

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
17 janvier 2019 (17.01.2019)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2019/012222 A1

(51) Classification internationale des brevets :
E04C 3/29 (2006.01) E04B 5/12 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2018/051734

(22) Date de dépôt international :
10 juillet 2018 (10.07.2018)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1756560 11 juillet 2017 (11.07.2017) FR

(71) Déposants : CRUARD CHARPENTE ET CONSTRUCTION BOIS [FR/FR] ; 5 rue des Sports, 53360 SIMPLE (FR). BOSTIK SA [—/FR] ; 253 Avenue du président Wilson, 93210 LA PLAINE SAINT DENIS (FR). JOUSSELIN PREFABRICATION [FR/FR] ; Rue d'Anjou, 49420 CHAZE HENRY (FR). UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1 [FR/FR] ; 43 Boulevard du 11 Novembre 1918, 69100 VILLEURBANNE (FR).

(72) Inventeurs : FERRIER, Emmanuel ; 100 Rue des Pinsons, 69140 RILLIEUX LA PAPE (FR). AUGARD, Eric

; 20 Avenue Salvador Allende, 69100 VILLEURBANNE (FR). MICHEL, Laurent ; 20 Rue Marteret, 69100 VILLEURBANNE (FR). JOUSSELIN, Jean-Yves ; 1 Rue du Roquet POUANCE, 49420 OMBREE D'ANJOU (FR). LEFEVRE, André ; 14, Allée des alisiers, 53200 CHATEAU-GONTIER (FR). LABRUNIE, Yves ; 45 Rue Hoche, 60400 NOYON (FR).

(74) Mandataire : SARLIN, Laure et al. ; Cabinet Beau de Loménie, 51 avenue Jean Jaurès - BP7073, 69301 LYON CEDEX 07 (FR).

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

(54) Title: WOOD AND CONCRETE STRUCTURAL ELEMENTS AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) Titre : ELEMENTS DE STRUCTURE EN BOIS ET BETON ET PROCEDE DE FABRICATION

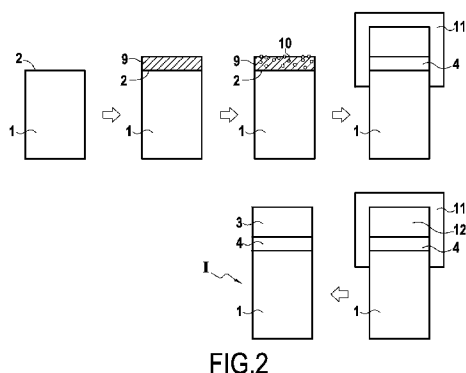


FIG. 2

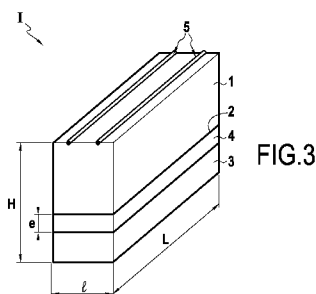


FIG. 3

(57) Abstract: The invention relates to a method for manufacturing a structural element comprising at least one wooden module and at least one concrete module connected to one another by means of an attachment area comprising a thermoset composition in which particles of sand are distributed, as well as such a wood-concrete composite structural element, and a treated wood module for producing such a structural element and the manufacturing method thereof.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de fabrication d'un élément de structure comprenant au moins un module en bois et au moins un module en béton liés entre eux par l'intermédiaire d'une zone de fixation comprenant une composition thermodurcie dans lequel des particules de sable sont réparties, ainsi qu'un tel élément de structure mixte bois-béton, ainsi qu'un module en bois traité pour la réalisation d'un tel élément de structure et son procédé de fabrication.

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

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2(h))

ELEMENTS DE STRUCTURE EN BOIS ET BETON ET PROCEDE DE FABRICATION

L'invention concerne le domaine technique des éléments de construction. Plus précisément, l'invention concerne un procédé de fabrication d'éléments de structure comprenant au moins un module en béton et au moins un module en bois préalablement traité avec une composition thermodurcie et du sable, un tel élément de structure mixte bois-béton, ainsi qu'un module en bois traité pour la réalisation d'un tel élément de structure et son procédé de fabrication.

Les éléments de structure mixtes bois-béton sont connus et très utilisés dans le domaine de la construction, car ils sont mécaniquement performants et présentent l'avantage d'être faciles à mettre en œuvre. Les éléments de structures mixtes bois-béton permettent d'augmenter les capacités portantes des ouvrages en utilisant le béton comme table de compression et élément raidisseur, et le bois comme élément léger reprenant les efforts de traction. Il s'agit de solutions bien adaptées aux portées supérieures à 5 m. En particulier, de telles structures se substituent, de plus en plus, aux planchers bois traditionnels et aux planchers en béton.

Les éléments de structure mixtes bois-béton diffèrent, les uns des autres, principalement en raison de leur mode de fixation du béton sur le bois.

Parmi les modes de fixation les plus répandus, on peut en particulier mentionner l'emploi de connecteurs métalliques vissés dans le bois, associé à un coulage du béton sur le site de construction. Les inconvénients associés à ce type de fixation sont les délais de réalisation des connecteurs, la déformation du bois lors du coulage du béton, et le coût très élevé de fabrication. Par ailleurs, l'utilisation de connecteurs ne permet pas d'assurer une connexion satisfaisante entre la partie bois et la partie béton, ce qui conduit à une altération des propriétés mécaniques. De plus, les retombées (correspondant à la hauteur de l'élément) sont importantes.

Pour répondre à ces problématiques, le collage a été décrit comme mode de fixation alternatif. On peut notamment citer le brevet EP 2 231 946

qui décrit la fabrication d'une structure porteuse bois / béton comprenant une étape (i) de réalisation d'une plaque de béton fibré ultra performant, une étape (ii) de ponçage d'une première face de la plaque de béton, une étape (iii) d'enduction d'une colle époxy des faces de fixation des poutres en bois et de la plaque de béton et une étape (iv) de collage des poutres sur le béton. On peut également citer la demande WO 2010/055227 qui décrit un procédé de fabrication d'un élément de structure comprenant une étape (i) d'encollage d'au moins deux modules en béton ultra hautes performances à l'aide d'une colle structurale, une étape (ii) d'assemblage et collage de modules de béton avec au moins un module en bois, et une étape (iii) de pressage.

Ces procédés nécessitent donc la fabrication préalable de modules en béton, avant l'étape de collage avec le module en bois. Ces procédés de fabrication présentent ainsi l'inconvénient d'être longs à mettre en œuvre, notamment en raison de la préfabrication du béton et de l'étape de mise sous presse. De plus, il existe un risque de fissuration non négligeable du module en béton, lors de sa manutention avant l'étape de collage et d'assemblage avec le module en bois.

Il existe donc un besoin pour un procédé de fabrication d'un élément de structure de type bois/béton, dit élément de structure mixte bois/béton, qui soit simple et rapide de mise en œuvre, et ce tout en améliorant, les propriétés mécaniques dudit élément de structure telles que la portée, la résistance, la rigidité en flexion et/ou la charge ultime.

Dans le cadre de l'invention, les Demandeurs proposent de réaliser un traitement de surface préalable d'un module en bois, autorisant un coulage du béton directement sur le module en bois ainsi traité, ceci permettant de fabriquer de manière simple et rapide un élément de structure ayant de bonnes performances mécaniques.

L'invention concerne donc un procédé de fabrication d'un élément de structure formé d'au moins un module en bois et d'au moins un module en béton comprenant les étapes successives a) à e) suivantes :

- 5 **a)** fournir au moins un module en bois comportant une surface de fixation,
- b)** appliquer, sur ladite surface de fixation dudit module en bois, une composition thermodurcissable, puis répandre des particules de sable sur ladite surface de fixation recouverte de composition thermodurcissable,
- c)** obtenir le durcissement de la composition thermodurcissable,
- d)** couler du béton frais sur la surface de fixation dudit module en bois ainsi traité obtenu à l'étape c), et
- 10 **e)** laisser durcir le béton frais qui a été coulé sur ledit module en bois traité, de manière à former le module en béton, tout en assurant sa liaison au module en bois.

Le procédé selon l'invention présente l'avantage, par rapport aux procédés connus de l'état de l'art, d'être plus simple et plus rapide de mise en œuvre et moins onéreux. Le procédé selon l'invention présente également l'avantage de permettre le coulage du béton en usine de préfabrication ou directement sur le site d'utilisation de l'élément de structure. La réalisation préalable d'élément en béton, avec le risque que ces derniers soient altérés ou déformés, avant d'être liés aux éléments en bois, est évitée. Enfin, le

15 procédé selon l'invention laisse la possibilité de combiner plusieurs types de béton, afin d'utiliser au mieux leurs performances individuelles.

Le procédé selon l'invention présente avantageusement l'une ou l'autre des caractéristiques suivantes, ou une combinaison de deux ou plusieurs de ces caractéristiques, lorsqu'elles ne s'excluent pas l'une l'autre :

- 25 - la composition thermodurcissable est appliquée sur toute la surface de fixation de l'élément en bois avant application des particules de sable, de manière à obtenir un film uniforme et continu, de préférence, de 0,1 à 0,5 mm d'épaisseur, soit environ 0,3 mm,
- la composition thermodurcissable est appliquée à l'étape b), de manière à obtenir avant application des particules de sable, une imprégnation du module en bois sur une épaisseur d'au moins 0,1 mm
- 30 et notamment sur une épaisseur appartenant à la gamme allant

de 0,1 à 0,5 mm, en particulier de 0,3 mm. Il est possible que la composition therm durcissable soit appliquée jusqu'à saturation du module en bois

- 5
 - à l'issue de l'étape b), après répartition des particules de sable, au moins une partie de la surface accessible des particules de sable est non recouverte de composition therm durcissable,
 - le diamètre moyen D des particules de sable appartient à la gamme allant de 0,1 à 1,2 mm, de préférence de 0,4 à 1,0 mm, et notamment est égal à 0,5 mm environ,
- 10
 - la composition therm durcissable est une résine époxy, en particulier une résine époxy dite bicomposante,
 - la composition therm durcissable a une viscosité Brookfield mesurée à 23 °C, avant son application sur la surface de fixation, appartenant à la gamme allant de 2000 à 13000 mPa.s, et de préférence allant
- 15
 - de 5500 à 9500 mPa.s,
 - le module en bois comporte une ou plusieurs armatures de rigidification, de préférence de nature métallique et/ou composite,
 - le module en bois est en bois lamellé collé ou en bois massif,
 - les particules de sable sont appliquées jusqu'à obtenir 100 à 1000 g
- 20
 - de particules de sable par m² de surface de fixation du module en bois couverte de composition therm durcissable, de préférence de 200 à 500 g/m², et en particulier de 200 à 300 g/m²,
 - le sable contient 30 à 50% m/m de silicate et 5 à 30% m/m d'alumine,
- 25
 - le durcissement de la composition therm durcissable est obtenu à l'étape c), par maintien à une température appartenant à la gamme allant de 10 à 35 °C, de préférence de 20 à 25 °C, pendant une période de 12 à 48 heures,
 - le coulage du béton à l'étape d) est réalisé sur différents modules de
- 30
 - bois assemblés en caisson, résultant des étapes a) à c), et
 - le béton est composé d'au moins un liant, constitué, de préférence, de ciment, de sable, de fumée de silice, d'eau, d'un adjuvant réducteur

d'eau et éventuellement de fibres courtes, notamment de nature métallique, minérale, organique et/ou composite.

L'invention concerne aussi un procédé de fabrication d'un module en bois traité comprenant les étapes successives suivantes :

- 5 **a)** fournir un module en bois comportant une surface de fixation,
- b)** appliquer, sur ladite surface de fixation dudit module en bois, une composition thermodurcissable, puis répandre des particules de sable sur ladite surface de fixation recouverte de composition thermodurcissable,
- 10 **c)** obtenir le durcissement de la composition thermodurcissable.

