

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :

2 938 565

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

08 06349

⑤1 Int Cl⁸ : E 04 C 1/40 (2006.01), E 04 C 3/29, E 04 B 1/14

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 14.11.08.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 21.05.10 Bulletin 10/20.

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 :

⑦1 Demandeur(s) : LAFARGE Société anonyme — FR et
UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I Etablis-
sement public — FR.

⑦2 Inventeur(s) : CHANVILLARD GILLES, FERRIER
EMMANUEL et ZUBER BRUNO.

⑦3 Titulaire(s) : LAFARGE Société anonyme, UNIVER-
SITE CLAUDE BERNARD LYON I Etablissement public.

⑦4 Mandataire(s) : LAFARGE.

⑤4 ELEMENT DE STRUCTURE COMPRENANT DU BOIS ET DU BETON.

⑤7 La présente invention a pour objet un procédé de fa-
brication d'un élément de structure comprenant les étapes
suivantes:

i. encoller à l'aide d'une colle structurale au moins deux
modules en béton ultra hautes performances;

ii. assembler et coller les modules obtenus à l'étape i
avec un module en bois;

iii. éventuellement encoller à l'aide d'une colle structura-
le au moins un module en bois;

iv. éventuellement assembler et coller le(s) module(s)
obtenu(s) à l'étape iii soit avec les modules obtenus à l'éta-
pe i, soit avec le module en bois de l'étape ii;

v. presser l'élément obtenu à l'étape ii ou à l'étape iv;
et au moins deux modules en béton ultra hautes perfor-
mances ne sont pas collés l'un sur l'autre;

et au moins deux modules en béton ultra hautes perfor-
mances se trouvent en partie extérieure de l'élément de
structure obtenu à l'étape v.

FR 2 938 565 - A1



Élément de structure comprenant du bois et du béton

La présente invention a pour objet un nouvel élément de structure destiné au domaine de la construction associant deux matériaux : le bois et le béton ultra hautes performances.

Plusieurs critères sont à satisfaire pour répondre aux besoins du domaine de la construction : garantir de bonnes performances mécaniques, limiter l'impact sur l'environnement, et valider la fiabilité et la durabilité des matériaux.

Les solutions connues pour répondre à ces exigences sont les suivantes : sélection d'essences de bois de grande qualité, augmentation des sections des éléments de structure, ou utilisation d'autres matériaux que le bois (acier, béton). On connaît à titre d'exemples d'éléments de structure des poutres en bois lamellé collé, des poutres en acier ou encore des poutres en béton armé.

Cependant, ces solutions arrivent à leurs limites et ne sont pas complètement satisfaisantes. En effet, le bois présente l'inconvénient majeur d'être moins résistant que d'autres matériaux comme l'acier ou le béton armé. Cet inconvénient nécessite une augmentation de la taille des éléments de structure en bois, ce qui va à l'encontre des besoins architecturaux actuels d'allègement des structures.

L'acier ou le béton sont quant à eux plus résistants, mais ils posent d'autres problématiques, notamment en terme d'impact sur l'environnement. Leur large utilisation est donc peu souhaitable en terme de développement durable.

Aussi le problème que se propose de résoudre l'invention est de fournir un nouveau moyen adapté pour améliorer les performances mécaniques des éléments de structure tout en limitant la quantité de matériaux utilisés.

De manière inattendue, les inventeurs ont mis en évidence qu'il est possible d'utiliser à la fois du bois et du béton ultra hautes performances, pour obtenir des éléments de structure répondant aux attentes des utilisateurs.

Dans ce but la présente invention propose un procédé de fabrication d'un élément de structure comprenant les étapes suivantes :

- i. encoller à l'aide d'une colle structurale au moins deux modules en béton ultra hautes performances ;
- ii. assembler et coller les modules obtenus à l'étape i avec un module en bois ;
- iii. éventuellement encoller à l'aide d'une colle structurale au moins un module en bois ;

iv. éventuellement assembler et coller le(s) module(s) obtenu(s) à l'étape iii soit avec les modules obtenus à l'étape i, soit avec le module en bois de l'étape ii ;

v. presser l'élément obtenu à l'étape ii ou à l'étape iv ;

5 et au moins deux modules en béton ultra hautes performances ne sont pas collés l'un sur l'autre ;

et au moins deux modules en béton ultra hautes performances se trouvent en partie extérieure de l'élément de structure obtenu à l'étape v.

L'invention offre des avantages déterminants, en particulier l'élément de structure
10 selon l'invention peut présenter des performances mécaniques améliorées par rapport aux solutions existantes, et notamment par rapport à un élément de structure en bois lamellé collé.

Avantageusement, l'élément de structure selon l'invention peut présenter une rigidité en flexion et/ou une charge ultime améliorées.

15 L'invention offre comme autre avantage que la portée des éléments de structure selon l'invention peut être améliorée par rapport aux éléments de structure en bois lamellé collé.

Un autre avantage de la présente invention est que les éléments de structure selon l'invention peuvent ne pas présenter de glissement entre les différents modules
20 d'un élément de structure. De même, les éléments de structure selon l'invention peuvent être moins sensibles à l'instabilité (déversement) par rapport aux éléments de structures existants, et notamment par rapport aux poutres en bois lamellé collé.

De plus, les éléments de structure selon l'invention présentent comme avantage une diminution de la taille des éléments de structure, notamment par rapport au bois
25 lamellé collé. Cette diminution de taille permet de réduire la consommation en matériaux de construction

Un autre avantage de l'invention est un allègement des éléments de structure selon l'invention, notamment en comparaison avec des éléments de structure en acier ou en béton.

30 Enfin, l'invention offre comme autre avantage de permettre de valoriser l'utilisation du bois dans les éléments de structure, grâce à l'amélioration des caractéristiques des éléments de structure. De même, l'invention peut permettre de valoriser des qualités de bois pas ou peu utilisées dans les éléments de structure connus. Cette valorisation du bois permet de réduire les rejets de CO₂ lors de la réalisation des éléments de structure
35 selon l'invention.

Finalement, l'invention a pour avantage de pouvoir être mise en œuvre dans toutes industries, et notamment l'industrie du bâtiment (maisons individuelles, bâtiments

collectifs ou industriels, planchers auto-porteurs, etc.), et à l'ensemble des marchés de la construction (bâtiment, génie civil ou usine de préfabrication).

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront clairement à la lecture de la description et des exemples donnés à titre purement illustratifs et non
5 limitatifs qui vont suivre.

L'invention concerne un procédé de fabrication d'un élément de structure comprenant les étapes suivantes :

- i. encoller à l'aide d'une colle structurale au moins deux modules en béton ultra hautes performances ;
 - 10 ii. assembler et coller les modules obtenus à l'étape i avec un module en bois ;
 - iii. éventuellement encoller à l'aide d'une colle structurale au moins un module en bois ;
 - iv. éventuellement assembler et coller le(s) module(s) obtenu(s) à l'étape iii
15 soit avec les modules obtenus à l'étape i, soit avec le module en bois de l'étape ii ;
 - v. presser l'élément obtenu à l'étape ii ou à l'étape iv ;
- et au moins deux modules en béton ultra hautes performances ne sont pas collés l'un sur l'autre ;
- 20 et au moins deux modules en béton ultra hautes performances se trouvent en partie extérieure de l'élément de structure obtenu à l'étape v.

