

(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
09 novembre 2017 (09.11.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/191404 A1

(51) Classification internationale des brevets :

E04B 1/35 (2006.01) *B28B 3/20* (2006.01)
E04B 2/86 (2006.01) *B28B 7/34* (2006.01)
E04G 21/04 (2006.01) *B28B 19/00* (2006.01)
B28B 1/00 (2006.01) *B29C 67/00* (2017.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2017/051042

(22) Date de dépôt international :

02 mai 2017 (02.05.2017)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1653966 02 mai 2016 (02.05.2016) FR

(71) **Déposants** : UNIVERSITE DE NANTES [FR/FR] ;
1 Quai de Tourville, 44000 NANTES (FR). **CENTRE
NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**
[FR/FR] ; 3 rue Michel Ange, 75016 PARIS (FR).

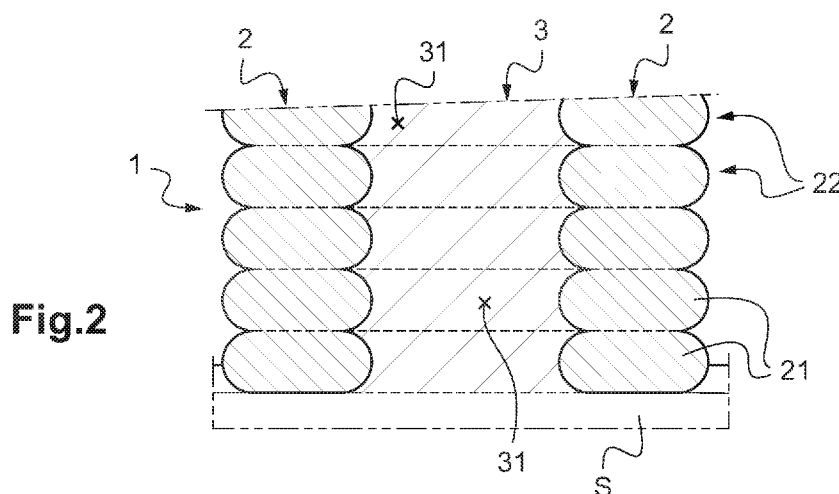
(72) **Inventeurs** : **FURET, Benoit** ; 19 avenue Fabre
d'Eglantine, 44300 NANTES (FR). **GARNIER, Sébastien**
; 17 route de la noue verrière, 44240 La Chapelle sur Erdre
(FR). **PAQUET, Elodie** ; 2 rue des courtillets, 44360 Le
Temple de Bretagne (FR). **POULLAIN, Philippe** ; 1 rue de
Bretagne Les Nénuphars, 44410 Saint Lyphard (FR). **LEK-
LOU, Nordine** ; 28-1 Allée Georges Rolland, 44600 Saint
Nazaire (FR).

(74) **Mandataire** : **ORSINI, Fabienne** et al. ; Cabinet HARLE
PHELIP, 32 rue de l'Arcade, 75008 PARIS (FR).

(81) **États désignés** (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,

(54) **Title**: METHOD FOR CONSTRUCTING A BUILDING WALL BY ADDITIVE MANUFACTURING

(54) **Titre** : PROCÉDÉ POUR LA CONSTRUCTION D'UN MUR DE BÂTIMENT PAR FABRICATION ADDITIVE



(57) **Abstract**: The invention relates to a method for constructing a building wall (1) by additive manufacturing. The method comprises: an operation of additive manufacturing of at least one structural wall (3) obtained by stacking consecutive layers (31) of a structuring material, said consecutive layers (31) being distributed in a non-solid form; and an operation of additive manufacturing of two outer walls (2) made of expanded foam, which are arranged opposite to and spaced apart from one another in order to serve as a formwork for said at least one structuring wall (3), said outer walls (2) each being manufactured by stacking consecutive layers which are distributed consecutively in a non-solid form, if need be after the hardening and expansion of the underlying layer (21). These manufacturing operations are adapted so that at least one layer (31) of said at least one structuring wall (3) is distributed between the layers (21) of at least one pair of layers (22) of said two outer walls (2), after the hardening and expansion of said at least one pair of layers (22).

(57) **Abstrégé** : L'invention concerne un procédé pour la construction d'un mur de bâtiment (1) par fabrication additive. Ce procédé comprend : - une opération de fabrication additive d'au moins une paroi structurante (3) obtenue par empilement de strates (31) successives d'un matériau structurant, lesdites strates (31) successives étant distribuées sous forme non solide, et - une opération de fabrication

[Suite sur la page suivante]

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, 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.

(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))

additive de deux parois extérieures (2) réalisées en mousse expansée, qui sont ménagées en regard et à distance l'une de l'autre pour servir de coffrage à ladite au moins une paroi structurante (3), lesquelles parois extérieures (2) sont chacune fabriquées par empilement de strates successives qui sont distribuées successivement sous forme non solide, le cas échéant après durcissement et expansion de la strate (21) sous-jacente. Ces opération de fabrication sont ajustées de sorte qu'au moins une strate (31) de ladite au moins une paroi structurante (3) est distribuée entre les strates (21) d'au moins une paire de strates (22) desdites deux parois extérieures (2), après durcissement et expansion de ladite au moins une paire de strates (22).