L'invention concerne également les éléments de structure et les modules en bois traités obtenus par les procédés selon l'invention.

- L'invention concerne, également, un élément de structure comprenant au moins un module en bois comportant une surface de fixation, et au moins
- 15 un module en béton, lié à ladite surface de fixation du module en bois par l'intermédiaire d'une zone de fixation comprenant une composition thermodurcie dans laquelle des particules de sable sont réparties, avec au moins certaines desdites particules de sable qui sont partiellement enrobées de composition thermodurcie. De manière avantageuse, lesdites particules de
 - 20 sable partiellement enrobées de composition thermodurcie sont recouvertes d'un côté de composition thermodurcie et de l'autre de béton.

- Les éléments de structures selon l'invention ne présentent pas les inconvénients de l'art antérieur susmentionnés. En particulier, l'emploi combiné d'une composition thermodurcissable et de particules de sable
- 25 permet d'éviter les déformations du bois avant le durcissement du béton. De plus, l'assemblage avec des éléments en béton préconstitués pouvant être fissurés est évitée. Les éléments de structure selon l'invention possèdent des propriétés mécaniques améliorées, et en particulier une résistance, une rigidité en flexion et/ou une charge ultime améliorées par rapport aux
 - 30 structures connues de l'état de l'art. De manière avantageuse, ces propriétés mécaniques améliorées permettent de réduire l'épaisseur des matériaux

utilisés, et d'obtenir des éléments de structure plus légers à propriétés mécaniques équivalentes.

L'invention concerne également un module en bois traité comprenant un module en bois comportant une surface de fixation avec une zone de
5 fixation comprenant une composition thermodurcie dans lequel des particules de sable sont réparties et, au moins certaines, desdites particules de sable sont partiellement enrobées de composition thermodurcie.

Dans les éléments de structures et les modules en bois traités selon l'invention, de manière avantageuse, la composition thermodurcissable est
10 une résine époxy et/ou le sable contient, en particulier, de 30 à 50% m/m de silicate et 5 à 30% m/m d'alumine. De manière préférée, le diamètre moyen D des particules de sable appartient à la gamme allant de 0,1 à 1,2 mm, de préférence de 0,4 à 1,0 mm, et notamment est égal à 0,5 mm environ. De préférence, au niveau de la zone de fixation, le
15 module en bois est recouvert d'une composition thermodurcie, formant un film d'une épaisseur appartenant à la gamme allant de 0,1 à 0,5 mm, et en particulier de 0,3 mm. De manière préférée, au niveau de la zone de fixation, le module en bois est imprégné en surface de composition thermodurcie, notamment sur une profondeur d'au moins 0,1 mm, et notamment de 0,1
20 à 0,5 mm, et en particulier de 0,3 mm environ.

Enfin, l'invention concerne également l'utilisation d'au moins un élément de structure conforme à l'invention pour la réalisation d'au moins une partie d'un bâtiment (maisons individuelles, bâtiments collectifs, scolaires, commerciaux ou industriels, planchers autoporteurs, façades etc.) ou d'un
25 ouvrage (ponts, passerelles, etc.).

Diverses autres caractéristiques ressortent de la description faite ci-dessous en référence aux dessins annexés qui montrent, à titre d'exemples non limitatifs, des formes de réalisation de l'objet de l'invention.

Dans le cadre de l'invention, « environ » signifie égal à la valeur
30 donnée, plus ou moins 10%, de préférence plus ou moins 5%.

Les **figures 1a** et **1b** sont des vues schématiques en coupe de modules en bois traités conformes à l'invention.

La **figure 2** est un schéma du procédé de fabrication d'un élément de structure conforme à l'invention.

La **figure 3** est une vue schématique en perspective d'un exemple de réalisation d'un élément de structure sous forme de poutre conforme à l'invention.

Les **figures 4a** et **4b** sont des vues schématiques en coupe d'exemples de réalisation d'un élément de structure sous forme de plancher conforme à l'invention.

La **figure 4c** est une vue schématique en perspective d'un exemple de réalisation d'un élément de structure sous forme de plancher conforme à l'invention.

La **figure 5** représente les courbes charge-déplacement de différentes structures testées.

La **figure 6** représente les courbes moment-courbure de différentes structures testées.

La **figure 7** représente les courbes de glissement horizontal entre le béton et le bois de différentes structures testées.

La **figure 8** représente les limites en service de différentes structures testées.

Procédé de fabrication d'un élément de structure mixte bois-béton

L'invention concerne un procédé de fabrication d'un élément de structure formé d'au moins un module en bois et d'au moins un module en béton comprenant les étapes successives suivantes :

- a)** fournir au moins un module en bois comportant une surface de fixation,
- b)** appliquer, sur ladite surface de fixation dudit module en bois, une composition thermodurcissable, puis répandre des particules de sable sur ladite surface de fixation recouverte de composition thermodurcissable,
- c)** obtenir le durcissement de la composition thermodurcissable,

d) couler du béton frais sur ledit module en bois ainsi traité obtenu à l'étape c), et

e) laisser durcir le béton frais qui a été coulé sur ledit module en bois traité, de manière à former le module en béton, tout en assurant sa liaison au module en bois.

5

Par « élément de structure », on entend un élément porteur qui assure l'intégrité d'une construction (bâtiment, ouvrage, etc.) et le maintien des éléments non structuraux (équipement, garnissage ; etc.). Un élément 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, un panneau, une façade ou un plancher autoporteur.

10

L'élément de structure selon l'invention ne comprend pas d'organe de connexion mécanique, en particulier de connecteur métallique ou en matériau composite, assurant la liaison entre le béton et le module en bois.

15

Par « module », on entend une pièce en bois ou en béton.

Par « bois », on entend au sens de l'invention des bois massifs 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, ou du bois reconstitué (pièce en bois obtenue par aboutage et collage de bois massif).

20

Par « grume », on entend un arbre abattu, ébranché et encore couvert d'écorce.

25

De préférence, le module en bois est du bois lamellé collé.

En particulier, un module en bois mis en œuvre dans le cadre de l'invention se présente sous forme d'un panneau ou d'une poutre.

Selon un mode de réalisation, le module en bois comporte une ou plusieurs armatures de rigidification, afin de renforcer ledit module en bois et améliorer sa résistance. Une ou plusieurs armature(s) de rigidification peut (peuvent) être positionnée(s) en surface de ce dernier, notamment

30

insérée(s) dans une ou plusieurs rainures aménagées en surface du module en bois. En particulier, une ou plusieurs armature(s) de rigidification peut (peuvent) être disposée(s) dans une ou plusieurs rainures aménagées sur la face tendue du module en bois.

- 5 Par « face tendue », on entend la face opposée à la face du module en bois sur laquelle se trouve la surface de fixation.

La ou les armature(s) de rigidification peut (peuvent) être passive(s) ou précontrainte(s).

- 10 Dans le cadre de l'invention, on entend par « armature de rigidification passive » une armature de rigidification complémentaire non mise en tension artificiellement dans le module et déposée dans la rainure du bois sans précontrainte.

- 15 Dans le cadre de l'invention, on entend par « armature de rigidification précontrainte », une armature de rigidification mise en tension, par opposition à une armature de rigidification passive, avant insertion dans le module en bois.

- 20 En complément, de manière avantageuse, une ou plusieurs armatures de rigidification est (sont) présente(s) en surface de la zone de fixation, servant d'armatures passives, notamment lorsque le module en bois est destiné à être associé à un module de béton non fibré. Cela permet de garantir une conformité suivant l'Eurocode 2 préconisant un taux minimal d'armature de 0,4 % dans toutes structures en béton. Dans le cas d'un béton fibré, ces armatures ne sont plus nécessaires.

- 25 Lorsque la ou les armatures de rigidification sont précontraintes, la précontrainte est, de préférence, appliquée avant le coulage du béton.

- 30 Lorsqu'une ou plusieurs armatures de rigidification sont positionnées en surface d'un module en bois, elles peuvent être collées, par tout type de colle appropriée. Avantageusement, la ou les armatures de rigidification sont collées, notamment dans une ou plusieurs rainures aménagées en surface du module en bois avec une composition thermdurcissable. Une composition thermdurcissable pouvant être utilisée pour coller les armatures de rigidification est la composition thermdurcissable telle que définie dans le

cadre de l'invention, utilisée pour la liaison du module en bois avec le béton. A titre d'exemples non limitatifs, on peut citer les compositions thermodurcissables de la gamme EPONAL de BOSTIK SA, tel que l'EPONAL 316 DE TH, l'EPONAL 380 ou l'EPONAL 371, ou toute autre
5 composition thermodurcissable connue de l'homme de l'art.

La ou les armatures de rigidification peuvent être de nature métallique, par exemple de type Haute Adhérence (HA), ou en matériau composite, par exemple en matériau polymère renforcé de fibres de verre et/ou de carbone.

10 Selon un mode de réalisation, plusieurs modules en bois sont assemblés, préalablement à l'étape b), par exemple en caisson, pour former l'ossature de l'élément de structure, dans l'attente de l'application de la composition thermodurcissable et des particules de sable. Selon un autre mode de réalisation, même si ils sont destinés à être ensuite assemblés, ils
15 sont soumis seuls au traitement des étapes b) et c).

Le module en bois comporte une surface de fixation. Cette surface de fixation s'étend, de préférence, sur toute une face du module en bois. La surface de fixation ne nécessite pas d'étape de ponçage préalable à l'application de ladite composition thermodurcissable.

20 Avantageusement, la composition thermodurcissable :

- a une viscosité initiale (notamment après mélange de la résine et de son durcisseur ou catalyseur) moyenne, et est en particulier liquide à température ambiante avant son application,
- a une bonne adhérence sur le bois et sur les surfaces minérales
25 comme le sable,
- durcit à température ambiante dans un délai de 12 à 48 h,
- est insensible aux solutions fortement alcalines comme le béton liquide,
- a une résistance à long terme au contact d'un matériau alcalin, et
30 - a de bonnes propriétés mécaniques.

Parmi les compositions thermodurcissables pouvant être utilisées dans le cadre de l'invention, on peut notamment citer les compositions

bicomposantes, et en particulier les compositions de résines époxy bicomposantes.

La composition thermodurcissable est dite bicomposante, car elle est obtenue par mélange d'une part d'une composition de résine thermodurcissable, et d'autre part d'une composition d'un agent durcisseur et/ou un catalyseur autorisant son durcissement à la température de mise en œuvre.

La composition de résine thermodurcissable peut comprendre ou être constituée de tout type de résine liquide à la température ambiante de mise en œuvre, en particulier choisie parmi les résines époxy, notamment les dérivés de type diglycidyl ether de bisphénol A, de bisphénol F, et leur mélanges. La composition de résine époxy thermodurcissable pourra aussi contenir des modifiants de type diluants réactifs, de type glycidyl éther d'alcool aliphatique mono ou multi fonctionnel, et particulier les dérivés d'alcool gras en C12-C14, en C13-C15, de 1,4 butanediol, de 1,6 hexanediol, de polyoxypropylene. La composition de résine époxy peut aussi contenir d'autres additifs tels que des charges minérales destinées à modifier sa viscosité et son adhésion sur le bois.