Par l'expression « élément de structure », on entend selon la présente invention un élément porteur qui assure l'intégrité d'une construction (bâtiment, ouvrage, etc.) et le maintien des éléments non structuraux (équipements, garnissage, etc.). Un élément
25 de structure permet le transfert des différentes forces appliquées à la construction jusqu'au sol. Il permet d'assurer à la construction sa solidité et sa stabilité. Il est généralement soumis à des contraintes très importantes. Un élément de structure peut par exemple être une poutre ou un plancher auto-porteur.

Par l'expression « module », on entend selon la présente invention une pièce en
30 bois ou en béton ultra hautes performances. Les modules en béton ultra hautes performances selon l'invention sont en béton durci.

Par l'expression « béton durci » on entend selon la présente invention un béton dont la prise et le durcissement sont terminés.

Par l'expression « bois », on entend selon la présente invention des bois massifs
35 structuraux (pièces de bois sciées à partir de grumes ou de pièces de bois de plus grandes dimensions permettant de supporter les forces appliquées à une structure les

comprenant), des bois contrecollés, du bois lamellé collé, du bois reconstitué (pièce en bois obtenu par aboutage et collage de bois massifs).

Par l'expression « grume », on entend selon la présente invention un arbre abattu, ébranché et encore couvert d'écorce.

5 Par l'expression « béton ultra hautes performances », on entend selon la présente invention un béton présentant une résistance à la compression supérieure ou égale à 100 MPa. De préférence, le béton ultra hautes performances selon l'invention présente en outre une résistance à la traction supérieure à 8 MPa. Avantageusement, le béton ultra hautes performances selon l'invention présente en outre un module d'élasticité
10 supérieur à 40 000 MPa.

Par l'expression « colle structurale », on entend selon la présente invention une colle présentant une résistance suffisante pour être utilisée dans un élément de structure. Un assemblage collé avec de la colle structurale est capable de supporter des efforts importants. Une colle structurale peut notamment être caractérisée par une
15 résistance en traction allant de 20 à 35 MPa. Une colle structurale selon l'invention peut notamment être du polyuréthane, de l'époxyde, ou leurs mélanges.

Par l'expression « ouvrage », on entend selon la présente invention une construction. On parle notamment d'ouvrage d'art pour un pont, un viaduc, un tunnel ou toute construction destinée au franchissement d'un obstacle naturel ou non par une
20 route et/ou une voie ferrée ou un espace libre dans le cas d'un bâtiment. La notion d'ouvrage comprend également les ossatures d'un bâtiment.

Par l'expression « portée », on entend selon la présente invention la longueur maximale libre, c'est-à-dire entre deux appuis, d'un élément de structure placé horizontalement dans une construction, et soutenu par un ou plusieurs points d'appui.

25 Par l'expression « charge ultime », on entend selon la présente invention la charge maximale que peut supporter un élément de structure avant de se casser.

Par l'expression « déversement », on entend selon la présente invention l'instabilité matérielle liée au flambage de la partie comprimée d'un élément de structure.

Par l'expression « flambage ou flambement », on entend selon la présente
30 invention le phénomène d'instabilité d'un matériau, qui, soumis à une force de compression, a tendance à fléchir et à se déformer dans une direction perpendiculaire à la force de compression.

Selon une variante du procédé selon l'invention, le(s) module(s) obtenu(s) à l'étape iii est (sont) assemblé(s) et collé(s) avec le module en bois de l'étape ii avant
35 l'assemblage et le collage avec les modules obtenus à l'étape i.

Selon une autre variante du procédé selon l'invention, le(s) module(s) obtenu(s) à l'étape iii est (sont) assemblé(s) et collé(s) avec le module en bois de l'étape ii après le

collage et l'assemblage avec un premier module en béton ultra hautes performances obtenu à l'étape i et avant le collage et l'assemblage avec un dernier module en béton ultra hautes performances obtenu à l'étape i.

On entend par « dernier module en béton ultra hautes performances » selon la présente invention un des deux modules extérieurs de l'élément de structure selon l'invention.

Selon une variante du procédé selon l'invention, au moins un module supplémentaire en béton ultra hautes performances est encollé, assemblé et collé soit avec le module en bois de l'étape ii, soit avec le(s) module(s) en bois de l'étape iii.

Selon une variante du procédé selon l'invention, au moins un module peut subir un traitement de surface avant son encollage. De préférence, tous les modules subissent un traitement de surface avant leur encollage. Un traitement de surface selon l'invention peut par exemple être une préparation chimique, un décapage, un sablage ou un ponçage. De préférence, on peut utiliser le ponçage pour les modules en bois. Avantageusement, on peut utiliser le sablage pour les modules en béton ultra hautes performances.

De préférence, au moins deux modules en bois peuvent se présenter sous forme d'un élément en bois lamellé collé pré-fabriqués, c'est-à-dire préparés avant l'assemblage et le collage avec au moins deux modules en béton ultra hautes performances en partie extérieure de l'élément de structure.

De préférence, au moins un module en béton ultra hautes performances comprend au moins une armature. Les armatures selon la présente invention peuvent notamment être en acier, polymère renforcé de fibres de verre ou de carbone, ou leurs mélanges. Selon une variante du procédé selon l'invention, seul le module inférieur en béton ultra hautes performances comprend au moins une armature. On entend par « module inférieur » selon la présente invention un module en béton ultra hautes performances qui se trouve en partie extérieure d'un élément de structure selon l'invention sur la face inférieure dudit élément de structure. De même, on entend par « module supérieur » selon la présente invention un module en béton ultra hautes performances qui se trouve en partie extérieure d'un élément de structure selon l'invention sur la face supérieure dudit élément de structure.

Avantageusement, au moins un module en béton ultra hautes performances comprend au moins une fibre. Les fibres selon l'invention peuvent notamment être en matériau métallique, en matériau minéral, en matériau organique, en matériau composite ou leurs mélanges. Par exemple, les fibres selon l'invention peuvent être en acier, en carbone, en verre, synthétique, ou leurs mélanges. Avantageusement, les fibres selon l'invention sont en acier. Par l'expression « matériau composite », on

entend selon la présente invention un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles mais ayant une forte capacité d'adhésion. Le nouveau matériau ainsi réalisé possède des propriétés que les éléments seuls ne possèdent pas. A titre de matériau composite, on peut citer par exemple, les fibres de verre, les fibres de carbone, le contreplaqué ou la fibre d'aramide aussi appelé Kevlar.