PROCEDE POUR LA CONSTRUCTION D'UN MUR DE BATIMENT PAR FABRICATION ADDITIVE

DOMAINE TECHNIQUE AUQUEL SE RAPPORTE L'INVENTION

La présente invention concerne le secteur des bâtiments et travaux
5 publics, et plus particulièrement celui du gros-œuvre.

Elle concerne plus précisément un procédé pour la construction d'un mur
de bâtiment par fabrication additive, dans lequel une paroi structurante est
obtenue par empilement de strates successives d'un matériau structurant distribué
sous forme non solide.

10

ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE

Le secteur des bâtiments et travaux publics, et plus particulièrement celui
du gros-œuvre, connaît une hausse régulière des coûts de construction.

Ce phénomène s'explique notamment par l'augmentation du coût des
15 matières premières et de la main d'œuvre, mais aussi par l'existence de normes et
de réglementations toujours plus exigeantes dans le domaine du bâtiment.

En particulier, la plupart des opérations liées à la construction de
bâtiments sont encore peu mécanisées et requièrent la mise en œuvre manuelle
de matériaux par les ouvriers.

20 La lourdeur des charges et la répétitivité des gestes sont en plus à
l'origine de troubles musculo-squelettique chez les ouvriers, ce qui contribue à
l'image de pénibilité associée à ce type d'emploi.

Pour palier à ces difficultés, l'industrie du bâtiment s'intéresse au
développement de nouveaux procédés de construction par fabrication additive
25 dans lesquels la paroi structurante du bâtiment est obtenue par empilement de
strates successives d'un matériau structurant distribué sous forme non solide,
avantageusement sous forme liquide (le cas échéant après durcissement de la
strate sous-jacente).

Mais les techniques actuelles de fabrication additive nécessitent de
30 préfabriquer les éléments de construction sur machines en atelier, avant leur
transport sur le lieu de la construction. De plus, elles ont bien souvent besoin de
structures de coffrage qui rendent plus complexe leur mise en œuvre.

Il existe par conséquent un besoin, et tout au moins un intérêt, pour le
développement de nouveaux procédés de construction par fabrication additive qui

seraient plus simples à mettre en œuvre et cela directement sur le chantier de la construction.

OBJET DE L'INVENTION

5 Afin de remédier aux inconvénients précités de l'état de la technique, la présente invention concerne un nouveau procédé pour la construction d'un mur de bâtiment par fabrication additive.

 Ce procédé de construction comprend une opération de fabrication additive d'au moins une paroi structurante obtenue par empilement de strates
10 successives d'un matériau structurant, lesdites strates successives étant distribuées sous forme non solide, avantageusement une forme liquide.

 Et conformément à l'invention, le procédé de construction correspondant comprend une opération de fabrication additive de deux parois extérieures réalisées en mousse expansée, qui sont ménagées en regard et à distance l'une
15 de l'autre pour servir de coffrage à ladite au moins une paroi structurante.

 Ces parois extérieures sont chacune fabriquées également par empilement de strates successives qui sont distribuées successivement sous forme non solide, avantageusement une forme liquide, le cas échéant après durcissement et expansion de la strate sous-jacente.

20 Et au moins une strate de ladite au moins une paroi structurante est distribuée entre les strates d'au moins une paire de strates desdites deux parois extérieures, après durcissement et expansion de ladite au moins une paire de strates.

 Dans ce procédé selon l'invention, les deux parois extérieures vont ainsi
25 permettre de tenir, de guider et de « mouler », ladite au moins une paroi structurante rapportée entre elles. Ces deux parois extérieures vont ainsi participer à la mise en forme de ladite au moins une paroi structurante.

 Les parois extérieures et ladite au moins une paroi structurante sont réalisées dans des matériaux à fonctionnalités différenciées, à savoir
30 avantageusement :

- des caractéristiques de résistance et de portance assurées par ladite au moins une paroi structurante, et

- des caractéristiques d'isolation thermique et d'étanchéité à l'air assurées par les deux parois extérieures.

Un tel procédé selon l'invention présente de nombreux intérêts techniques et économiques, à savoir :

- la répétabilité du procédé de construction (diminution de l'aléa de construction, moindre risque de malfaçon, standardisation de la construction, meilleure gestion des interfaces, etc.) ;
- la facilité de mise en œuvre (plus faible pénibilité, main d'œuvre réduite) ;
- la diminution du temps de construction ;
- la possibilité de construire des bâtiments de formes complexes, sans complexification de la tâche de dépose ;
- la limitation et le recyclage des déchets de chantier par le fait que les matériaux déposés sont complètement exploités pour leurs fonctions primaires ;
- il n'y a pas de découpe d'isolants, ni de coffrages spécifiques à éliminer ;
- l'utilisation de matériaux bio-sourcés est tout à fait envisageable avec un procédé selon l'invention ;
- la mise en œuvre directement sur le site de la construction, avec éventuellement l'utilisation de matériaux présents sur place.