La composition d'agent durcisseur peut contenir tout type d'agent réactif avec les résines époxy à la température de mise en œuvre, et en particulier à température ambiante, , et notamment choisi parmi des amines aliphatiques, ou cycloaliphatiques portant des fonctions primaires et/ou secondaires, des polyamides, des polyamido-amines et leurs mélanges. Elle peut aussi contenir un ou plusieurs agents de type accélérateur ou catalyseur, tels que des amines tertiaires, et des acides organiques, destinés à régler le temps de prise. Elle peut aussi contenir des un ou plusieurs additifs non réactifs, destinés à optimiser le mouillage du bois, notamment choisi(s) parmi des solvants ou des plastifiant, et d'autres additifs visant à ajuster la viscosité tels que des charges minérales.

De manière avantageuse, le durcissement de la résine thermodurcissable sélectionnée pourra intervenir à une température dans la gamme allant de 10 à 35 °C, typiquement à 23°C.

De telles compositions thermodurcisables comprenant séparément la résine et le durcisseur sont disponibles commercialement, notamment auprès de la société BOSTIK SA, sous la référence EPONAL, notamment l'EPONAL 371.

- 5 De manière avantageuse, le durcissement de la composition thermodurcissable sélectionnée pourra intervenir à une température dans la gamme allant de 10 à 35 °C, de préférence de 20 à 25 °C, typiquement à 23°C.

De préférence, à l'étape b), la composition thermodurcissable est
10 appliquée, de manière homogène, sur toute la surface de fixation du module en bois. Il est ainsi possible d'obtenir un film uniforme et continu.

L'imprégnation du module en bois par la composition thermodurcissable, dans la zone s'étendant à partir de la surface de fixation, doit être faible, afin de conserver de la composition thermodurcissable en
15 surface du module en bois et permettre un bon maintien des particules de sable ultérieurement déposées. En particulier, 200 à 300 g d'une composition thermodurcissable sont appliqués par m² de surface de fixation du module de bois.

De préférence, la composition thermodurcissable a une viscosité
20 Brookfield, mesurée à 23 °C, avant son application sur la surface de fixation, appartenant à la gamme allant de 2000 à 13000 mPa.s, et de préférence allant de 5500 à 9500 mPa.S. Cette viscosité correspond à la viscosité initiale après mélange des différents composants de la composition : de la résine thermodurcissable et de l'agent durcisseur et/ou du catalyseur. Dans le cadre
25 de l'invention, la viscosité de la composition thermodurcissable est mesurée selon la méthode Brookfield, et plus précisément selon la norme ISO 2555.

Ainsi, la viscosité de la composition thermodurcissable permet à celle-ci de s'étaler aisément sur la surface de fixation du module en bois, sans être fortement absorbée par ce dernier. Une épaisseur de composition
30 thermodurcissable reste à la surface du module de bois, et notamment une épaisseur appartenant à la gamme allant de 0,1 à 0,5 mm, et en particulier de 0,3 mm, avant application des particules de sable. Cette épaisseur de

composition thermodurcissable à la surface du module en bois permettra d'assurer un bon maintien des particules de sable déposées ultérieurement.

De préférence, la composition thermodurcie présente à 23 °C une dureté shore D à 7 jours de 75 degrés shore (mesurée selon la norme
5 NF EN ISO 868), une résistance à la traction d'au moins 30 MPa (mesurée selon la norme NF EN ISO 527-1) et un module d'élasticité d'au moins 3000 MPa (mesuré selon la norme NF EN ISO 527-1).

De manière classique, l'application de la composition thermodurcissable et le dépôt des particules de sable sont réalisés à
10 l'étape b) pendant la durée pratique d'utilisation de la composition thermodurcissable.

Par « durée pratique d'utilisation » ou DPU d'une composition thermodurcissable, on entend la durée après mélange des composants (résine, durcisseur et/ou catalyseur) pendant laquelle la composition
15 thermodurcissable peut être mise en œuvre, avant notamment une augmentation importante de sa viscosité. Elle est dépendante de la température d'utilisation et est donnée pour une température donnée.

De préférence, la composition thermodurcissable a une durée pratique d'utilisation d'au moins 1 heure à 23 °C, et de préférence allant de 2
20 à 3 heures à 23 °C.

A l'étape b), les particules de sable sont appliquées, de préférence par épandage, sur la surface de fixation du module en bois couvert de composition thermodurcissable. Les particules de sable viennent alors se fixer en surface du module en bois, grâce à la composition thermodurcissable
25 présente sur la surface de fixation, qui agit comme un liant. De manière avantageuse, les particules de sable sont appliquées, de sorte à avoir au final, en surface du module de bois traité obtenu, des particules de sable dont au moins une partie de leur surface accessible n'est pas recouverte de composition thermodurcissable, dite zone sèche. Ceci peut être obtenu
30 notamment grâce à un dépôt de particules de sable **10** jusqu'à saturation du sable dans la couche de composition thermodurcissable **9**, comme illustré **Figure 1a**, ou encore, du fait de la taille plus importante des particules de

sable **10** par rapport à l'épaisseur de la couche de composition thermodurcissable **9** présente en surface du module de bois **1**, comme illustré **Figure 1b**. Par saturation, on entend que le dépôt de sable est réalisé en quantité telle qu'ensuite, le sable ne s'accroche plus sur la composition thermodurcissable présente en surface. En particulier, les particules de sable sont déposées, de préférence à raison de 100 à 1000 g de particules de sable par m² de surface de fixation du module en bois couverte de composition thermodurcissable, de préférence de 200 g/m² à 500 g/m², en particulier de 200 à 300 g/m² et notamment 300 g/m² environ. Les particules de sable viennent donc s'incorporer dans la couche de composition thermodurcissable. Comme il est apparent à la **figure 1a** ou **1b**, les particules de sable **10** situées en surface de la zone de fixation ne sont que partiellement enrobées de composition thermodurcissable **9**, dite zone sèche.

Dans le cadre de l'invention, les particules de sable ont avantageusement un diamètre moyen D qui appartient à la gamme allant de 0,1 à 1,2 mm, de préférence de 0,4 à 1,0 mm, et notamment est égal à 0,5 mm environ. La caractérisation de la courbe granulaire du sable et le diamètre moyen sont définies par la norme NF EN 933-1.

Avantageusement, le sable utilisé à l'étape b) contient de 30 à 50% en masse de silicates et de 5 à 30% en masse d'alumine. Selon un mode particulier de réalisation, le sable est du sable abrasif de sablage, et notamment le sable abrasif commercialisé sous le nom Rugos 2000.

L'épandage des particules de sable permet d'augmenter la surface spécifique de collage, et ainsi d'améliorer l'adhérence et la cohésion entre le module en bois et le béton qui va être directement coulé sur ce dernier. La présence de particules de sable non enrobées à la surface du module de bois traité obtenu (zone sèche) apporte de la rugosité, permet d'obtenir l'adhésion du béton sur ces dernières, lequel ne présente aucune adhésion sur la composition thermodurcie dépourvue de particules de sable, et une bonne cohésion entre les modules de bois et le béton.

Le module en bois obtenu à l'issue de l'étape b) est maintenu à température ambiante, et notamment à une température dans la gamme allant de 10 à 35°C, de préférence de 20 à 25 °C, et typiquement 23°C, pendant le temps nécessaire au durcissement de la composition thermodurcissable comprenant des particules de sable, à la température considérée. Le temps nécessaire au durcissement dépend de la température. Typiquement, au moins 24 heures sont nécessaires à température ambiante et jusqu'à 48 heures pour des températures plus faibles. Ce maintien est, de préférence, mené dans un environnement contrôlé en température et en humidité.

A l'issue de l'étape c), on obtient donc sur la surface de fixation du module en bois, une couche composée de composition thermodurcie et de particules de sable. En particulier, l'épaisseur de la couche de composition thermodurcie + particules de sable appartient de préférence à la gamme allant de 0,2 à 1,7 mm, et en particulier de 0,6 à 1 mm. Cette épaisseur correspond environ à l'épaisseur de la couche composition thermodurcissable + particules de sable obtenue avant le durcissement du mélange de composition thermodurcissable et de particules de sable.

Les étapes a), b) et c) peuvent être réalisées sur un site différent de celui des étapes ultérieures ou sur le même site. Notamment, le module en bois peut être préparé, de façon discontinue, par rapport à l'opération de coulage du béton de l'étape subséquente d).

Il est possible de disposer de différents modules en bois à l'étape a) et de procéder aux traitements des étapes b) et c) sur ces différents modules, de manière séparée ou simultanée, si ces derniers sont assemblés.

A l'issue de l'étape c) et préalablement à l'étape d), les modules en bois traités peuvent être assemblés, dans l'attente du coulage du béton, en caisson pour former l'ossature de l'élément de structure, ou soumis seuls au coulage du béton.

Selon le procédé de l'invention, du béton frais est ensuite coulé sur le(s) module(s) en bois traité(s) lors de l'étape d). Le coulage du béton est réalisé de manière à ce que ce dernier se répande sur la surface de fixation

porteuse du mélange composition thermodurcie/particules de sable. Lors du coulage, le béton est également canalisé dans un ou plusieurs éléments de coffrage, permettant après durcissement du béton d'obtenir un module de béton de la forme souhaitée. Le ou les éléments de coffrage utilisés sont placés contre le module en bois délimitant ainsi un espace dans lequel le béton est coulé. Les éléments de coffrage sont, par exemple, constitués avec des plaques métalliques, des éléments bois ou en blocs isolants, en polystyrène par exemple.

Le procédé selon l'invention ne nécessite donc aucune phase préalable de mise en forme du béton, de préfabrication d'un module de béton (avec un temps d'attente supplémentaire), de manutention du béton durci puis de collage du béton durci sur le(s) module(s) en bois. Le béton frais adhère au bois sans fixation mécanique, grâce à l'application préalable sur la surface du module de bois d'une composition thermodurcissable et de particules de sable, suivi du durcissement de la composition thermodurcissable venant piéger les particules de sable.

Le coulage du béton peut avoir lieu directement sur le site d'utilisation de l'élément de structure, selon toute technique connue de l'état de l'art.

Le béton utilisé dans le cadre de l'invention est composé d'un liant minéral ou hydrocarboné, de granulats et d'eau. Le béton peut également comprendre des adjuvants tels que des adjuvants réducteurs d'eau, de la fumée de silice.

De préférence, le liant est un liant hydraulique, et en particulier du ciment. La quantité de liant utilisé dans le béton est, notamment, comprise entre 300 et 800 kg/m³, de préférence est de 350 kg/m³ environ pour un béton non fibré et de 700 kg/m³ environ pour un béton fibré avec des fibres courtes.

De préférence, la quantité d'eau dans le béton est telle que le rapport massique eau/liant appartient à la gamme allant de 0,15 à 0,5, et de préférence est égale à environ 0,3.

De préférence, le béton comprend de la fumée de silice en une quantité appartenant à la gamme allant de 5 à 15% en masse par rapport à la masse totale de liant.

Le béton est qualifié de frais, car il est encore à l'état liquide ou semi-liquide. Il est appliqué rapidement après mélange des différents composants qui le constitue, et en particulier avant son épaissement qui gênerait sa coulée et donc sa mise en forme ultérieure.

Selon un mode de réalisation préféré, le béton comprend en outre des fibres courtes et/ou une ou plusieurs armatures de rigidification, de nature métallique et/ou composite, lesquelles peuvent être insérées dans le module de béton obtenu.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le béton est composé de ciment, de sable, de fumée de silice, d'eau, d'un adjuvant réducteur d'eau et de fibres courtes de nature métallique, minérale, organique et/ou composite. Une telle composition de béton permet, avantageusement, d'obtenir des résistances à la compression à 28 jours supérieures à 100 MPa et une résistance à la traction par flexion supérieure à 15 MPa. Ce béton permet avantageusement l'emploi d'une épaisseur moindre de béton pour obtenir les mêmes propriétés mécaniques, comparées à un béton ne comprenant que du liant hydraulique et des granulats.