Le collage selon l'invention peut être réalisé avec les colles structurales couramment utilisées dans le domaine du bâtiment et telles que définies selon l'invention. Une colle structurale selon l'invention peut notamment être du polyuréthane, de l'époxyde, ou leurs mélanges. En ce qui concerne le collage d'un module en bois sur un autre module en bois, une variante du procédé selon l'invention peut utiliser une colle comprenant un taux de résorcine réduit. Des exemples de colles qui peuvent être utilisées pour l'assemblage des modules en bois sont donnés ci-après :

- Colles de résines synthétiques thermodurcissables
- Combinaisons phénol / formol (type bakélite) ou crésol / formol
- Combinaisons résorcine / formol, phénol / acétylène, furfurool / formol
- Résines de carbamide : urée / formol (types Caurite ou Mélocol H)
- Résines de sulfo carbamide : thio-urée formol
- Résines de mélamine : mélamine formol (type Mélocol M)
- Polyuréthane
- Résines époxydes.

Selon une autre variante du procédé selon l'invention, l'assemblage des modules en bois peut être réalisé par soudage bois/bois.

La quantité de colle structurale utilisée selon le procédé de l'invention varie de 2 à 5, de préférence de 3 à 4 kg de colle par unité de surface de collage (m²).

La colle structurale du procédé selon l'invention peut être appliquée sur les modules en bois ou sur les modules en béton ultra hautes performances. De préférence, la colle structurale est appliquée sur les modules en béton ultra hautes performances.

Avantageusement selon le procédé de l'invention, la colle structurale peut être appliquée en une couche dont l'épaisseur varie de 0,5 à 7 mm, de préférence de 1 à 5 mm. L'épaisseur de la couche de colle dépend notamment de la viscosité de la colle.

Selon le procédé de l'invention, la colle structurale peut être appliquée de toute manière connue, et en particulier à l'aide d'une spatule.

Selon le procédé de l'invention, la mise sous pression de l'élément de structure peut permettre d'obtenir une épaisseur de colle finale variant de 0,3 à 3 mm, de préférence de 0,5 à 2 mm.

De préférence, la mise sous pression du procédé selon l'invention est réalisée avant la fin de la DPU (durée pratique d'utilisation) de la colle, c'est-à-dire avant le durcissement de la colle. Avantageusement, la mise sous pression du procédé selon l'invention est réalisée pendant une durée variant de 12 à 48 heures, avanta-
5 pendant 24 heures. Préférentiellement, la mise sous pression est réalisée jusqu'à ce que tout l'excédent de colle ait été rejeté.

Selon une variante du procédé selon l'invention, l'excédent de colle rejeté au moment de la mise sous pression peut être essuyé avant le durcissement de la colle.

Un autre objet selon l'invention est un élément de structure comprenant au moins
10 un module en bois et au moins deux modules en béton ultra hautes performances collés à l'aide d'une colle structurale, dans lequel au moins deux modules en béton ultra hautes performances ne sont pas collés l'un sur l'autre et au moins deux modules en béton ultra hautes performances se trouvent en partie extérieure de l'élément de structure.

15 Selon une variante de l'élément de structure selon l'invention, ledit élément de structure comprend au moins deux modules en bois et au moins deux modules en béton ultra hautes performances.

De préférence, l'élément de structure selon la présente invention comprend au moins un module en béton ultra hautes performances qui comprend au moins une
20 armature. Les armatures selon la présente invention peuvent notamment être en acier, polymère renforcé de fibres de verre ou de carbone, ou leurs mélanges. Selon une variante de l'élément de structure selon l'invention, seul le module inférieur en béton ultra hautes performances comprend au moins une armature.

Avantageusement, l'élément de structure selon la présente invention comprend au
25 moins un module en béton ultra hautes performances qui comprend au moins une fibre. Les fibres selon l'invention peuvent notamment être en matériau métallique, en matériau minéral, en matériau organique, ou leurs mélanges. Par exemple, les fibres selon l'invention peuvent être en acier, en carbone, en verre, synthétique, ou leurs mélanges. Avantageusement, les fibres selon l'invention sont en acier.

30 L'élément de structure selon la présente invention peut comprendre des colles structurales couramment utilisées dans le domaine du bâtiment et telles que définies selon l'invention. Une colle structurale selon l'invention peut notamment être du polyuréthane, de l'époxyde, ou leurs mélanges. Une variante de l'élément de structure selon l'invention peut comprendre une colle comprenant un taux de résorcine réduit
35 entre deux modules en bois. Des exemples de colles qui peuvent être comprises dans l'élément de structure selon l'invention entre deux modules en bois sont donnés ci-après :

- Colles de résines synthétiques thermodurcissables
- Combinaisons phénol / formol (type bakélite) ou crésol / formol
- Combinaisons résorcine / formol, phénol / acétylène, furfurool / formol
- Résines de carbamide : urée / formol (types Caurite ou Mélocol H)
- 5 • Résines de sulfo carbamide : thio-urée formol
- Résines de mélamine : mélamine formol (type Mélocol M)
- Polyuréthane
- Résines époxydes.

10 Un autre objet selon l'invention est un élément de structure susceptible d'être obtenu par le procédé selon l'invention tel que décrit plus haut. De préférence, les caractéristiques de l'élément de structure ainsi obtenu sont telles que décrites ci-dessus.

15 Un autre objet selon l'invention est l'utilisation d'au moins un élément de structure selon l'invention tel que décrit plus haut pour la réalisation d'un bâtiment ou d'un ouvrage.

Enfin, un autre objet selon l'invention est un bâtiment ou un ouvrage comprenant au moins un élément de structure selon l'invention tel que décrit plus haut.

20 Dans les figures décrites ci-dessous, b_w et b_c représentent respectivement la largeur des modules en bois et la largeur des modules en béton ultra hautes performances. h_{wi} représente l'épaisseur d'un module en bois. h_w représente la hauteur des poutres, exemples d'éléments de structure selon l'invention. h_{c1} et h_{c2} représentent respectivement la hauteur des modules inférieur et supérieur en béton ultra hautes performances. L_{span} représente la portée des poutres, exemples d'éléments de structure selon l'invention.

25 La figure 1 représente un exemple de poutre selon l'invention comprenant un module inférieur de béton fibré ultra hautes performances (BFUP) renforcé avec deux armatures, cinq modules en bois et un module supérieur en béton fibré ultra hautes performances.

30 La figure 2 représente une étape de fabrication d'une poutre selon l'invention en coupe transversale : six modules en bois ont été assemblés, et deux modules en béton ont été préparés pour être collés aux six modules en bois déjà assemblés.

35 La figure 3 représente un panneau auto-porteur selon l'invention, comprenant une pièce centrale en bois lamellé collé en forme de V, un module inférieur en béton ultra hautes performances comprenant deux armatures et un module supérieur en béton ultra hautes performances.

La figure 4 représente les conditions de chargement pour les essais en flexion d'une poutre de 2,3 m.