D'autres caractéristiques non limitatives et avantageuses du procédé conforme à l'invention, prises individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles, sont les suivantes :

- les opérations de fabrication additive sont mises en œuvre de sorte que lesdites parois sont fabriquées parallèlement, tout en préservant une hauteur définie par la paire de strates sus-jacentes des deux parois extérieures qui est supérieure par rapport à la hauteur définie par la strate sus-jacente de ladite au moins une paroi structurante ; dans ce cadre, de préférence, les opérations de fabrication additive sont mises en œuvre de sorte que l'on rapporte simultanément : une paire de strates des deux parois extérieures, sur une paire de strates sous-jacente desdites deux parois extérieures, et une strate de ladite au moins une paroi structurante, entre les strates de ladite paire de strates sous-jacente desdites deux parois extérieures ;
- une strate de ladite au moins une paroi structurante comporte un premier temps de durcissement t_1 qui est supérieur à un second temps de durcissement t_2 d'une strate des parois extérieures, et une nouvelle strate

desdites parois extérieures et de ladite au moins une paroi structurante est rapportée après un temps t' , supérieur ou égal audit premier temps de durcissement t_1 ; dans ce cas, ledit premier temps de durcissement t_1 (avantageusement durcissement partiel) est avantageusement compris entre 3 et

5 15 minutes ;

- le procédé comprend (i) une phase initiale au cours de laquelle au moins une première strate desdites deux parois extérieures est distribuée sur une surface de réception, puis après durcissement desdites premières strates, (ii) une phase d'élévation, comprenant les opérations de fabrication additive de ladite au
10 moins une paroi structurante et desdites parois extérieures, dans lesquelles au moins une strate de ladite au moins une paroi structurante est distribuée entre les strates d'au moins une paire de strates desdites deux parois extérieures, après durcissement et expansion desdites strates ; dans ce cas, lors de la phase initiale, un liant transversal est avantageusement appliqué de manière sélective, pour
15 maintenir ensemble les strates juxtaposées ;

- les parois extérieures ont des épaisseurs identiques, ou différentes, l'une par rapport à l'autre ;

- les parois extérieures sont réalisées dans un matériau choisi parmi le polyuréthane, l'icynène, le polystyrène, l'amidon de maïs, la cellulose, la fibre de
20 bois comprimée, le liège expansé, les composites, les mousses expansives ;

- ladite au moins une paroi structurante est réalisée dans un matériau choisi parmi le béton, les matériaux à matrice cimentaire ou tout autre matériau dont la prise ou le séchage assurent la tenue mécanique du matériau (chaux, terre crue, géo polymères, cendres volantes, argile) ;

25 - après durcissement, une strate des parois extérieures présente de 1 à 10 cm de hauteur, et de 2 à 20 cm de largeur ;

- les deux parois extérieures sont écartées d'une distance horizontale comprise entre 5 cm et 30 cm ;

- les strates des parois extérieures présentent un temps de durcissement
30 compris entre 15 s et 15 min ;

- la vitesse de distribution des strates est comprise entre 0,5 m et 15 m par minute.

Selon un mode de réalisation particulier du procédé selon l'invention, les opérations de fabrication additive sont mises en œuvre au moyen d'un dispositif

de fabrication comprenant :

- une tête distributrice comprenant deux buses latérales et au moins une buse intercalaire, lesdites buses étant avantageusement réglables,
- des premiers moyens pour l'alimentation des buses latérales avec au moins un matériau non solide (avantageusement une forme liquide) destiné à former les parois extérieures, de préférence deux matériaux non solides destinés à être mélangés au niveau desdites buses latérales,
- des seconds moyens pour l'alimentation de ladite au moins une buse intercalaire avec un matériau non solide (avantageusement une forme liquide) destiné à former ladite au moins une paroi structurante,
- des moyens pour la manœuvre dans l'espace de ladite tête distributrice,
- des moyens de commande, pour le pilotage desdits moyens d'alimentation et desdits moyens de manœuvre.

Dans ce cadre, les moyens de manœuvre consistent avantageusement en un bras robot polyarticulé qui peut être porté par un châssis mobile motorisé.

La présente invention concerne encore un mur de bâtiment, issu d'un procédé de construction selon l'invention, comprenant deux parois extérieures réalisées en mousse expansée, entre lesquelles est coulée au moins une paroi structurante, cette dernière épousant lesdites parois extérieures pour former un ensemble monobloc.

DESCRIPTION DETAILLEE D'UN EXEMPLE DE REALISATION

La description qui va suivre en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs, fera bien comprendre en quoi consiste l'invention et comment elle peut être réalisée.