De manière avantageuse, ce béton confère une inertie accrue, une rigidité et une résistance améliorées, et une plus grande légèreté à l'élément de structure selon l'invention, en comparaison aux éléments de structure connus dans l'état de l'art.

Par « fibres courtes », on entend dans le cadre de l'invention des fibres ayant une longueur comprise entre 5 et 20 mm. Avantageusement, dans le cadre de l'invention, les fibres courtes ont une longueur comprise allant de 8 à 19 mm.

Les fibres courtes peuvent être de nature métallique, polypropylène ou composite, dont les dosages en volume varient entre 0,2 et 2 % du volume de béton. De préférence, les fibres sont de nature métallique avec un dosage en volume de 1% du volume de béton.

La ou les armature(s) de rigidification incorporée(s) dans le module en béton peuvent être de même nature que celle(s) incorporée(s) dans le module en bois.

De préférence, les armatures de rigidification incorporées au module
5 de béton se présentent sous la forme de treillis ou d'armature de nature haute adhérence (HA) métallique et/ou composite.

Dans le cas où une ou plusieurs armatures de rigidification sont intégrées au module de béton obtenu au final, celles-ci sont, en général, introduites avant le coulage du béton et positionnées à l'aide de cales : la ou
10 les armatures de rigidification se trouvent alors dans le béton, retenues par des cales.

Enfin, la dernière étape du procédé consiste à laisser durcir le béton frais qui a été coulé sur le module en bois traité. Lors de cette étape de durcissement, le béton se solidifie et forme ainsi un module en béton qui se
15 lie lors de sa formation au module en bois, par accrochage sur la couche composition thermodurcie/particules de sable située à l'interface bois/béton et, selon un mode de réalisation préféré, sur les particules de sable de surface en partie sèche. La présence de la composition thermodurcie et des
20 particules de sable à l'interface du module de bois et du béton favorise l'accrochage du béton lors de sa solidification, et permet ainsi d'obtenir une liaison très résistante du module de bois avec le module de béton ainsi formé.

De préférence, le durcissement intervient à une température appartenant à la gamme 15 à 35°C, notamment à 23°C, pendant une durée
25 de 7h à 24h. On obtient ainsi simultanément la formation du module de béton et sa liaison au(x) module(s) de bois. La forme du module de béton est dépendante du ou des éléments de coffrage utilisés.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, le procédé de fabrication peut comprendre une étape f), subséquente à l'étape e), de
30 coulage puis durcissement de béton, d'une nature différente de celui utilisé à l'étape d). En particulier, ce coulage et durcissement de béton est réalisé sur le module de béton précédemment réalisé.

En référence à la **figure 2**, un procédé de fabrication d'une poutre de renforcement **I** conforme à l'invention comprend les étapes suivantes :

- sur une surface de fixation **2** d'une poutre en bois **1**, notamment du type lamellé collé, appliquer, une composition thermodurcissable **9**,
5 puis répandre des particules de sable **10** sur ladite surface de fixation **2** recouverte de composition thermodurcissable **9**,
- obtenir le durcissement de la composition thermodurcissable, de sorte à obtenir une couche **4** de composition thermodurcie incorporant les particules de sable **10**,
- 10 - positionner un élément de coffrage **11** contre la poutre en bois **1**, de manière à délimiter, avec la surface de fixation recouverte du mélange composition thermodurcie/particules de sable, un espace dans lequel le béton sera coulé ; l'élément de coffrage comporte, bien entendu, une entrée pour le béton à couler, non représentée,
- 15 - couler le béton frais **12** dans l'espace ainsi délimité et donc notamment sur la surface de fixation **2** de la poutre en bois **1** recouverte d'une couche **4** de composition thermodurcie dans laquelle des particules de sable sont réparties, et
- laisser durcir le béton frais qui a été coulé de manière à former un
20 module en béton **3** tout en assurant sa liaison à la poutre en bois et enlever l'élément de coffrage **11**.

L'invention concerne aussi un procédé de fabrication d'un module en bois traité comprenant les étapes successives suivantes :

- a)** fournir un module en bois comportant une surface de fixation,
- 25 **b)** appliquer, sur ladite surface de fixation dudit module en bois, une composition thermodurcissable, puis répandre des particules de sable sur ladite surface de fixation recouverte de composition thermodurcissable, et
- c)** obtenir le durcissement de la composition thermodurcissable
30 dans laquelle sont incorporées des particules de sable.

Le module en bois, la composition thermodurcissable, les particules de sable, ainsi que les étapes a), b) et c) sont tels que définis pour le procédé de fabrication de l'élément de structure selon l'invention.

5 **Élément de structure et module en bois traité**

L'invention concerne également un élément de structure obtenu par le procédé selon l'invention, ainsi que les modules en bois traités obtenus à l'issue des étapes a) à c) du procédé selon l'invention.

10 L'invention concerne, de manière plus générale, un élément de structure comprenant au moins un module en bois comportant une surface de fixation, et au moins un module en béton, lié à ladite surface de fixation du module en bois par l'intermédiaire d'une zone de fixation comprenant une composition thermodurcie et des particules de sable. La zone de fixation se situe à l'interface bois/béton et est formée d'une couche composée de
15 composition thermodurcie dans laquelle des particules de sable sont réparties. Ladite couche a notamment une épaisseur appartenant à la gamme allant de 0,2 à 1,7 mm, et de préférence de 0,6 à 1 mm.

20 Les particules de sable sont réparties dans la composition thermodurcie et, au moins certaines, sont partiellement enrobées de composition thermodurcie. Ces particules de sable partiellement enrobées de composition thermodurcie se trouvent à l'interface avec le béton. De manière avantageuse, elles sont recouvertes d'un côté de composition thermodurcie et de l'autre de béton.

25 Au niveau de la zone de fixation, la composition thermodurcie imprègne également en surface le module en bois, notamment sur une profondeur d'au moins 0,1 mm, et notamment de 0,1 à 0,5 mm, et en particulier de 0,3 mm environ.

30 Le module en bois, le module en béton, la composition thermodurcie et les particules de sable sont tels que définis pour le procédé de fabrication de l'élément de structure selon l'invention.

Avantageusement, l'élément de structure selon l'invention a des performances mécaniques améliorées, un élanement plus faible et un poids

surfacique inférieur de 60 % aux éléments de structure en béton connus de l'état de l'art, à performances mécaniques similaires.

Les procédés et éléments de construction selon l'invention sont adaptés pour proposer des éléments du type panneau ou poutre, notamment pour
5 plancher ou d'autres applications en bâtiment, susceptibles de franchir des portées de 10 m, avec de préférence des retombées de 1/30 de la portée.

L'élément de structure peut être une poutre, un panneau, un plancher, ou une façade.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, l'élément de
10 structure est une poutre de renforcement **I** telle que représentée en **figure 3**. Les dimensions de la poutre de renforcement **I** peuvent être comprises entre 90 et 150 mm en largeur l , entre 200 et 800 mm en hauteur **H** (également nommée retombée), et entre 5 et 20 m en longueur **L** (également nommée portée).

15 La poutre de renforcement **I** est constituée d'une poutre en bois **1**, notamment lamellé collé, ayant une surface de fixation **2**, d'une poutre en béton **3** liée à la surface de fixation **2** de la poutre en bois **1** par une couche **4**, composée de composition thermodurcie dans laquelle des particules de sable sont réparties, d'épaisseur **e**.

20 Selon le mode de réalisation représenté à la **figure 3**, des armatures de rigidification **5** correspondant à des tiges métalliques positionnées parallèlement, sont insérées dans des rainures de la poutre en bois **1** et positionnées sur la surface opposée à la surface de fixation **2**. Selon d'autres modes de réalisation non représentés à la **figure 3**, les armatures de
25 rigidification peuvent être positionnées sur n'importe quelle surface de la poutre en bois **1**, et notamment à la fois sur la surface de fixation **2** et sur la face opposée à ladite surface de fixation **2**, ou bien la poutre en bois **1** ne comprend pas d'armature de rigidification.

Selon un autre mode de réalisation particulier de l'invention
30 représenté en **figure 4a** et **4c**, l'élément de structure **IIa** est composé de trois poutres **Ia**, **Ib** et **Ic** assemblées parallèlement les unes aux autres sur un panneau **6**, notamment en bois, de type OSB par exemple, au niveau de

la face opposée à leur surface de fixation. Chacune des poutres **1a**, **1b** et **1c** comporte une poutre en bois (**1a**, **1b**, **1c** respectivement), notamment en bois lamellé collé, munie d'armatures de rigidification (**5a**, **5b**, **5c** respectivement) et d'une surface de fixation (**2a**, **2b**, **2c** respectivement).

- 5 Une dalle en béton **3'** est liée aux surfaces de fixation **2a**, **2b** et **2c** des poutres en bois **1a**, **1b** et **1c** par une couche (**4a**, **4b**, **4c** respectivement) composée de composition thermodurcie dans laquelle sont réparties des particules de sable. La dalle en béton **3'** comprend une armature de rigidification, notamment un treillis soudé **7**. Le panneau **6** est
- 10 avantageusement lié aux poutres en bois **1a**, **1b** et **1c** avec des vis ou des pointes métalliques à la surface opposée aux surfaces de fixation **2a**, **2b**, **2c** après application de la composition thermodurcissable, des particules de sable et durcissement de la composition thermodurcissable, et préalablement au coulage du béton. Le béton frais est coulé après assemblage des poutres
- 15 en bois et insertion de caissons entre les poutres en bois assemblées.

- Selon un autre mode de réalisation particulier de l'invention représenté en **figure 4b**, l'élément de structure **IIb** est composé de trois poutres **1a**, **1b** et **1c** assemblées parallèlement les unes aux autres sur un panneau **6**, notamment en bois, de type OSB par exemple par des vis ou des
- 20 pointes métalliques, au niveau de la face opposée à leur surface de fixation, et, à l'extrémité opposée, sur une dalle de béton armé **8** comprenant une armature de rigidification, notamment un treillis soudé **7**. Chacune des poutres **1a**, **1b** et **1c** comporte une poutre en bois (**1a**, **1b**, **1c** respectivement), notamment en bois lamellé collé, munie d'armatures de
- 25 rigidification (**5a**, **5b**, **5c** respectivement) et d'une surface de fixation (**2a**, **2b**, **2c** respectivement), et une poutre en béton (**3a**, **3b**, **3c** respectivement) liée à la surface de fixation (**2a**, **2b**, **2c** respectivement) de la poutre en bois (**1a**, **1b**, **1c** respectivement) par une couche (**4a**, **4b**, **4c** respectivement) composée de composition thermodurcie dans laquelle des
- 30 particules de sable sont réparties. Pour cela, un premier béton frais est coulé après l'insertion de caissons entre les poutres en bois, de sorte à obtenir les poutres en béton (**3a**, **3b**, **3c** respectivement) après durcissement, puis un

second béton frais est coulé, sur les poutres en béton **3a**, **3b**, **3c**, après insertion d'autres éléments de coffrage, de sorte à obtenir la dalle de béton armé **8** après durcissement du béton. Les poutres en béton **3a**, **3b**, **3c** se retrouvent présent dans la masse de la dalle de béton **8**.

5 L'invention concerne également un module en bois traité comprenant un module en bois comportant une surface de fixation avec une zone de fixation comprenant une composition thermodurcie dans laquelle des particules de sable sont réparties et, au moins certaines, desdites particules de sable sont partiellement enrobées de composition thermodurcie.

10 Le module en bois, la composition thermodurcie et les particules de sable sont tels que définis pour l'élément de structure selon l'invention.