La figure 5 représente les conditions de chargement pour les essais en flexion d'une poutre de 5,5 m.

5 La figure 6 représente le système de blocage des déplacements horizontaux afin de limiter le risque de déversement des poutres lors des essais en flexion.

La figure 7 représente le positionnement des jauges et des capteurs LVDT (Transformateur Différentiel à variation Linéaire) sur les poutres lors des essais en flexion.

10 Les dispositifs représentés dans les figures 4 à 7 seront décrits plus en détails dans les exemples qui vont suivre.

Les exemples suivants illustrent l'invention sans en limiter la portée.

EXEMPLES

Définition de la géométrie de la section des poutres

15 La largeur (b_w) des poutres en bois est de 80 mm. La hauteur des poutres témoins et des poutres selon l'invention sont définies de façon à avoir une hauteur de poutre constante. Ainsi une hauteur de 304 mm est retenue pour les poutres témoins en bois lamellé collé (BLC), constitué de 6 modules en bois d'épaisseur (h_{wi}) 36 mm, et une hauteur (h_w) de 228 mm pour les poutres selon l'invention. Les hauteurs respectives des
20 modules en béton (h_{c1} et h_{c2}) fibré ultra hautes performances (BFUP) sont alors de 36 mm pour le module supérieur et de 40 mm pour le module inférieur. La largeur des modules inférieur (b_{c1}) et supérieur (b_{c2}) en BFUP est identique à la largeur de la poutre en bois ($b_w=80$ mm). La figure 3 illustre les différentes géométries des poutres testées. Deux portées (L_{span}) sont définies, une première de 2 mètres et une deuxième de 5.1 m.
25 Le rapport hauteur/portée égal à 17 est conforme à la norme ASTM D 3737 pour la portée de 5.1 m. Les figures 3 (Géométrie des sections de poutre) et 4 (Géométrie de la poutre) et le tableau 1 décrivent les géométries retenues pour les tests.

L'ensemble des poutres est assemblé par collage à l'aide d'une colle structurale. De façon à comparer l'efficacité des différentes solutions d'armatures retenues, et
30 compte tenu de l'écart de module d'élasticité entre les armatures en acier et celles en composite verre-époxy et carbone-époxy, il est proposé de prendre une rigidité axiale des renforts constante. La variation paramétrique porte alors sur la section des armatures de diamètre \varnothing_r , permettant d'obtenir une rigidité axiale constante.

Tableau 1 : Définition des paramètres géométriques et matériels

	h_w	h_{wi}	b_w	h_{c1}	h_{c2}	b_c	Module d'Young des armatures	Section des armatures (A_s)
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[GPa]	[mm ²]
BLC-2m	301	36	79	-	-	80	-	0
BLC-5m	304	36	78	-	-	80	-	0
BLCHP-S-80-2m	228	36	79	40	36	80	210	157
BLCHP-C-80-2m	228	36	80	41	37	80	140	212
BLCHP-G-80-2m	228	36	81	45	36	80	46.4	564
BLCHP-S-80-5m	228	36	78	40	32	80	210	157
BLCHP-C-80-5m	228	36	79	40	32	80	140	212
BLCHP-S-130-5m	266	36	130	42	38	130	210	942

La désignation des poutres est effectuée en fonction du type de poutre (bois lamellé collé (BLC) témoin ou poutres selon l'invention (BLCHP)), du type d'armature(s) de renforcement (acier : S, CFRP : C, GFRP : G), de la largeur de la poutre ($b_w = 80$ ou 130) et de la portée de la poutre ($L_{span} = 2$ ou 5 m).

Le tableau 2 récapitule finalement les solutions retenues pour cette étude.

Tableau 2 : Définitions des corps d'épreuves

	h_w	b_w	Armature	nb x diamètre	Longueur	Masse
	[mm]	[mm]		u x [mm]	[m]	[kg/ml]
BLC-2m	304	80	-	0	2.3	13.4
BLC-5m	304	80	-	0	5.5	13.4
BLCHP-S-80-2m	228	80	Acier	2 x 11,3	2.3	27.3
BLCHP-C-80-2m	228	80	CFRP *	3 x 9,5	2.3	26.6
BLCHP-G-80-2m	228	80	GFRP *	4 x 13,2	2.3	27.3
BLCHP-S-80-5m	228	80	Acier	2 x 11,3	5.5	26.7
BLCHP-C-80-5m	228	80	CFRP	3 x 9,5	5.5	28.0
BLCHP-S-130-5m	266	130	Acier	2 x 25,2	5.5	66.8

* CFRP : carbone fiber reinforced polymer (PRFC : polymère renforcé de fibres de carbone)

* GFRP : Glass fiber reinforced polymer (PRFV : polymère renforcé de fibres de verre)

Fabrication des poutres

Propriétés du béton ultra hautes performances

Les modules en béton ultra hautes performances ont été préparés à partir de deux gâchées distinctes : la première pour les modules de longueur 2,3 m et la deuxième

pour les modules de longueur 5,5 m. Les quantités de chaque matériau nécessaire pour chacune des différentes gâchées sont définies par le tableau 3.

Tableau 3 : Quantité de matériaux pour la confection des gâchées

	Pour 1m ³	Gâchée 1	Gâchée 2
Premix (kg)	2194	217.74	181.45
Premix (sac)	-	6	5
Eau (kg)	135	13.41	11.17
Plastifiant (kg)	30	2.98	2.48
Fibre FM (kg)	156	15.50	12.91

Le plastifiant est de l'Optima 100 (Fournisseur : Chryso).

5 **Tableau 3'** : composition du premix

Matières premières	Composition relative en masse
Ciment	1
Fumée de silice	0,25
Filler	0,3
Sable	1,37

Le ciment est un ciment HTS (Haute Teneur en Silicates) (Fournisseur : Lafarge).

La fumée de silice est de la NS980 (Fournisseur : SEPR). Le filler est un filler calcaire (Durcal 5, Fournisseur : Omya). Le sable est un sable siliceux (BE01, Fournisseur : Sifrac).

10 Le mélange est effectué conformément au protocole suivant de malaxage du béton ultra hautes performances avec introduction d'une partie de l'eau et la moitié du plastifiant dans un premier temps puis du reste du plastifiant au bout du 7 min. Les fibres métalliques (FM) sont ensuite ajoutées en fin de malaxage, lorsque le mélange est fluide et homogène.