Sur les dessins annexés :

- la figure 1 est une vue générale et en perspective d'un chantier au sein duquel est mis en œuvre le procédé de construction par fabrication additive selon l'invention ;
- la figure 2 représente, schématiquement et en coupe verticale, un mur de bâtiment issu du procédé de construction selon la figure 1 ;
- la figure 3 se compose de figures 3A à 3D qui illustrent schématiquement les principales étapes du procédé de construction pour

l'obtention du mur de bâtiment selon la figure 2 ;

- la figure 4 représente, de manière schématique, un mode de réalisation particulier d'une tête distributrice destinée à équiper le dispositif de fabrication pour la mise en œuvre du procédé de construction selon l'invention.

5 Tel que représenté de manière générale et schématique sur la figure 1, le procédé selon l'invention est destiné à permettre la construction de murs 1 destinés à former un bâtiment (par exemple une habitation individuelle ou collective).

10 Par « mur », on entend notamment les murs extérieurs du bâtiment, mais aussi les murs intérieurs formant les cloisons destinées à délimiter ses pièces.

De manière avantageuse, le procédé de construction selon l'invention peut être mis en œuvre au sein du chantier de construction de ce bâtiment, de sorte que les murs 1 soient construits directement sur leur surface de réception S (par exemple sur une dalle en béton).

15 Le procédé de construction selon l'invention appartient au domaine des procédés de construction par fabrication additive, dit encore des « procédés de construction par impression tridimensionnelle ».

20 Le mur de bâtiment 1 est ainsi obtenu grâce à un procédé de fabrication, avantageusement assisté par ordinateur, consistant à empiler des strates successives de matériaux qui sont distribuées sous forme non solide (avantageusement une forme liquide) et qui sont destinées à durcir (au moins partiellement) avant dépose d'une nouvelle strate sus-jacente.

Mur de bâtiment

25 Le mur de bâtiment 1, issu du procédé de construction selon l'invention, est du genre « multi-parois » (figure 2).

Ce mur de bâtiment 1 comprend ainsi deux parois extérieures 2 prenant en sandwich une paroi structurante 3.

30 Les parois extérieures 2 sont chacune réalisées par fabrication additive d'un empilement de strates 21 successives d'une mousse expansée (ou « mousse expansive »).

Cette mousse expansée présente par exemple l'une au moins des caractéristiques suivantes :

- une masse volumique comprise entre 10 et 100 kg/m³ ;

- une résistance à la pression d'au minimum 8 N/cm^2 .

Cette mousse expansée doit être résistante mécaniquement afin de pouvoir recevoir une nouvelle strate 21 sans s'affaisser, tout en assurant une bonne adhésion à la paroi structurante 3 ; elle doit avantageusement pouvoir être
5 pompée pour sa distribution.

Par « mousse expansée », on englobe un matériau choisi parmi le polyuréthane, l'lcynène, le polystyrène, l'amidon de maïs, la cellulose, la fibre de bois comprimée, le liège expansé, les composites et les mousses expansives.

Cette mousse expansée peut être mono-composante, ou multi-
10 composantes (par exemple bi-composantes).

Les parois extérieures 2 présentent des épaisseurs identiques, ou différentes, l'une par rapport à l'autre. Par exemple, cette épaisseur est comprise entre 2 à 20 cm.

La mousse expansée comporte avantageusement des caractéristiques
15 d'isolation thermique, avec par exemple un coefficient de transfert thermique compris entre $0,05$ et $0,5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$; ces deux parois extérieures 2 forment ainsi des peaux isolantes.

La paroi structurante 3 est également réalisée par fabrication additive d'un empilement de strates 31 successives, en l'occurrence d'un matériau
20 structurant.

Ce matériau structurant doit être résistant mécaniquement afin de pouvoir recevoir une nouvelle strate 31 sans s'affaisser, tout en assurant une bonne adhésion aux parois extérieures 2 ; il doit avantageusement pouvoir être pompé pour sa distribution.

25 Ce matériau structurant est avantageusement choisi parmi le béton, les matériaux à matrice cimentaire ou tout autre matériau dont la prise (ou le séchage) assure la tenue mécanique du matériau (chaux, terre crue, géo polymère, cendres volantes, argile).

Ce matériau structurant peut intégrer différents compléments (charges
30 ou additifs notamment), à savoir par exemple des granulats, des fibres métalliques, des fibres de polypropylène ou polymère, des « broyats » issus de recyclages ou des fibres végétales (biomatériaux, fibres de miscanthus, fibres de chanvre, paille, etc.).

La paroi structurante 3 est destinée à être coulée entre les deux parois

extérieures 2 qui servent de coffrage ; cette paroi structurante 3 épouse ainsi les deux parois extérieures 2 (plus précisément leurs faces internes en regard) pour former un ensemble monobloc.

5 Cette paroi structurante 3 comporte par exemple une épaisseur comprise entre 5 cm et 30 cm, correspondant encore à l'écartement des deux parois extérieures 2.