En particulier, la composition thermodurcissable pourra, de manière avantageuse, être une résine époxy, en particulier, bicomposante et/ou le sable pourra, en particulier, contenir de 30 à 50% m/m de silicate et 5 à 15 30% m/m d'alumine. De manière préférée, le diamètre moyen D des particules de sable appartient à la gamme allant de 0,1 à 1,2 mm, et notamment est égal à 0,5 mm environ. De préférence, au niveau de la zone de fixation, le module en bois est recouvert de composition thermodurcie, notamment avec une épaisseur appartenant à la gamme allant de 0,1 20 à 0,5 mm, et en particulier de 0,3 mm.

En surface du module de bois traité obtenu se trouvent des particules de sable dont au moins une partie de leur surface accessible n'est pas recouverte de composition thermodurcie (dite zone sèche).

Enfin, l'invention concerne également l'utilisation d'au moins un 25 élément de structure conforme à l'invention pour la réalisation d'au moins une partie d'un bâtiment (maisons individuelles, logements collectifs ou bâtiments industriels, scolaires ou commerciaux, planchers autoporteurs, façades, etc.) ou d'un ouvrage (ponts, passerelles, etc.).

Exemples

Exemple 1 : Préparation de structures mixtes bois/béton

Six poutres ont été fabriquées : la poutre P1 est en bois, et les poutres P2, P3, P4, P5, P6 et P7 sont des poutres mixtes en bois et béton.

5 Les différentes combinaisons sont référencées dans le tableau 1 ci-dessous.

La poutre P1 est uniquement constituée de bois de type lamellé collé, et ne comprend ni béton, ni d'armature de rigidification, ni de composition thermoturcie, ni de particules de sable.

10 Les poutres P2, P3 et P6 ont été fabriquées selon le procédé de l'invention, et comprennent chacune une poutre en bois lamellé collé avec des armatures de rigidification passives métalliques de type Haute Adhérence de diamètre 10 mm (HA10) sur laquelle une poutre en béton a été coulée après application d'une composition thermoturcissable de type époxy (commercialisée par la société BOSTIK SA sous la référence Eponal 371, de
15 viscosité Brookfield 5500 mPa.S), de particules de sable (200 g/m² de sable abrasif de type RUGOS 2000) et durcissement de ladite composition thermoturcissable incorporant lesdites particules de sable pendant 7 à 72h à 20 °C.

20 Les poutres en béton des poutres P2 et P3 contiennent des fibres courtes métalliques et ont une résistance en compression supérieure à 100 MPa. La poutre P2 comprend une poutre en béton, tandis que la poutre P3 comporte deux poutres en béton. La poutre en béton de la poutre P6 ne comprend pas de fibres courtes et a une résistance en compression égale à 40 MPa. Le béton frais est laissé durcir pendant 24 h
25 à 20 °C. Le béton coulé dans le cas de la poutre P6 comprend 350 kg de ciment Portland, 850 kg de sable de granulométrie 0-4, 1020 kg de graviers roulés de granulométrie 4-11 et 190 L d'eau. Le béton frais est laissé durcir pendant 24 h à 20 °C.

30 La poutre P4 comprend deux poutres en béton, l'une coulée et collée selon le procédé selon l'invention et l'autre préfabriquée et collée comme décrit dans le document EP 2 231 946. Les deux poutres en béton ont au final une résistance en compression supérieure à 100 MPa, et comportent

des fibres courtes métalliques. La poutre béton en partie supérieure de la poutre en bois lamellé collé est collée selon le procédé décrit dans le brevet EP 2 231 946. La seconde poutre béton est coulée et collée sur la zone inférieure de la poutre en bois selon le procédé de l'invention. La composition thermodurcissable employée est de type résine époxy (commercialisé par la société BOSTIK SA sous la référence Eponal 371, de viscosité Brookfield 5500 mPa.S). 200 g de sable abrasif par m² de surface de fixation (de type RUGOS 2000) sont appliqués par épandage. La composition thermodurcissable est laissée durcir pendant 7 à 72h à 20 °C.

La poutre P5 est une poutre réalisée comme dans le brevet EP 2 231 946, où tous les éléments sont préfabriqués et assemblés à l'état durci, mais avec un traitement de surface conforme aux étapes b) et c) du procédé selon l'invention. La poutre en béton de la poutre P5 a une résistance en compression supérieure à 100 MPa, et comprend des fibres courtes métalliques. La poutre en béton préfabriquée est collée à la poutre en bois lamellé collé, de part et d'autre de la poutre en bois avec une composition thermodurcissable de type résine époxy (commercialisé par la société BOSTIK SA sous la référence EPONAL 371, de viscosité Brookfield 5500 mPa.S) et des particules de sable (200 g de sable abrasif de type RUGOS 2000 par m² de surface de fixation).

La poutre P7 comprend une poutre en bois lamellé collé avec des armatures de rigidification passives métalliques de type HA10 dont la surface de fixation est couverte d'une couche de colle époxy chargée SIKADUR® 30 (utilisée dans les demandes EP 2 232 946 et WO 2010/055227), sur laquelle est coulée une poutre en béton après durcissement de la colle. L'objectif est d'évaluer s'il est possible de supprimer l'étape de préfabrication du béton des procédés décrits dans les demandes EP 2 232 946 et WO 2010/055227.

Pour les poutres P2 à P4, P6 et P7, le coulage du béton frais est réalisé sur la surface de fixation des poutres en bois traitées, après la mise en place d'un ou plusieurs élément de coffrage (de dimensions adaptées aux dimensions des poutres en béton à couler) contre la poutre en bois pour délimiter un espace dans lequel le béton est coulé.

L'étude a également été complétée par des essais sur 2 panneaux de 8 m de long, 1,20 m de large et 0,283 m de haut, constitué de 3 poutres bois en lamellé collé, sur lesquelles une table de compression en béton a été coulée conformément au procédé selon l'invention (**Tableau 2**).

- 5 Le panneau Pan 1 possède une table de compression composée d'un béton non fibré classique, selon la **figure 3a**.

Le second panneau Pan 2 est composé d'une table de compression en béton non fibré assemblée aux poutres munies d'une planche de béton fibré, selon la **figure 3b**.

- 10 La composition thermodurcissable utilisée dans la fabrication de Pan 1 et Pan 2 est une résine époxy (Eponal 371 de société BOSTIK SA, de viscosité Brookfield 5500 mPa.S). Du sable abrasif (200 g par m² de surface de fixation, de type RUGOS 2000) est appliqué par épandage, selon le procédé de l'invention.

Tableau 1.

Poutre	Poutre en bois (mm)	Armatures de rigidification	Position de la surface de fixation	Composition thermodurcissable	Sable	Poutre en béton (mm)	Procédé utilisé
P1	lamellé collé 80x240	/	/	/	/	/	
P2 selon l'invention	lamellé collé 80x200	HA10	surface supérieure	Eponal 371	RUGOS 2000 200 g/m ²	béton fibré 1 poutre 80x40	invention
P3 selon l'invention			surface supérieure et inférieure			béton fibré 2 poutres 80x20	invention
P4							Poutre sup : préfabriquées puis collées Poutre inf : invention
P5	lamellé collé 80x200	HA10	surface supérieure	Sikadur® 30	/	béton non fibré 1 poutre 80x70	2 poutres préfabriquées puis collées
P6 selon l'invention							invention
P7							Béton coulé puis durci

Tableau 2.

Panneau	Poutres en bois (mm)	Armatures de rigidification	Position de la surface de fixation	Composition thermomodurcissable	Sable	Béton (mm)
Pan1	lamellé collé 3 x 80x200	HA10	3 x surface supérieure	Eponal 371	RUGOS 2000 200 g/m ²	1 panneau en béton non fibré 1200x70 (selon la figure 3a)
Pan2						3 poutres en béton fibré (80x40) + 1 table de compression béton (selon la figure 3b)

Exemple 2 : évaluation des propriétés mécaniques des structures mixtes bois/béton

Un essai de flexion quatre points est réalisé sur les différentes structures fabriquées à l'exemple 1. Cet essai consiste à solliciter les poutres de manière statique et monotone en flexion 4 points jusqu'à leur rupture. La sollicitation de la poutre est réalisée par application d'un effort appliqué par l'intermédiaire d'un vérin hydraulique de 500 kN de capacité. La flèche de la poutre en son milieu sous l'application de l'effort est mesurée par un capteur de déplacement. L'instrumentation adoptée permet de recueillir en continu l'effort appliqué ainsi que la flèche à mi-travée.

Les résultats des essais en flexion réalisés sur les différentes structures sont rapportés dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3.

Structures testées	Charge à la rupture (kN)	Flèche à la rupture (mm)
P1	2056,3	155,07
P2 selon l'invention	3143,8	136,53
P3 selon l'invention	3737,5	160,26
P4	1750,0	81,98
P5	1187,5	59,34
P6 selon l'invention	3562,5	107,66
P7	1352,2	142,23
Pan1	122,8	84,5
Pan2	94,8	77,6

Ces résultats montrent que les performances des structures comprenant les poutres mixtes bois/béton selon l'invention (P2, P3 , P6) sont améliorées par rapport à la poutre en bois lamellé collé de référence (P1) et par rapport aux poutres selon le brevet EP 2 231 946 (P4 et P5), qu'il s'agisse des charges à la rupture (jusqu'à 82% de gain) ou du comportement en service caractérisé par une rigidité sensiblement supérieure et un niveau de dégradation substantiellement différé (**Figures 5 et 6**).

Le taux de travail (déformation et contrainte) des structures selon l'invention est significativement augmenté (entre 15% et 80%) par rapport à une structure de bois lamellé collé.

De plus, les courbes de glissement horizontal entre le bois et le béton, représentées en **figure 7**, montrent la bonne adhérence entre le bois et le béton, pour la poutre P6 selon l'invention, contrairement à ce qui est observé par la poutre P7 hors l'invention utilisant une autre colle, et donc sans application d'une composition thermodurcissable puis du sable, comme dans l'invention.

La **figure 8** montre le comportement mécanique des poutres P6 et P7 sous la représentation graphique moment-courbure. Les charges à la rupture des nouvelles poutres sont augmentées de 300 %, les déplacements divisés par 4. Par conséquent, le coulage de béton frais sur SIKADUR® 30 (composition époxy chargé de sable de silice de diamètre maximal 0,04 mm et de viscosité élevée) tel qu'utilisé dans les demandes WO 2010/055227 et EP 2 231 946 (P7) ne permet pas d'obtenir une adhérence entre le béton frais et le bois. Une fois durci, l'essai comparatif illustré par la **figure 8** démontre que couler du béton frais sur du Sikadur® 30 conduit à un glissement entre le bois et le béton une fois durci. Il n'est pas possible de supprimer l'étape de préfabrication du béton dans les demandes WO 2010/055227 et EP 2 231 946. Le traitement du bois selon le procédé de la présente invention permet, par contre, la suppression de cette étape de fabrication.

Les structures selon l'invention P2, P3 et P6 présentent donc des performances mécaniques supérieures en comparaison aux structures connues dans l'état de l'art, de type bois (P1), bois/béton assemblés par collage de béton durci sur bois selon les demandes de brevet WO 2010/055227 et EP 2 231 946 (P4 et P5), ou en utilisant une colle non conforme à l'invention (P7).

REVENDEICATIONS

1 - Procédé de fabrication d'un élément de structure (**I**) formée d'au moins un module en bois (**1**) et d'au moins un module en béton (**3**) comprenant les étapes successives suivantes :

- 5 **a)** fournir au moins un module en bois (**1**) comportant une surface de fixation (**2**),
- b)** appliquer, sur ladite surface de fixation (**2**) dudit module en bois (**1**), une composition thermodurcissable (**9**), puis répandre des particules de sable (**10**) sur ladite surface de fixation (**2**)
- 10 recouverte de composition thermodurcissable (**9**),
- c)** obtenir le durcissement de la composition thermodurcissable,
- d)** couler du béton frais (**12**) sur la surface de fixation (**2**) dudit module en bois ainsi traité obtenu à l'étape c), et
- e)** laisser durcir le béton frais qui a été coulé sur ledit module en
- 15 bois traité, de manière à former le module en béton (**3**), tout en assurant sa liaison au module en bois (**1**).