15 Les modules sont coulés d'une extrémité à l'autre par passes successives de façon à remplir intégralement les moules.

Les propriétés mécaniques en traction par flexion et en compression du béton ultra hautes performances de chaque gâchée sont contrôlées par des essais de flexion 4 points sur des prismes de dimensions 75 x 75 x 250 mm³ pour définir les résistances en traction par flexion et sur des éprouvettes cylindriques de diamètre 100 mm et de hauteur 180 mm pour les résistances en compression. Les méthodes d'essais sont conformes aux recommandations de l'AFGC (Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concrete, Interim Recommendation, Janvier 2002, Documents Scientifiques et Techniques, § 1.3 et § 1.4.2). Les essais sont pilotés en force avec une vitesse de montée en charge de 1960 N/s pour les essais de compression et de 31 N/s pour les

20

25

essais de flexion. Pour chaque type d'essai, 3 éprouvettes sont réalisées puis testées après respectivement 98 jours et 84 jours de cure à l'air ambiant pour les deux gâchés. Les tests sont effectués 24 heures après l'ensemble des essais sur poutres. Les résultats des essais sont récapitulés dans les tableaux 4 et 5. Pour les essais de flexion, deux éprouvettes (une dans la série 2 et une dans la série 3) sont retirées du calcul des moyennes car elles présentent un écart supérieur à 10 % de la valeur moyenne.

Tableau 4 : Caractéristiques du béton ultra hautes performances en traction par flexion

		Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Force Fissuration (kN)	Contrainte fissuration (MPa)	Force ultime (kN)	Résistance ultime (MPa)
Série 1	1	75.0	77.0	17.1	8.6	46.7	23.6
	2	75.0	77.0	18.4	9.3	48.2	24.4
	3	75.0	77.0	18.6	9.4	48.4	24.5
	Moyenne	75.0	77.0	18.0	9.1	47.8	24.2
	Ecart type	0.0	0.0	0.8	0.4	0.9	0.5
Série 2	1	75.0	77.0	13.5	6.8	32.9	16.6
	2	74.0	77.0	15.3	7.8	18.1	9.3
	3	75.0	78.0	19.9	9.8	36.4	18.0
	Moyenne	74.7	77.3	16.2	8.2	34.7	17.3
	Ecart type	0.6	0.6	3.3	1.5	9.7	4.7
Série 3	1	75.0	78.0	19.9	9.8	43.3	21.4
	2	75.0	78.0	17.0	8.4	29.9	14.7
	3	75.0	78.0	18.7	9.2	43.1	21.3
	Moyenne	75.0	78.0	18.5	9.1	43.2	21.3
	Ecart type	0.0	0.0	1.4	0.7	7.7	3.8
	Moyenne	74.9	77.4	17.6	8.8	42.7	21.4
	Ecart type	0.3	0.5	1	1.0	6.0	3.1

10 Pour deux éprouvettes par gâchée, les essais de flexion sont conduits en mesurant l'évolution de la flèche en fonction de la charge (Figures 4 à 7).

La résistance moyenne en compression est de 174 MPa. La résistance en traction par flexion de 21 MPa et la contrainte de fissuration en traction par flexion est de 8.8 MPa.

Tableau 5 : Caractéristiques du béton ultra hautes performances en compression

		Force (kN)	Résistance (MPa)	Nombre de jours de cure
Série 1	1	1401.9	178.5	98
	2	1481.1	188.6	98
	3	-	-	-
	Moyenne	1441.5	183.5	
	Ecart type	56.0	7.1	
Série 2	1	1339.05	170.5	84
	2	1383.45	176.2	84
	3	1377.75	175.4	84
	Moyenne	1366.8	174.0	
	Ecart type	24.2	3.1	
Série 3	1	1333.8	169.8	78
	2	1302.3	165.8	78
	3	1315.2	167.5	78
	Moyenne	1317.1	167.7	
	Ecart type	15.8	2.0	
Moyenne		1366.8	174.0	
Ecart type		57.8	7.4	

Les colles

Les colles employées sont composées d'un primaire d'accrochage époxydique (Sikafloor® 156, Sika) et d'une colle époxy chargée (Sikadur® 30, Sika).

Propriétés du bois lamellé collé

Les poutres en bois lamellé collé sont réalisées en pin douglas-Fir de grade 20F-E. Les propriétés mécaniques de cette catégorie de bois lamellé collé sont données par le fournisseur (Goodfellow) de bois et récapitulées dans le tableau 6.

Les poutres sont livrées traitées pour l'extérieur. Un ponçage est effectué pour obtenir une surface brute et plane.

Tableau 6 : Caractéristiques du bois lamellé collé (selon fournisseur Goodfellows inc)

	Modules d'élasticité	Résistance à la traction	Résistance à la compression
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
BLC Douglas-Fir 20F-E	12400	25,6	30,2

Propriétés des armatures

- 5 Trois types d'armatures sont utilisés : des armatures en acier, des armatures composites verre-époxy et carbone-époxy. Les armatures composites en polymère renforcées de fibres sont de marque Pultrall.

Tableau 7 : Caractéristiques des armatures en acier et des armatures composites (selon fournisseur Pultrall)

	Modules d'élasticité	Résistance à la traction
	[MPa]	[MPa]
Acier	210000	400
*CFRP #3	140000	1900
*GFRP #4	46300	856

- 10 * CFRP : carbone fiber reinforced polymer (PRFC : polymère renforcé de fibres de carbone)

* GFRP : Glass fiber reinforced polymer (PRFV : polymère renforcé de fibres de verre)

Mise en œuvre des poutres

- 15 La fabrication des modules est effectuée par coulage horizontal dans un moule en bois. Le coulage est effectué d'une extrémité à l'autre du coffrage en un ou deux passages. Il n'est effectué aucune vibration du moule. La surface libre du béton ultra hautes performances est ensuite aspergée par un pulvérisateur d'eau puis lissée à la truelle pour faciliter le départ des bulles d'air. La surface libre sera ensuite la surface collée à la poutre en BLC.

- 20 La surface du bois est préparée par un ponçage à l'aide d'une ponceuse à bande, de façon à obtenir un état de surface propre et lisse

Après 14 jours de cure, les plaques en béton ultra hautes performances sont sablées puis l'assemblage par collage aux poutres en bois lamellé collé est effectué après une période minimale de 28 jours.

- 25 Le collage est effectué après 24 heures et après l'application d'un primaire d'accrochage sur le bois et le BFUP à encoller. Une pression verticale est maintenue

pendant 24 heures, les poutres sont ensuite stockées en atmosphère non-humide avant d'être testées. Une période de 14 jours a été respectée entre le collage et les essais.

Dispositif de chargement

5 Les essais sont conduits en flexion 4 points avec deux portées, la première de 2 mètres et la deuxième de 5,1 mètres. Les essais sont conduits suivant la norme ASTM D3737-04 et la norme ASTM D 4761-05. Pour la deuxième série, le rapport portée sur hauteur de la poutre est égale à 17. Pour la première série ce même rapport est égal à 6.5 et favorise la sollicitation de cisaillement au détriment de la flexion, cela permettra d'évaluer la performance du collage.

10 Les entraxes entre les charges sont respectivement de 600 mm (Fig. 4) pour la première série de poutres et 1400 mm pour la deuxième (Fig. 5). Ces distances respectent la norme avec une distance entre le point d'application de la charge et l'appui supérieure ou égale à deux fois la hauteur.