Par exemple, un mur porteur comporte avantageusement une paroi structurante 3 dont l'épaisseur est comprise entre 15 et 30 cm ; un mur non-porteur comporte avantageusement une paroi structurante 3 dont l'épaisseur est
10 comprise entre 5 et 20 cm.

De manière alternative et non représentée, le mur de bâtiment 1 selon l'invention peut comporter au moins deux parois structurantes 3 qui sont ménagées entre les parois extérieures 2.
Ces parois structurantes 3 sont alors séparées l'une de l'autre, par exemple par le
15 biais d'une paroi intercalaire ou par des lattices (par exemple réalisée dans un matériau isolant).

Encore selon un mode de réalisation particulier, non représenté, des liants transversaux peuvent être interposés à l'interface entre les parois extérieures 2 et ladite au moins une paroi structurante 3.

20 Les liants transversaux consistent par exemple en des éléments allongés, notamment du type cordelettes de faibles diamètres ou du type bandelettes tressées.

Les éléments allongés sont réalisés avantageusement en matière synthétique, par exemple un matériau polymère (choisi avantageusement parmi le
25 nylon et le polypropylène).

Ces éléments allongés s'étendent avantageusement horizontalement, répartis sur la hauteur de l'interface précitée.

Toujours selon un mode de réalisation particulier, non représenté, la surface extérieure des parois extérieures 2 (à l'opposé de la paroi structurante 3)
30 peut être recouverte d'un parement de finition, par exemple un enduit de finition, des plaques de plâtre, un bardage, des lambris ou tout autre élément de finition de parois.

Procédé de construction

Tel qu'illustré schématiquement sur la figure 3, le mur de bâtiment 1 est issu d'un procédé de construction par fabrication additive (dit encore « procédé d'impression tridimensionnelle ») qui comprend des opérations de fabrication additive de ses différentes parois 2, 3.

5 En particulier, chacune des parois 2, 3 est obtenue par une opération de fabrication additive : des strates 21, 31 successives sont distribuées sous forme non solide (avantageusement liquide), pour obtenir un empilement de strates 21, 31 formant la paroi 2, 3 correspondante.

10 La distribution des strates 21 des parois extérieures 2 est réalisée après durcissement/expansion, partiel ou complet, d'une strate sous-jacente de mousse.

La distribution des strates 31 de la paroi structurante 3 peut être réalisée après durcissement complet de la strate sous-jacente, ou avantageusement avant durcissement complet de cette strate sous-jacente (durcissement partiel).

15 Sans être limitatif, la strate sous-jacente de la paroi structurante 3 n'est pas nécessairement totalement durcie pour accueillir la strate suivante ; en fait, ce sont surtout les parois extérieures 2 qui doivent comporter un durcissement suffisant pour servir de coffrage aux strates de la paroi structurante 3.

20 Par « strate », on entend en particulier une couche longitudinale d'un empilement de couches longitudinales, déposée sous forme non solide (avantageusement sous forme fluide, de préférence encore sous forme liquide), le cas échéant sur une couche sous-jacente.

25 De manière générale, par « durcissement », on englobe avantageusement un durcissement « complet » ou « partiel ». Un tel durcissement correspond avantageusement à une strate qui comporte une tenue par elle-même (avec notamment une certaine tenue latérale), et qui est apte à supporter (au moins partiellement) la ou les strates sus-jacentes.

Encore de manière générale, pour assurer la cohésion entre les strates, une strate sous-jacente est avantageusement encore au moins partiellement fluide au moment de la dépose de la strate sus-jacente.

30 Toujours de manière générale, le « temps de durcissement d'une strate » correspond avantageusement au temps nécessaire pour atteindre la résistance maximale à la compression de ladite strate, ou de préférence le temps nécessaire pour que la strate exerce une tenue par elle-même et puisse supporter la ou les strates supérieures (sus-jacentes).

En outre, l'opération de fabrication additive des deux parois extérieures 2, ménagées en regard et à distance l'une de l'autre, est coordonnée avec l'opération de fabrication additive de la paroi structurante 3. Les parois extérieures 2 servent alors de coffrage à la paroi structurante 3.

5 A cet égard, de manière générale, les strates 21 des deux parois extérieures 2 sont réparties par paires de strates 22 ; et pour chacune de ces paires 22, les strates 21 s'étendent dans un plan horizontal (ou au moins approximativement horizontal), à distance et en regard l'une de l'autre, avantageusement parallèlement l'une par rapport à l'autre.

10 Encore à cet égard, au moins une strate 31 de la paroi structurante 3 est distribuée entre les strates 21 d'au moins une paire de strates 22 desdites deux parois extérieures 2, cela après durcissement et expansion de ladite au moins une paire de strates 22.

15 Plus précisément, les opérations de fabrication additive des deux parois extérieures 2 et de la paroi structurante 3 sont avantageusement mises en œuvre de sorte que ces parois 2, 3 soient fabriquées parallèlement, concomitamment ou simultanément.