2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la composition thermodurcissable est appliquée à l'étape b), de manière à obtenir avant application des particules de sable, une imprégnation du module en bois sur

20 une épaisseur d'au moins 0,1 mm et notamment sur une épaisseur appartenant à la gamme allant de 0,1 à 0,5 mm, en particulier de 0,3 mm.

3 - Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'à l'issue de l'étape b), après répartition des particules de sable, au moins une partie de la surface accessible des particules de sable est non recouverte de

25 composition thermodurcissable.

4 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le diamètre moyen D des particules de sable (**10**) appartient à la gamme allant de 0,1 à 1,2mm, de préférence de 0,4 à 1,0 mm, et de notamment est égal à 0,5 mm environ.

30 **5** - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la composition thermodurcissable (**9**) est une résine époxy, en particulier bicomposante.

6 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la composition thermodurcissable (**9**) a une viscosité Brookfield, mesurée à 23 °C avant son application sur la surface de fixation, appartenant à la gamme allant de 2000 à 13000 mPa.s, et notamment allant de 5500 à 9500 mPa.S.

7 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la composition thermodurcissable est appliquée à l'étape b) sur la surface de fixation dudit module en bois de manière à former un film d'une épaisseur appartenant à la gamme allant de 0,1 à 0,5 mm, et notamment de 0,3 mm environ.

8 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le module en bois (**1**) comporte une ou plusieurs armatures de rigidification, de préférence de nature métallique et/ou composite.

9 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le module en bois (**1**) est en bois lamellé collé ou en bois massif.

10 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que les particules de sable (**10**) sont appliquées jusqu'à obtenir 100 à 1000 g de particules de sable par m² de surface de fixation du module en bois couverte de composition thermodurcissable, de préférence de 200 à 500 g/m², et en particulier de 200 à 300 g/m².

11 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le sable contient 30 à 50% m/m de silicate et 5 à 30% m/m d'alumine.

12 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le durcissement de la composition thermodurcissable est obtenu à l'étape c) par maintien à une température appartenant à la gamme allant de 10 à 35 °C, de préférence de 20 à 25 °C, pendant une période de 12 à 48 heures.

13 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que le coulage du béton à l'étape d) est réalisé sur différents modules de bois assemblés en caisson, résultant des étapes a) à c).

14 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que le béton est composé d'au moins un liant, constitué, de préférence, de ciment, de sable, de fumée de silice, d'eau, d'un adjuvant réducteur d'eau et éventuellement de fibres courtes, notamment de nature
5 métallique, minérale, organique et/ou composite.

15 - Élément de structure (**I**) obtenu par le procédé selon l'une quelconque de revendications 1 à 14.

16 - Élément de structure (**I**) comprenant au moins un module en bois (**1**) comportant une surface de fixation (**2**), et au moins un module en
10 béton (**3**), lié à ladite surface de fixation dudit module en bois par l'intermédiaire d'une zone de fixation comprenant une composition thermodurcie dans laquelle des particules de sable sont réparties, avec au moins certaines desdites particules de sable étant partiellement enrobées de composition thermodurcie.

15 **17** - Module en bois traité comprenant un module en bois comportant une surface de fixation avec une zone de fixation comprenant une composition thermodurcie dans laquelle des particules de sable sont réparties et, au moins certaines, desdites particules de sable sont partiellement enrobées de composition thermodurcie.

20 **18** - Élément de structure selon la revendication 16 ou module de bois traité selon la revendication 17, caractérisé en ce que la composition thermodurcissable est une résine époxy, en particulier bicomposante.

19 - Élément de structure ou module en bois traité selon l'une des revendications 16 à 18, caractérisé en ce que le sable contient 30 à
25 50% m/m de silicate et 5 à 30% m/m d'alumine.

20 - Élément de structure ou module en bois traité selon l'une des revendications 16 à 19, caractérisé en ce que le diamètre moyen D des particules de sable appartient à la gamme allant de 0,1 à 1,2 mm, de préférence de 0,4 à 1,0 mm, et notamment est égal à 0,5 mm environ.

21 - Élément de structure ou module en bois traité selon l'une des revendications 16 à 20, caractérisé en ce qu'au niveau de la zone de fixation, le module en bois est imprégné en surface de composition thermodurcie, notamment sur une profondeur d'au moins 0,1 mm, et notamment de 0,1 à 5 0,5 mm, et en particulier de 0,3 mm environ.

22 - Procédé de fabrication d'un module en bois traité comprenant les étapes successives suivantes :

- a) fournir un module en bois comportant une surface de fixation,
- b) appliquer, sur la surface de fixation dudit module en bois, une
10 composition thermodurcissable, puis répandre des particules de sable sur ladite surface de fixation recouverte de composition thermodurcissable, et
- c) obtenir le durcissement de la composition thermodurcissable.

23 - Module en bois traité obtenu par le procédé selon la
15 revendication 22.