15 Les charges sont appliquées par un vérin de capacité 500 kN et un groupe hydraulique. Le chargement est assuré, conformément à la norme, par un pilotage en déplacement. La durée de l'essai est comprise entre 10 s et 10 min et la vitesse de déplacement du vérin retenue est de 1 mm/min pour les poutres de 2 mètres et de 9 mm/min pour les poutres de 5.1 mètres.

20 De façon à éviter et à limiter le risque de déversement, un système de blocage des déplacements horizontaux est disposé respectivement à 30 cm de part et d'autre du centre de la poutre.

Instrumentation

25 L'évolution de la flèche est mesurée par un capteur LVDT de course ± 100 mm disposés au centre de la poutre (Fig. 7). La charge est mesurée par un capteur de force de capacité 250 kN.

L'instrumentation de la section centrale est complétée :

- par des jauges de déformation (longueur de grille de 10 mm) collées sur les aciers,
 - puis par quatre jauges de longueur de grille 40 mm collées sur le bois (Tableau 8)
- 30

La section centrale est donc instrumentée sur sa hauteur par six points de mesure permettant de tracer les diagrammes de Navier.

Tableau 8 : Distance entre la jauge et la fibre supérieure de la poutre [mm]

	Jauge 1	Jauge 2	Jauge 3	Jauge 4	Jauge 5	Jauge 6	Jauge 7	Jauge 8	Jauge 9
BLC-2m	30	55	90	130	205	263	-	-	-
BLC-5m	30	55	90	130	205	263	-	-	-
BLCHP-S-80-2m	15	55	90	130	205	288	-	-	-
BLCHP-C-80-2m	15	55	90	130	205	285	285	-	-
BLCHP-G-80-2m	15	55	90	165	205	284	284	294	294
BLCHP-S-80-5m	15	50	90	130	205	280	285	285	-
BLCHP-C-80-5m	15	50	90	120	235	280	283	283	-
BLCHP-S-130-5m	15	55	90	130	205	283	283	283	-

Relations charge-flèche

L'analyse des courbes charge-flèche présente deux à trois phases de comportement distinctes correspondant à l'endommagement progressif des matériaux constitutifs (béton, armatures, bois).

Le premier correspond à un comportement de section non-fissurée avec une rigidité importante de la poutre. La deuxième phase de comportement est atteinte pour une valeur de charge de l'ordre de 12 kN pour les poutres de 2 mètres de portée et de l'ordre de 5 kN pour les poutres de 5.1 m de portée. Cette valeur de charge correspond au début de fissuration du module en BFUP armé.

A ce stade, il est constaté une diminution de la rigidité de la poutre et un comportement linéaire conduisant à la troisième phase de comportement liée à la plastification des armatures (en acier) tendues atteinte pour une valeur de l'ordre de 100 kN pour les poutres de 2 mètres de portée et de l'ordre de 75 kN pour la poutre de 5.5 mètres renforcée. Les poutres renforcées par des armatures composites n'ont que deux phases de comportement. Les poutres en bois lamellé collé d'une portée de 2 mètres et d'une portée de 5.1 m déversent. La rupture en traction est tout de même atteinte pour la poutre de 5.1 m.

Mode de rupture

Le mode de rupture varie suivant les configurations géométriques. Pour les poutres en bois lamellé collé, le déversement prédomine, malgré le dispositif anti-déversement au centre (Tableau 9). La rupture pour les poutres hybrides survient pour des valeurs de charge ultime variant entre 103 kN et 200 kN suivant les portées et les configurations des poutres, celle-ci se produit soit par cisaillement dans le bois lamellé collé pour les poutres de 2 mètres renforcées, soit par rupture en compression pour les

poutres de 5.1 m de portée (Tableau 9). Il est important de noter qu'il n'y a aucun décollement entre les modules en BFUP et les poutres en BLC.

Tableau 9 : Mode de rupture des poutres testées

	Charge ultime [kN]	Mode de rupture
BLC-2m	140	Déversement
BLC-5m	75	Déversement + traction
BLCHP-S-80-2m	158	Cisaillement
BLCHP-C-80-2m	154	Cisaillement
BLCHP-G-80-2m	203	Cisaillement
BLCHP-S-80-5m	104	Compression du bois
BLCHP-C-80-5m	125	Compression du bois
BLCHP-S-130-5m	269	Compression du bois

En comparaison avec les poutres de référence en BLC, l'augmentation de la charge ultime varie de 10 % à 65 % suivant les configurations de renforcement et les modes de ruptures observés. L'utilisation des armatures composites semble toutefois plus pertinente vis-à-vis de l'augmentation des charges ultimes. Ceci peut s'expliquer par le fait que les armatures composites ont des résistances supérieures en traction par rapport à l'acier et ne plastifient pas. Ceci évite la variation de la courbure lorsque l'armature plastifie.

Tableau 10 : Valeurs des charges et des flèches pour chaque phase de comportement

	Charge de fissuration	Flèche de fissuration	Charge de rupture	Flèche à rupture
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]
BLC-2m	-	-	140	19.5
BLC-5m	-	-	75	69.8
BLCHP-S-80-2m	13	0.9	158	10
BLCHP-C-80-2m	11	0.8	154	12.8
BLCHP-G-80-2m	12	2.6	203	16.2
BLCHP-S-80-5m	5	2.7	104	71.2
BLCHP-C-80-5m	6	7.7	125	82
BLCHP-S-130-5m	38	0.8	269	63.7

Comportement en rigidité

Dans les deux cas, il s'agit d'une augmentation de la rigidité de flexion de 60 % pour les poutres de 5 mètres et de 40 % pour les poutres de 2 mètres. La rigidité de

flexion de la poutre HPBLC-S-130-5m se stabilise à une valeur de $1,2 \cdot 10^{13}$ MPa.mm⁴ compte tenu de l'argueur plus importante de cette poutre.

Il est important de noter que dans tous les cas de figure la combinaison de planches en BFUP et de bois lamellé collé permet d'augmenter la rigidité de flexion d'environ 80 %.

Comportement des sections, diagramme de Navier

Pour l'ensemble des essais, l'évolution des déformations des matériaux en section centrale est linéaire.

En effet, pour le BFUP en compression, le taux de déformation est supérieur à 1500 $\mu\text{m}/\text{m}$ dans tous les cas. Pour les armatures en acier, la plastification est atteinte dans chacun des essais, alors que pour les armatures en composite en carbone époxy de la poutre de 5 m, 80 % de la résistance est atteinte (Tableau 11).

En considérant les modules d'élasticité des différents matériaux, il est possible d'estimer la contrainte maximale de compression ou de traction s'exerçant dans le matériau. Les tableaux 14 et 15 précisent ces valeurs pour chacun des essais.