20 Cette fabrication parallèle est avantageusement ajustée de sorte que, tout au long de l'élévation du mur de bâtiment 1, la hauteur des parois extérieurs 2 (correspondant à la hauteur définie par la paire de strates 22 sus-jacente de ces parois 2) reste supérieure (ou égale) par rapport à la hauteur de la paroi structurante 3 (correspondant à la hauteur définie par la strate 31 sus-jacente de cette paroi 3).

25 En pratique, tel qu'illustré sur la figure 3A, le procédé de fabrication selon l'invention commence avantageusement par une phase initiale au cours de laquelle au moins une première paire de strates 22 des parois extérieures 2 est distribuée sur la surface de réception S.

30 L'écartement E des strates 21 de cette première paire de strates 22 est défini par l'écartement entre les faces internes en regard des deux parois extérieures 2 et, en corollaire, correspond à l'épaisseur de la paroi structurante 3.

Cet écartement E, et donc l'épaisseur de la paroi structurante 3, peut être évolutif tout au long de l'élévation du mur du bâtiment.

Par exemple, les strates 21 de cette première paire de strates 22 sont déposées avec un écartement E compris entre 5 cm et 30 cm.

Après un durcissement et expansion de cette première paire de strates 22, le procédé de construction se poursuit par une phase d'élévation comprenant les opérations de fabrication additive de la paroi structurante 3 et des parois extérieures 2, avantageusement de manière simultanée.

5 En l'espèce, tel qu'illustré au travers des figures 3B et 3C, cette phase d'élévation comprend une répétition d'étapes de distribution simultanée de strates 21, 31.

Au cours de chaque étape de distribution simultanée, il est ainsi déposé :

10 - une nouvelle paire de strates 22A sus-jacente des deux parois extérieures 2, sur une paire de strates 22B sous-jacente desdites parois extérieures 2 (correspondant à la paire de strates 22 déposée lors de l'étape de distribution précédente), et

 - une strate 31 de la paroi structurante 3, entre les strates 21 de ladite paire de strates 22B sous-jacente.

15 Cette caractéristique technique est intéressante pour monter les différents éléments du mur (parois extérieures et paroi structurante) à la même vitesse. L'élévation des différentes parois s'effectue ainsi avec un déphasage (avance d'au moins une strate pour les parois extérieures par rapport à la paroi structurante), mais à la même vitesse.

20 Chaque strate 21 des parois extérieures 2 est déposée de sorte que, après durcissement et expansion (complet ou partiel), celle-ci présente avantageusement une hauteur allant de 1 à 10 cm et une largeur allant de 2 à 20 cm.

 De même, la hauteur de chaque strate 31 de la paroi structurante 3 est
25 ajustée de sorte à correspondre, au moins approximativement, à la hauteur des strates 21 de la paire de strates 22B attenante (située au même niveau).

 Pour définir la fréquence de ces étapes de distribution simultanée de strates 21, 31, on tient compte en particulier du temps de durcissement t₁ des strates 31 de la paroi structurante 3 qui est normalement plus long que le temps
30 de durcissement t₂ des strates 21 des parois extérieures 2.

 De manière générale, le matériau de la paroi structurante 3 présente une résistance mécanique en compression qui augmente dans le temps du fait de l'évolution des réactions chimiques (par exemple, pour le béton, via une hydratation des différentes phases du ciment).

Ce temps de durcissement diffère en fonction de la composition du matériau.

De préférence, la fréquence de ces étapes de distribution simultanée est adaptée pour que la ou les strates 31 de la paroi structurante 3 des étapes de distribution précédentes puissent supporter la ou les nouvelles strates 31 rapportées, en combinaison avec les parois extérieures 2 qui permettent de compenser le temps de durcissement plus long du matériau de la paroi structurante 3.

Ainsi, en pratique, une étape de distribution simultanée de strates 21, 31 est avantageusement mise en œuvre selon un intervalle d'un troisième temps t' , supérieur ou égal au premier temps de durcissement t_1 (pour le matériau structurant).

De préférence, ce troisième temps t' correspond au temps nécessaire pour faire un tour de dépose des strates 21, 31 sur toute la longueur du mur de bâtiment 1 en cours d'élévation.

Par exemple et sans être limitatif :

- le premier temps de durcissement t_1 est compris entre 3 et 15 min,
- le premier temps de durcissement t_2 est compris entre 15 s et 15 min,

et

- le troisième temps t' , séparant deux étapes de distribution simultanée de strates 21, 31, est compris entre 10 et 20 min, suivant notamment l'architecture du mur à réaliser.

En outre, la vitesse moyenne de distribution longitudinale des strates 21, 31 est comprise de préférence entre 0,5 m et 15 m par minute.

Les étapes de distribution simultanée de strates 21, 31 sont renouvelées jusqu'à obtenir une hauteur souhaitée pour le mur de bâtiment 1 (par exemple entre 2 m et 3 m).