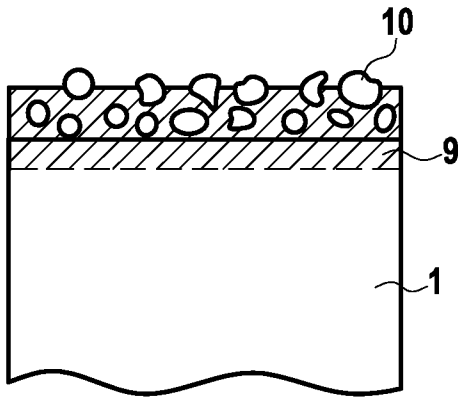


FIG.1A

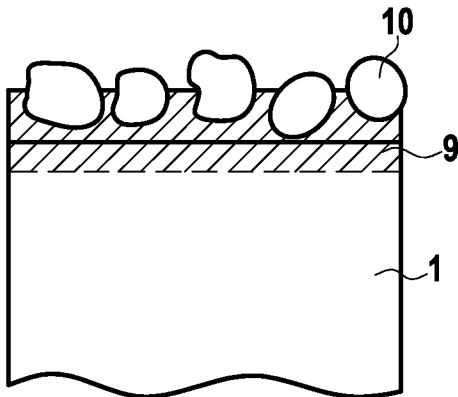


FIG.1B

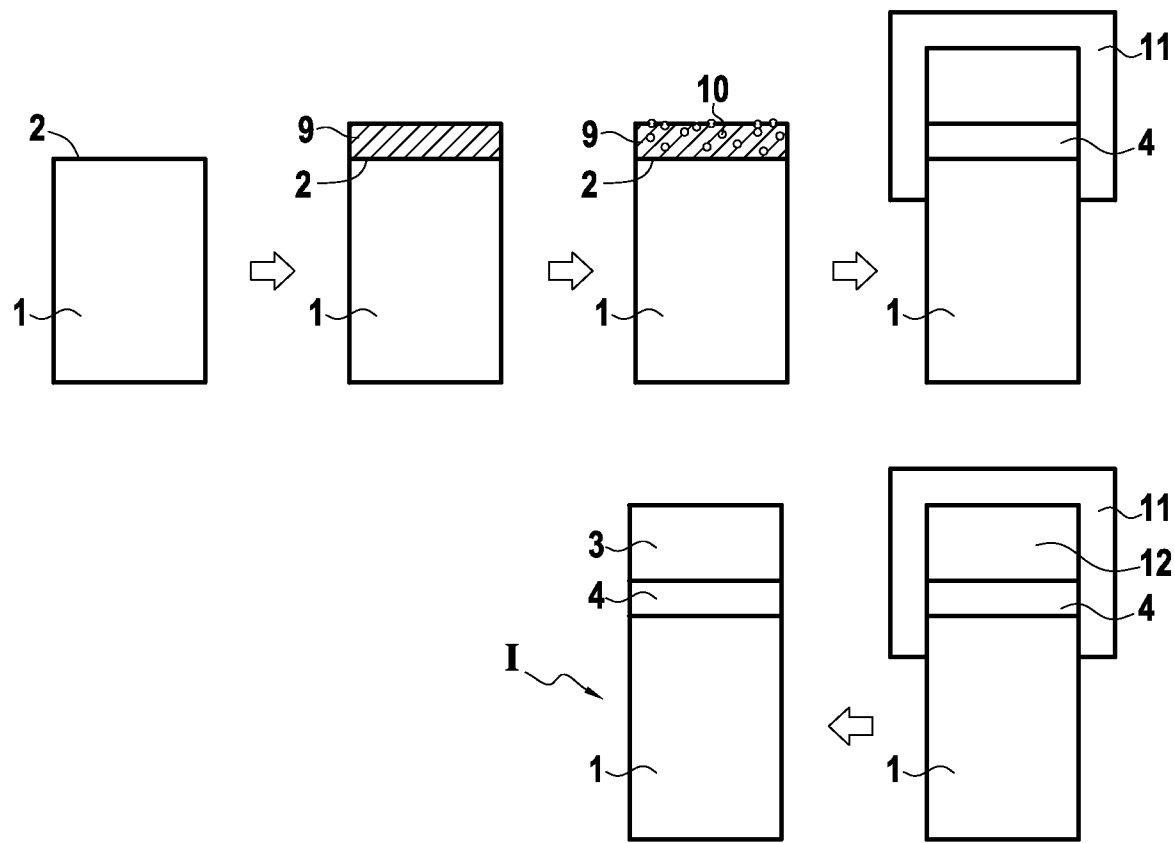


FIG.2

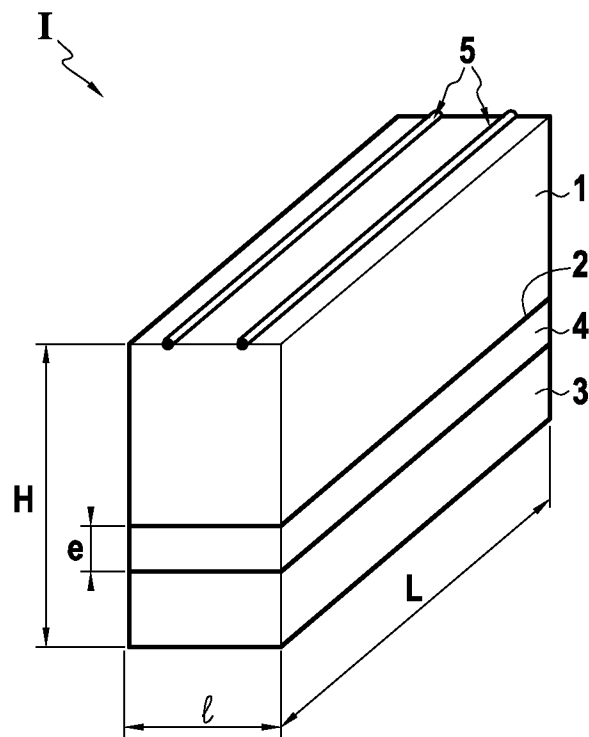


FIG.3

3/7

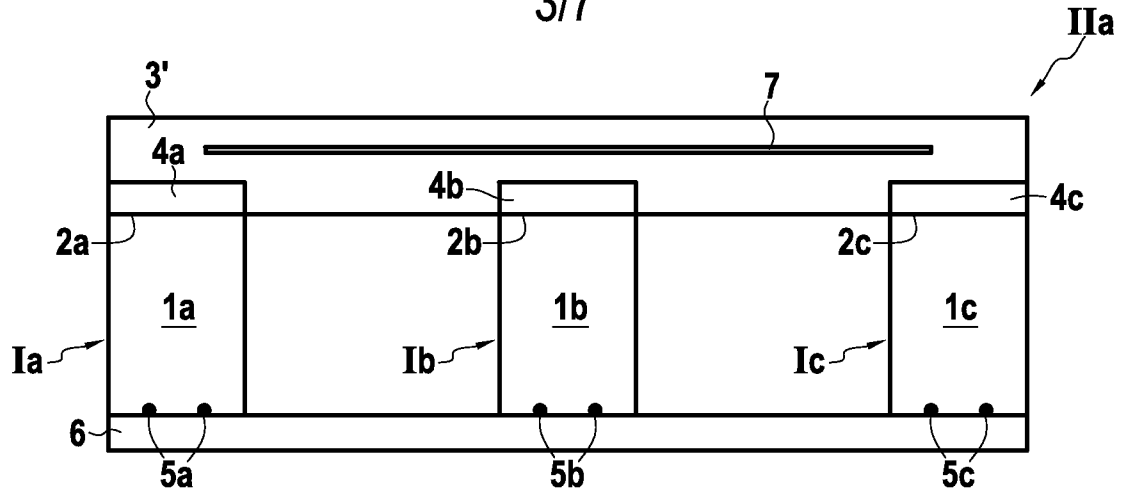


FIG.4A

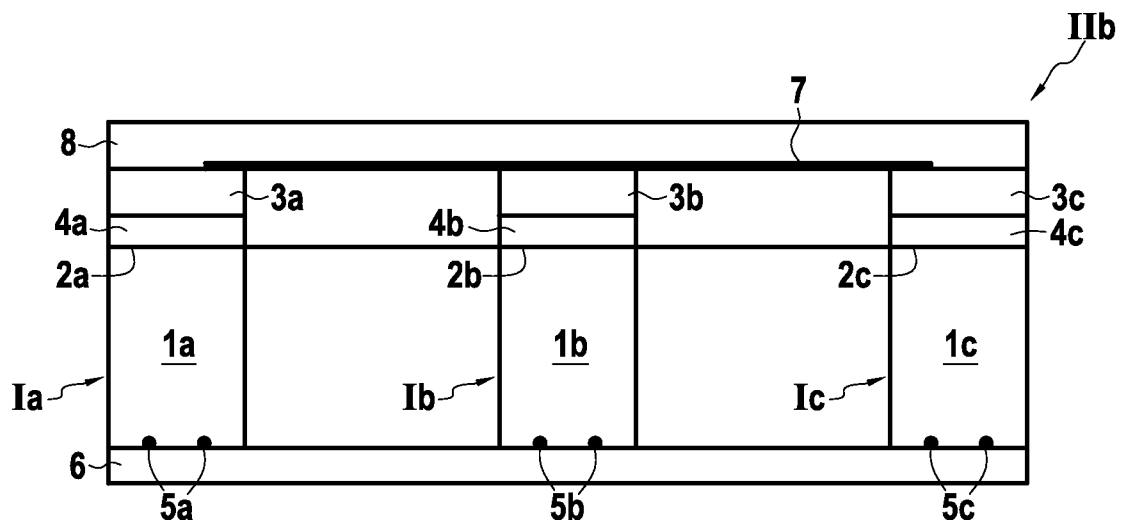


FIG.4B

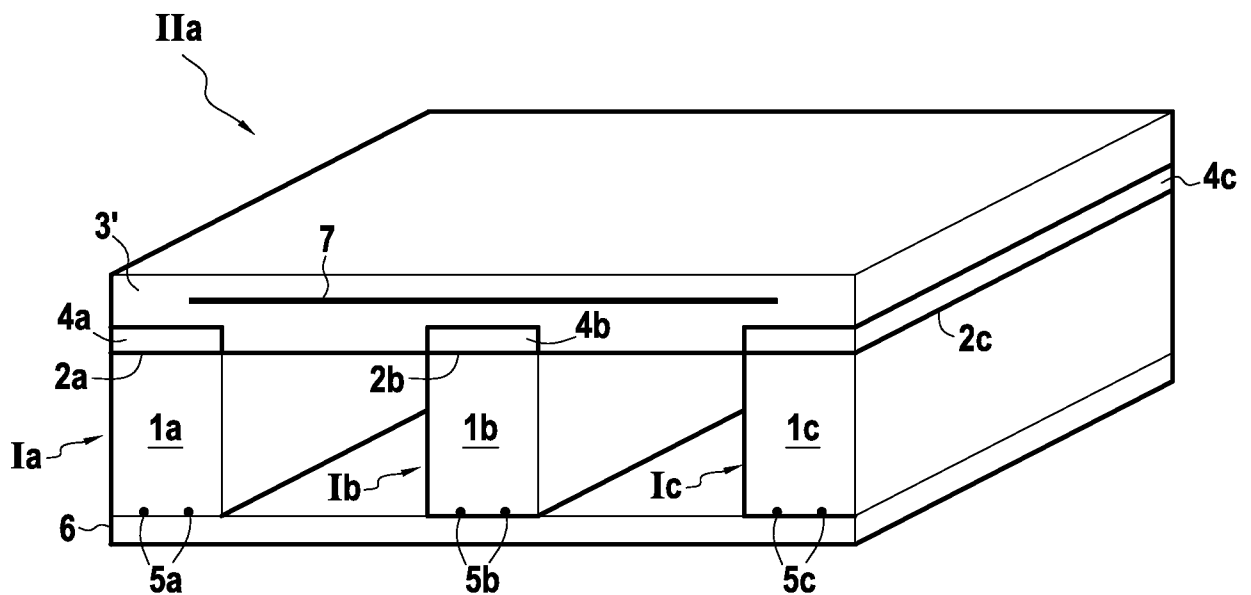


FIG.4C

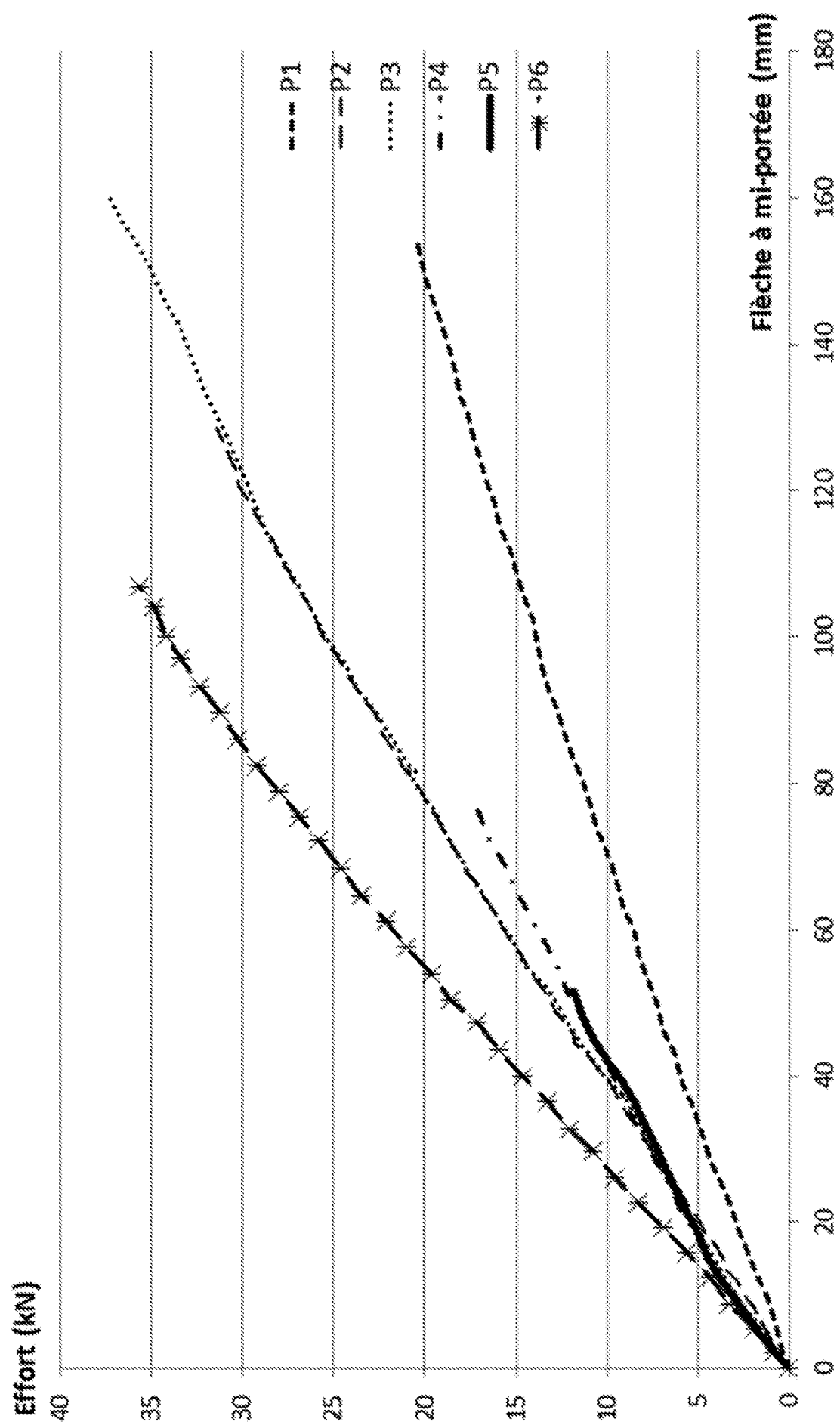


FIG.5

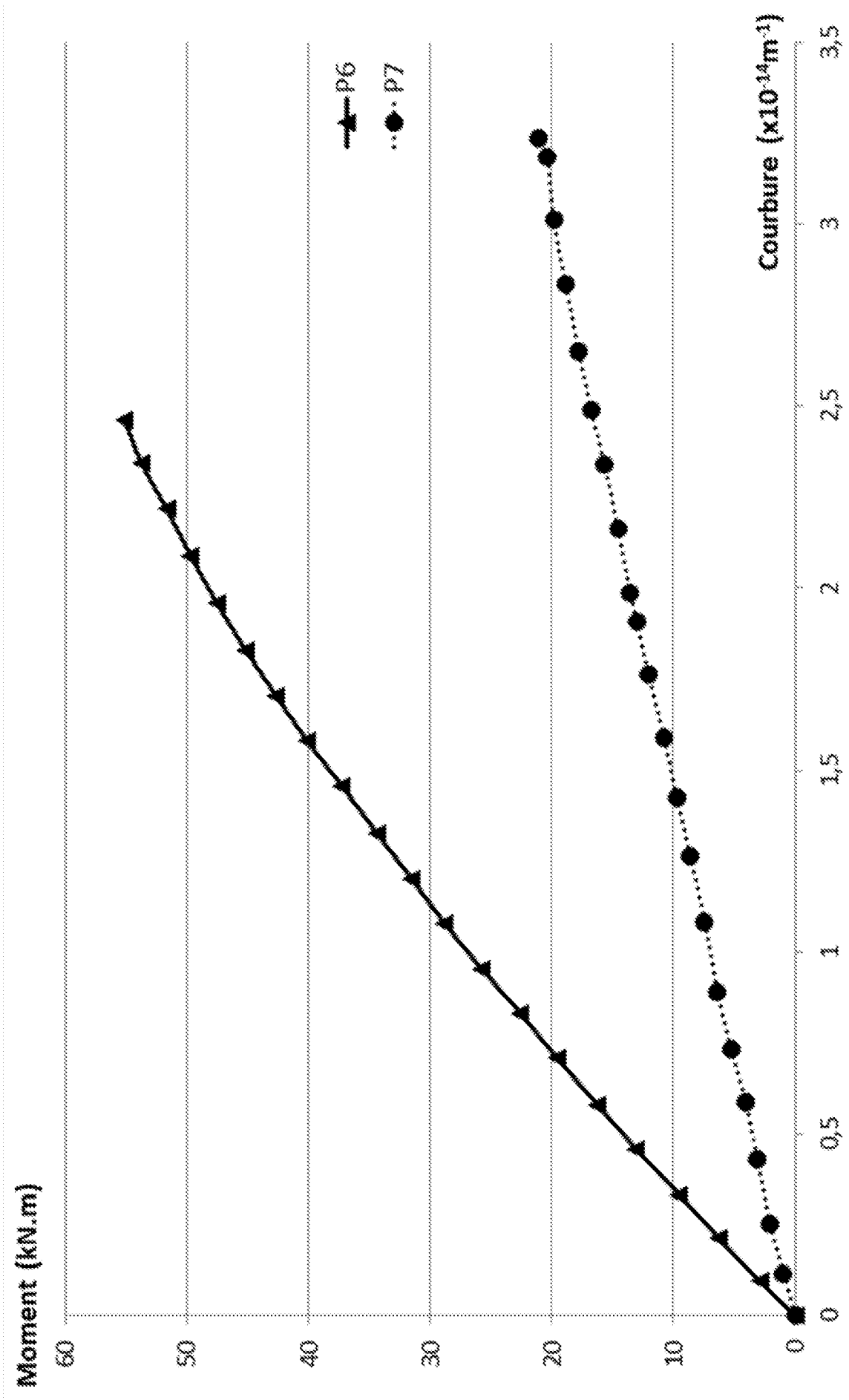


FIG.6

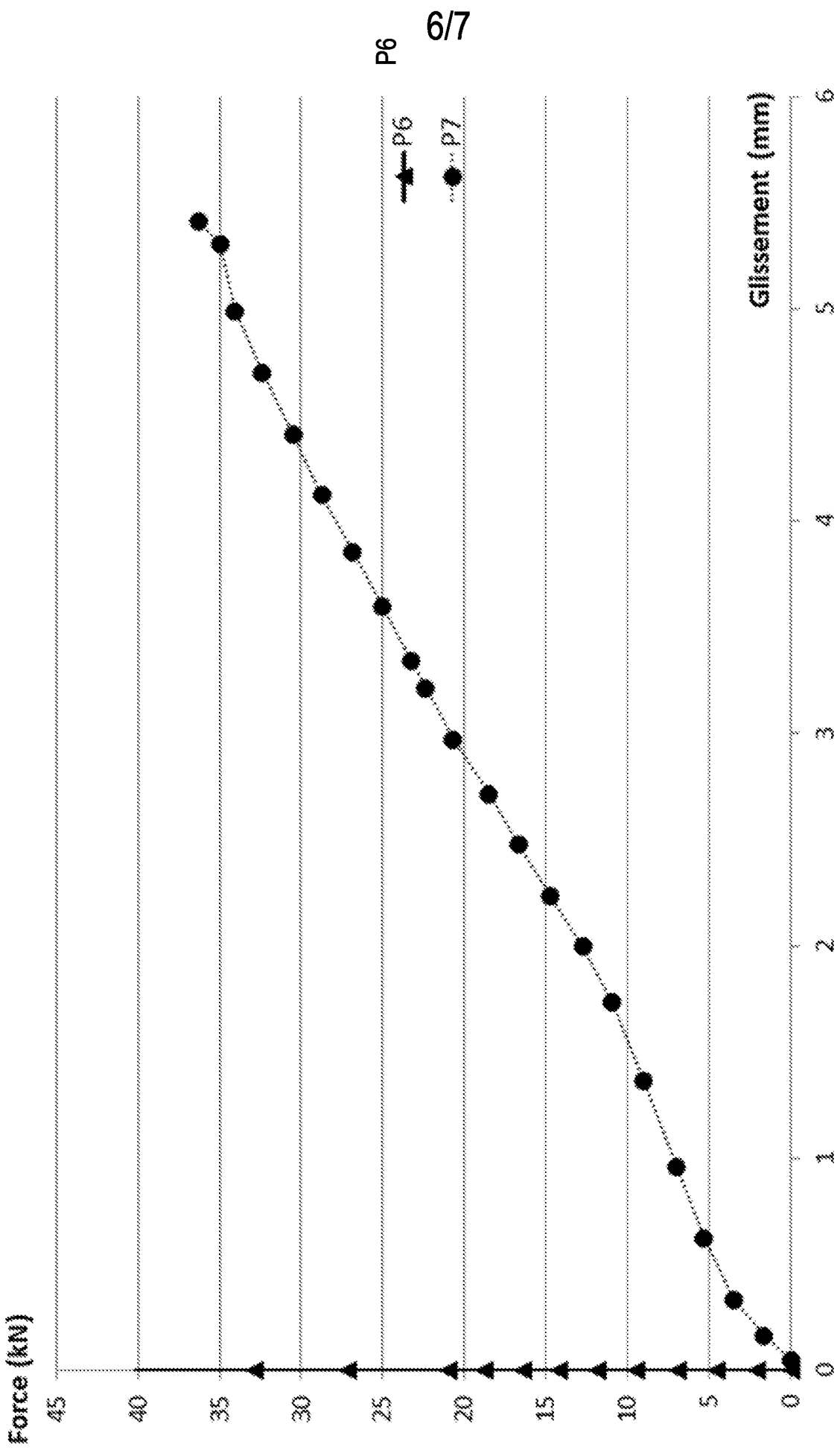


FIG.7

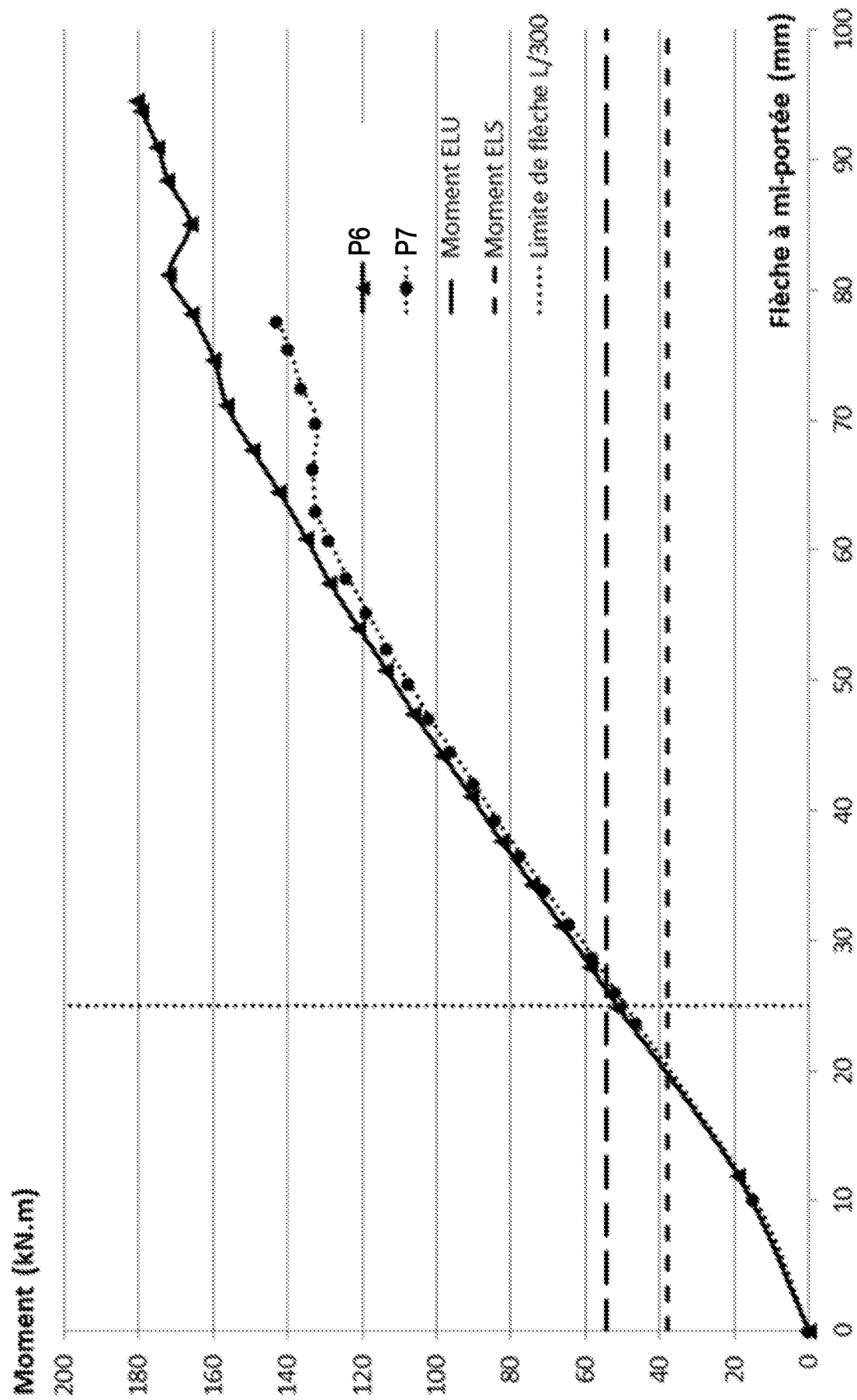


FIG.8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2018/051734

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. E04C3/29

ADD. E04B5/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

E04C E04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2016 001183 A1 (LIGNOTREND GMBH & CO KG [DE]) 31 March 2016 (2016-03-31) paragraph [0021] - paragraph [0035]; claims 1,11; figures 1-4,6,7,10 -----	1-23
A	WO 99/02796 A1 (SIKA AG [CH]) 21 January 1999 (1999-01-21) the whole document -----	1-23
A	EP 2 063 037 A1 (LIGNOTREND AG [CH]) 27 May 2009 (2009-05-27) the whole document -----	1-23



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 November 2018

Date of mailing of the international search report

13/11/2018

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lopes, Claudia

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2018/051734

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102016001183 A1	31-03-2016	DE 102016001183 A1	31-03-2016
		EP 3202567 A1	09-08-2017