Tableau 11 : Valeurs des déformations maximales du bois et des armatures en compression

	Charge de rupture	Déformations maximales de compression BUHP*	Contrainte max de compression BUHP	Déformations maximales de compression BOIS	Contrainte max de compression BOIS
	[kN]	[$\mu\text{m}/\text{m}$]	[MPa]	[$\mu\text{m}/\text{m}$]	[MPa]
BLC-2m	140	-	-	-2424	-32.5
BLC-5m	75	-	-	-3388	-45.4
BLCHP-S-80-2m	158	-1150	-57.5	-776	-10.4
BLCHP-C-80-2m	154	-1460	-73	-1012	-13.6
BLCHP-G-80-2m	203	2350	117.5	1574	21.1
BLCHP-S-80-5m	104	-2350	-117.5	-1660	-22.2
BLCHP-C-80-5m	125	-3000	-150	-1796	-24.1
BLCHP-S-130-5m	269	-2248	-112.4	-1010	-13.5

*BUHP : béton ultra hautes performances

Tableau 12 : Valeurs des déformations maximales du bois ou des armatures en traction

	Charge de rupture	Déformations maximales de traction	Contrainte max de traction
	[kN]	[$\mu\text{m}/\text{m}$]	[MPa]
BLC-2m	140	2230	29.9
BLC-5m	75	2556	34.3
BLCHP-S-80-2m	158	2128	446.9
BLCHP-C-80-2m	154	3418	410.2
BLCHP-G-80-2m	203	2036	81.4
BLCHP-S-80-5m	104	5334	500.0
BLCHP-C-80-5m	125	7744	929.3
BLCHP-S-130-5m	269	4612	500.0

En conclusion, l'élément de structure selon l'invention permet d'obtenir des valeurs de déformations ou de contraintes particulièrement importantes justifiant la combinaison des matériaux retenus dans cette étude.

REVENDICATIONS

- 1- Procédé de fabrication d'un élément de structure comprenant les étapes suivantes :
- 5 i. encoller à l'aide d'une colle structurale au moins deux modules en béton ultra hautes performances ;
- ii. assembler et coller les modules obtenus à l'étape i avec un module en bois ;
- iii. éventuellement encoller à l'aide d'une colle structurale au moins un module
- 10 en bois ;
- iv. éventuellement assembler et coller le(s) module(s) obtenu(s) à l'étape iii soit avec les modules obtenus à l'étape i, soit avec le module en bois de l'étape ii ;
- v. presser l'élément obtenu à l'étape ii ou à l'étape iv ;
- 15 et au moins deux modules en béton ultra hautes performances ne sont pas collés l'un sur l'autre ;
- et au moins deux modules en béton ultra hautes performances se trouvent en partie extérieure de l'élément de structure obtenu à l'étape v.
- 20 2- Procédé selon la revendication 1, dans lequel le(s) module(s) obtenu(s) à l'étape iii est (sont) assemblé(s) et collé(s) avec le module en bois de l'étape ii avant l'assemblage et le collage avec les modules obtenus à l'étape i.
- 25 3- Procédé selon la revendication 1, dans lequel le(s) module(s) obtenu(s) à l'étape iii est (sont) assemblé(s) et collé(s) avec le module en bois de l'étape ii après le collage et l'assemblage avec un premier module en béton ultra hautes performances obtenu à l'étape i et avant le collage et l'assemblage avec un dernier module en béton ultra hautes performances obtenu à l'étape i.
- 30 4- Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'au moins un module supplémentaire en béton ultra hautes performances est encollé, assemblé et collé soit avec le module en bois de l'étape ii, soit avec le(s) module(s) en bois de l'étape iii.
- 35 5- Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'au moins un module en béton ultra hautes performances comprend au moins une armature.

- 6- Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'au moins un module en béton ultra hautes performances comprend au moins une fibre.
- 7- Elément de structure comprenant au moins un module en bois et au moins deux modules en béton ultra hautes performances collés à l'aide d'une colle structurale, dans lequel au moins deux modules en béton ultra hautes performances ne sont pas collés l'un sur l'autre et au moins deux modules en béton ultra hautes performances se trouvent en partie extérieure de l'élément de structure.
- 8- Utilisation d'au moins un élément de structure selon la revendication 7 pour la réalisation d'un bâtiment ou d'un ouvrage.
- 9- Bâtiment ou ouvrage comprenant au moins un élément de structure selon la revendication 7.

PL 1/3

Figure 1

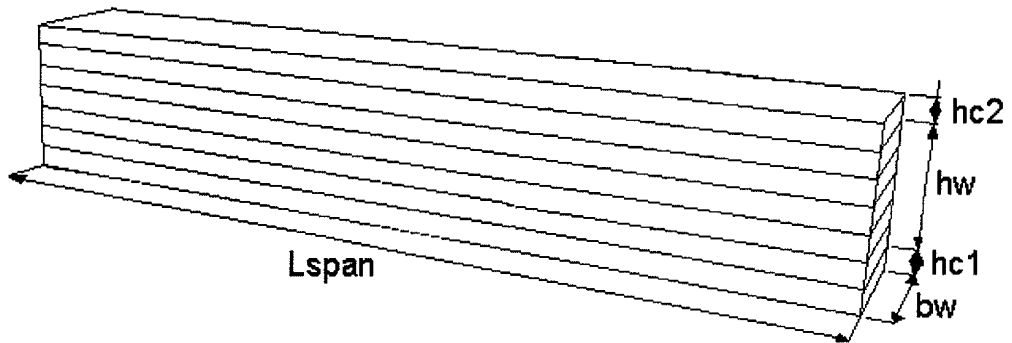
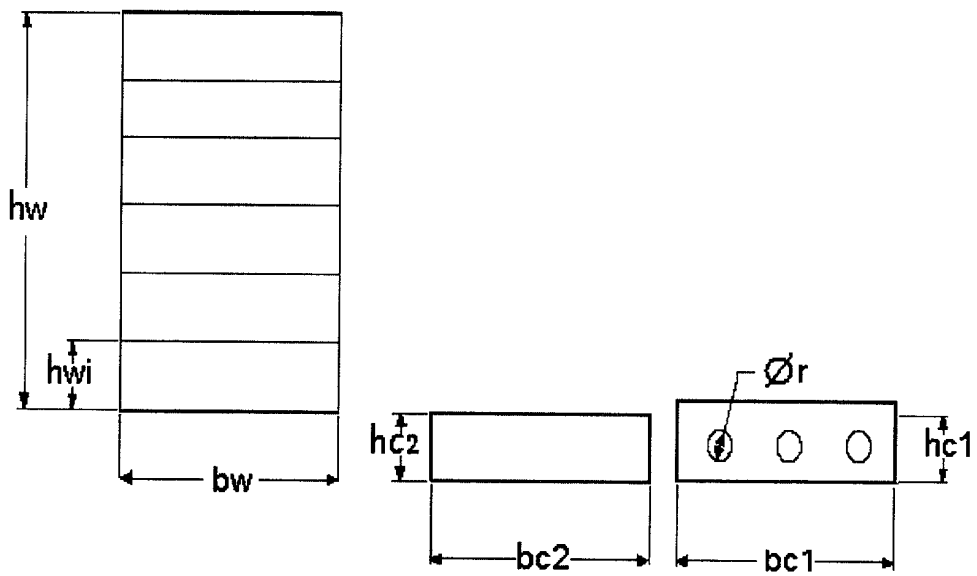