La phase d'élévation se termine avantageusement par une phase de finition au cours de laquelle au moins une strate 31 de la paroi structurante 3 est rapportée entre les strates finales 21 des parois extérieures 2 (après durcissement et expansion de ces dernières) (Figure 3D).

Cette phase de finition permet ainsi un nivellement de la paroi structurante 3 par rapport aux parois extérieures 2.

En option, lors de la phase d'élévation, le liant transversal précité peut

être déroulé par un va-et-vient, d'un côté à un autre du mur de bâtiment 1 en cours de construction, juste avant la distribution des strates 21 des parois extérieures 2.

5 Ce liant transversal est alors destiné à se retrouver emprisonné par la mousse expansée, à l'interface entre les parois 2, 3.

Par ailleurs, et seulement à titre d'exemple, la mousse expansée (constitutive des parois extérieures 2) peut être également délivrée transversalement, dans l'espace séparant les deux parois extérieures 2 et avant une strate 31 correspondante de la paroi structurante 3.

10 Cette mousse expansée forme alors avantageusement une sorte de cloison d'extrémité, participant au coffrage du matériau structurant lors de son coulage et le temps de son durcissement.

Cette approche peut être intéressante pour former par exemple des tableaux de baies de bâtiment qui sont destinés à recevoir les menuiseries (portes, fenêtres, etc.).

15 Encore par ailleurs, il est possible de réaliser des opérations de détournage par usinage de la mousse expansée, par exemple afin de parfaire la finition avant la pose d'une menuiserie.

20 Dispositif pour la mise en œuvre du procédé

Le procédé de fabrication peut être mis en œuvre au moyen d'un dispositif de fabrication 5 (figures 1 et 4) qui comprend une tête distributrice 6 (représentée plus en détails sur la figure 4) portée par des moyens 7 pour la manœuvre dans l'espace de ladite tête distributrice 6 (figure 1).

25 Les moyens de manœuvre 7 peuvent consister, et sans être limitatif, en un bras robot polyarticulé qui est porté par un châssis mobile motorisé (pour le déplacement de ce bras robot polyarticulé au sein du chantier de construction).

Ces moyens de manœuvre 7 forment ainsi avantageusement un robot anthropomorphique, permettant de réaliser différents procédés comme

30 l'impression du mur de bâtiment 1.

La tête distributrice 6 comprend plusieurs buses (ou «canules»), avantageusement juxtaposées selon un axe longitudinal, à savoir :

- deux buses latérales 61, pour la distribution (ou l'impression) de la mousse en cours d'expansion, sous forme liquide, et

- au moins une buse intercalaire 62, ici unique, agencée entre les deux buses latérales 61 pour la distribution (ou l'impression) du matériau structurant sous forme liquide.

5 En particulier, chaque buse 61, 62 est agencée de sorte à s'étendre sur le plan médian vertical de la strate 21, 31 distribuée à l'étape précédente.

Ces buses 61, 62 sont réglables, notamment en écartement, de manière à définir la position et l'agencement relatifs des différentes strates destinées à former le mur de bâtiment.

10 Ainsi, l'écartement entre les deux buses latérales 61 est avantageusement destiné à définir la distance transversale séparant les deux parois extérieures 2 du mur de bâtiment 1 obtenu (écartement $\underline{E}$).

Tel que représenté schématiquement sur la figure 4, la tête distributrice 6 est connectée à différents moyens d'alimentation 8 qui comprennent des réservoirs de produits associés à des pompes de fort débit.

15 Selon la figure 4, les moyens d'alimentation 8 comprennent :

- des premiers moyens 81 pour l'alimentation des buses latérales 61 avec au moins un matériau non solide (avantageusement liquide) destiné à former les parois extérieures 2, et

20 - des seconds moyens 82 pour l'alimentation de la buse intercalaire 62 avec un matériau non solide (avantageusement liquide) destiné à former la paroi structurante 3, à savoir par exemple un mélange structurant.

25 En l'espèce, les premiers moyens d'alimentation 81 sont adaptées à fournir deux matériaux liquides (bi-composants) qui sont destinés à être mélangés au niveau de chacune des buses latérales 61 pour obtenir et distribuer la mousse en cours d'expansion.

Pour la mise en œuvre des opérations de fabrication additive, le dispositif de fabrication 5 comprend encore des moyens de commande 9 (figure 1), pour le pilotage desdits moyens d'alimentation 8 et desdits moyens de manœuvre 7.

30 Ces moyens de commande 9 comprennent alors avantageusement un ordinateur comportant des moyens mémoires dans lesquels est enregistré un programme d'ordinateur et des instructions de trajectoire adaptés à l'architecture du mur de bâtiment 1 à construire.

Ce programme d'ordinateur comporte ainsi des moyens de code de programme qui sont adaptés à piloter lesdits moyens d'alimentation 8 et lesdits

moyens de manœuvre 7, tenant compte notamment desdites instructions de trajectoire, lorsque ledit programme d'ordinateur est exécuté par ledit ordinateur.

