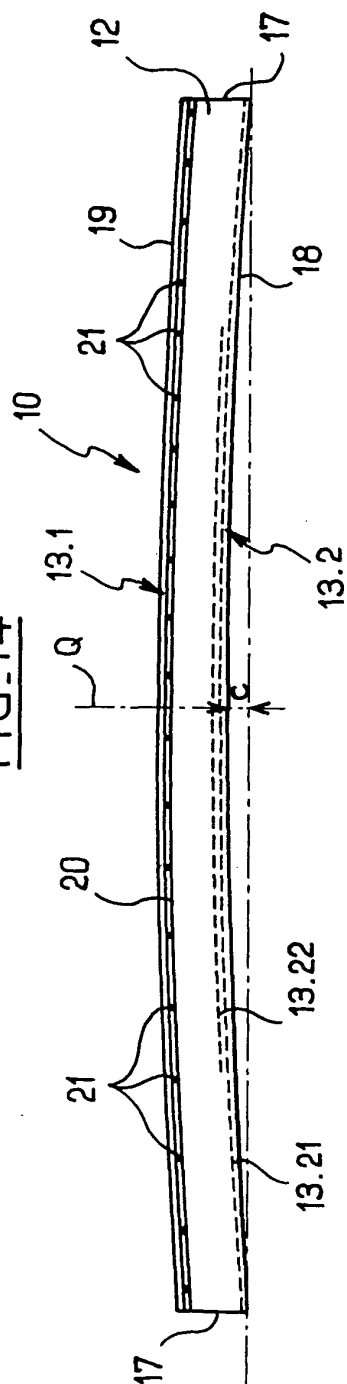
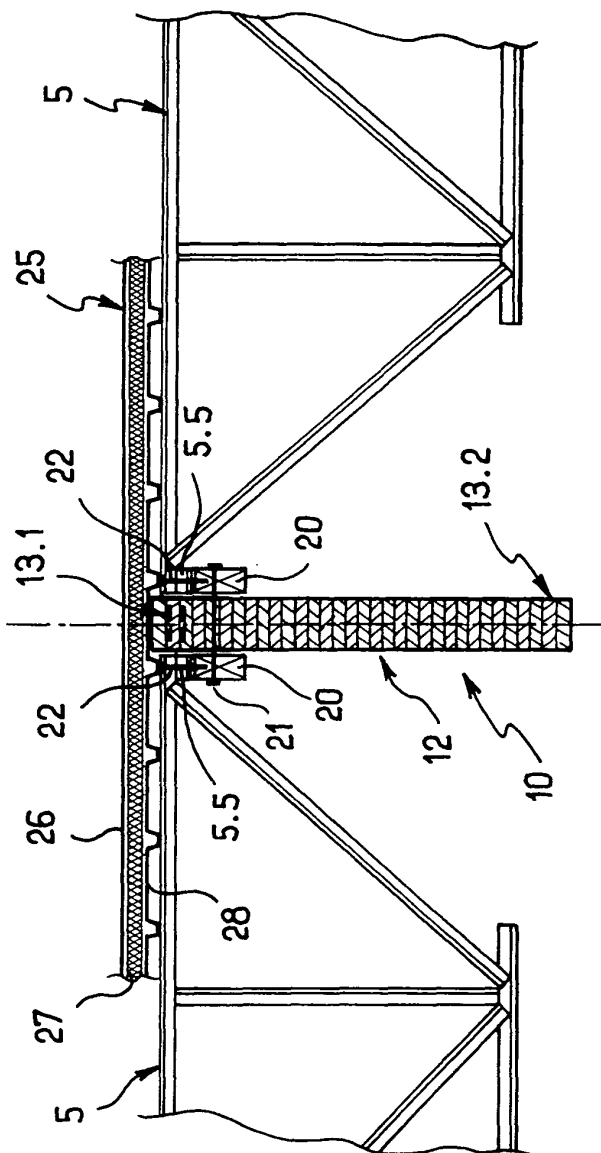


FIG. 15





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 04 29 2414

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
D,A	WO 00/17465 A (BUCHACHER) 30 mars 2000 (2000-03-30) * page 3, alinéa 2; figures 2,3 *	1,3,6,9, 13,15	E04C3/18
D,A	FR 2 691 993 A (CAILLAUD) 10 décembre 1993 (1993-12-10) * page 4, ligne 20 - ligne 30 * * page 6, ligne 12 - ligne 26; figures 1,3 *	1,3,4,6, 13	
D,A	WO 96/13378 A (TINGLEY) 9 mai 1996 (1996-05-09) * page 11, dernier alinéa * * page 20, alinéa 2; figures 1,5,6,10 *	1,3,6, 13,14	
D,A	FR 2 218 978 A (UHALDE BERNIER SA) 20 septembre 1974 (1974-09-20) * le document en entier *	1,3,4,6	
D,A	DE 41 00 044 A (TRAUTZ) 9 juillet 1992 (1992-07-09) * le document en entier *	1,3,4	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7) E04C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 3 février 2005	Examineur Righetti, R
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date 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 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 04 29 2414

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

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

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

03-02-2005

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
W0 0017465	A	30-03-2000	AT 3524 U1	25-04-2000
			W0 0017465 A1	30-03-2000
			EP 1032739 A1	06-09-2000
FR 2691993	A	10-12-1993	FR 2691993 A1	10-12-1993
W0 9613378	A	09-05-1996	US 5648138 A	15-07-1997
			AU 706023 B2	03-06-1999
			AU 3967395 A	23-05-1996
			CA 2188443 A1	09-05-1996
			EP 0768949 A1	23-04-1997
			FI 971788 A	24-06-1997
			HU 76564 A2	29-09-1997
			JP 10510015 T	29-09-1998
			NO 964542 A	21-03-1997
			NZ 295993 A	26-08-1998
			W0 9613378 A1	09-05-1996
			US 6173550 B1	16-01-2001
			US 5974760 A	02-11-1999
			US 5910352 A	08-06-1999
			US 5885685 A	23-03-1999
FR 2218978	A	20-09-1974	FR 2218978 A1	20-09-1974
DE 4100044	A	09-07-1992	DE 4100044 A1	09-07-1992

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82