WO 9902796 A1	21-01-1999	CA 2295561 A1	21-01-1999
		DE 19729058 A1	14-01-1999
		EP 0994990 A1	26-04-2000
		JP 2002511910 A	16-04-2002
		WO 9902796 A1	21-01-1999

EP 2063037 A1	27-05-2009	DE 102007055258 A1	28-05-2009
		DE 202007018856 U1	23-07-2009
		EP 2063037 A1	27-05-2009

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2018/051734

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. E04C3/29

ADD. E04B5/12

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

E04C E04B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DE 10 2016 001183 A1 (LIGNOTREND GMBH & CO KG [DE]) 31 mars 2016 (2016-03-31) alinéa [0021] - alinéa [0035]; revendications 1,11; figures 1-4,6,7,10 -----	1-23
A	WO 99/02796 A1 (SIKA AG [CH]) 21 janvier 1999 (1999-01-21) le document en entier -----	1-23
A	EP 2 063 037 A1 (LIGNOTREND AG [CH]) 27 mai 2009 (2009-05-27) le document en entier -----	1-23



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

5 novembre 2018

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

13/11/2018

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Lopes, Claudia

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2018/051734

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102016001183 A1	31-03-2016	DE 102016001183 A1	31-03-2016
		EP 3202567 A1	09-08-2017

WO 9902796 A1	21-01-1999	CA 2295561 A1	21-01-1999
		DE 19729058 A1	14-01-1999
		EP 0994990 A1	26-04-2000
		JP 2002511910 A	16-04-2002
		WO 9902796 A1	21-01-1999

EP 2063037 A1	27-05-2009	DE 102007055258 A1	28-05-2009
		DE 202007018856 U1	23-07-2009
		EP 2063037 A1	27-05-2009