Figure 2



PL 2/3

Figure 3

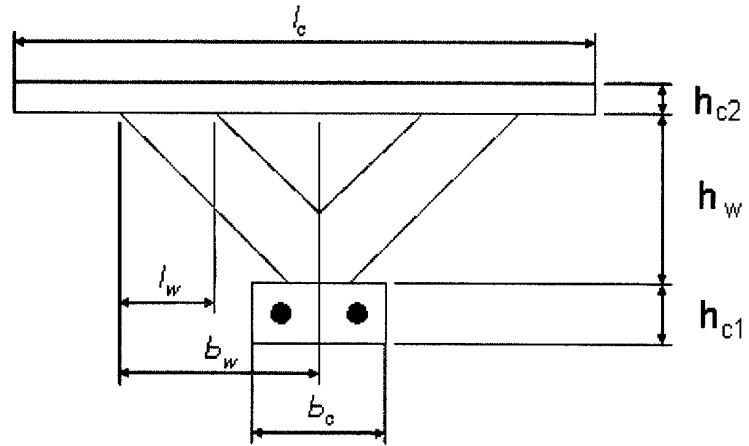
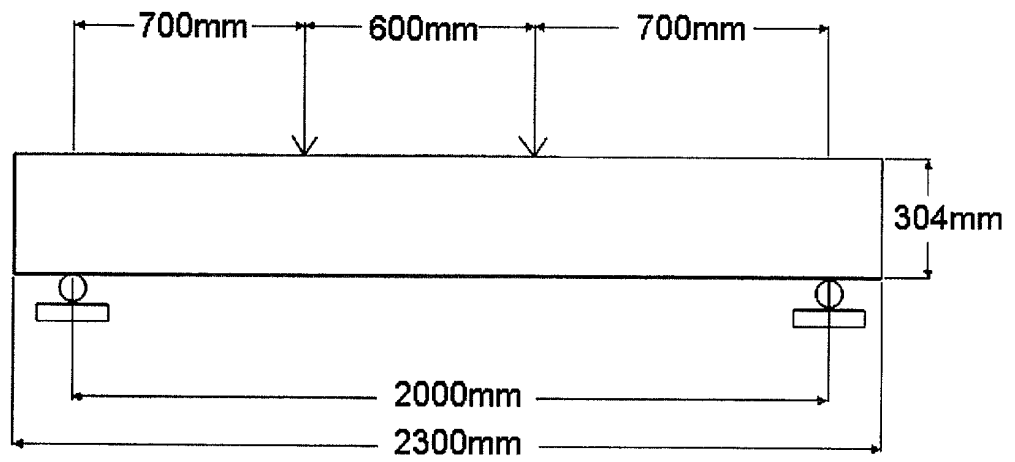


Figure 4



PL 3/3

Figure 5

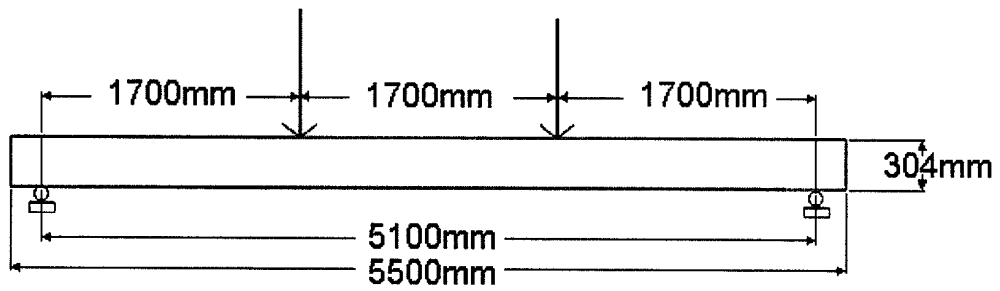


Figure 6

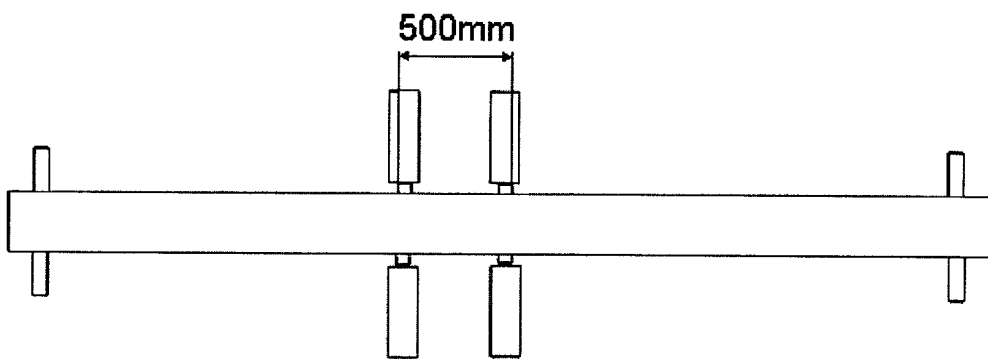
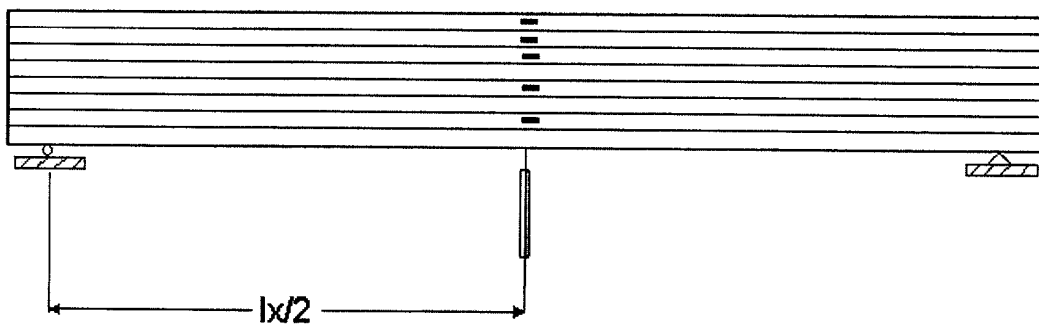


Figure 7





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 715936
FR 0806349

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	WO 91/02861 A (M. STRACKE) 7 mars 1991 (1991-03-07) * page 2, alinéa 7 * * page 6, alinéa 2 - alinéa 4; figures 5,5a * -----	1-9	E04C1/40 E04C3/29 E04B1/14
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			E04C
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		5 juin 2009	Righetti, Roberto
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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		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	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 2

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0806349 FA 715936**

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 05-06-2009

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
WO 9102861 A	07-03-1991	AT 397399 B	25-03-1994
		CZ 9004043 A3	11-08-1993
		DD 297203 A5	02-01-1992
		SK 404390 A3	04-02-1998