En l'espèce, pour la distribution d'une strate 21, 31 des parois 2, 3, la tête distributrice 6 est avantageusement manœuvrée dans un plan horizontal, selon une trajectoire prédéterminée et pilotée par les moyens de commande 9.

Au cours de cette manœuvre planaire, les moyens de commande 9 pilotent également les moyens d'alimentation 8 de sorte à assurer une distribution à façon des strates 21, 31 au travers des buses 61, 62 de la tête distributrice 6 (avantageusement de manière simultanée lors de la phase d'élévation).

Pour la dépose de nouvelles strates 21, 31 sur des strates 21, 31 durcies, les moyens de commande 9 pilotent les moyens de manœuvre 7 de sorte à positionner la tête distributrice 6 dans un nouveau plan horizontal qui est décalé verticalement vers le haut.

La hauteur de décalage correspond avantageusement à la hauteur d'une strate 21 des parois latérales 2.

Ensuite, comme évoqué ci-dessus, la tête distributrice 6 est à nouveau manœuvrée dans ce nouveau plan horizontal, selon une trajectoire prédéterminée, simultanément à une distribution pilotée du matériau structurant et/ou de la mousse expansée, pour former les nouvelles strates 21, 31.

L'épaisseur des différentes strates 21, 31 est notamment régulée par la vitesse de déplacement de la tête distributrice 6, par le débit de matière au travers des buses 61, 62, par la régularisation des températures appliquées aux bi-composants des parois et par la gestion des pressions appliquées dans les réservoirs de stockage des matières premières. Là encore, ces différents paramètres sont régulés par les moyens de commande 9.

De manière générale, le procédé selon l'invention pourrait être mis en œuvre par d'autres dispositifs de fabrication, par exemple au moyen d'un robot du type cartésien, un robot anthropomorphe à 6 ou 7 axes, un robot à câbles, etc.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour la construction d'un mur de bâtiment (1) par fabrication additive,

lequel procédé de construction comprend une opération de fabrication additive d'au moins une paroi structurante (3) obtenue par empilement de strates (31) successives d'un matériau structurant, lesdites strates (31) successives étant distribuées sous forme non solide,

caractérisé en ce que ledit procédé de construction comprend une opération de fabrication additive de deux parois extérieures (2) réalisées en mousse expansée, qui sont ménagées en regard et à distance l'une de l'autre pour servir de coffrage à ladite au moins une paroi structurante (3),

lesquelles parois extérieures (2) sont chacune fabriquées par empilement de strates (21) successives qui sont distribuées successivement sous forme non solide, le cas échéant après durcissement et expansion de la strate (21) sous-jacente,

et en ce qu'au moins une strate (31) de ladite au moins une paroi structurante (3) est distribuée entre les strates (21) d'au moins une paire de strates (22) desdites deux parois extérieures (2), après durcissement et expansion de ladite au moins une paire de strates (22).

2. Procédé pour la construction d'un mur de bâtiment par fabrication additive, selon la revendication 1, caractérisé en ce que les opérations de fabrication additive sont mises en œuvre de sorte que lesdites parois (2, 3) sont fabriquées parallèlement, tout en préservant une hauteur définie par la paire de strates (22) sus-jacentes des deux parois extérieures (2) qui est supérieure par rapport à la hauteur définie par la strate (31) sus-jacente de ladite au moins une paroi structurante (3).

3. Procédé pour la construction d'un mur de bâtiment par fabrication additive, selon la revendication 2, caractérisé en ce que les opérations de fabrication additive sont mises en œuvre de sorte qu'il est rapporté simultanément :

- une paire de strates (22A) des deux parois extérieures (2), sur une paire de strates (22B) sous-jacente desdites deux parois extérieures (2), et

- une strate (31) de ladite au moins une paroi structurante (3), entre les strates (21) de ladite paire de strates (22B) sous-jacente desdites deux parois

extérieures (2).

4. Procédé pour la construction d'un mur de bâtiment par fabrication additive, selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'une strate (31) de ladite au moins une paroi structurante (3) comporte un premier temps de durcissement (t1) qui est supérieur à un second temps de durcissement (t2) d'une strate (21) des parois extérieures (2),

et en ce qu'une nouvelle strate (21, 31) desdites parois extérieures (2) et de ladite au moins une paroi structurante (3) est rapportée après un temps (t'), supérieur ou égal audit premier temps de durcissement (t1).

5. Procédé pour la construction d'un mur de bâtiment par fabrication additive, selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une phase initiale au cours de laquelle au moins une première strate (21) desdites deux parois extérieures (2) est distribuée sur une surface de réception (S),

puis après durcissement desdites premières strates (21),

- une phase d'élévation, comprenant les opérations de fabrication additive de ladite au moins une paroi structurante (3) et desdites parois extérieures (2), dans lesquelles au moins une strate (31) de ladite au moins une paroi structurante (3) est distribuée entre les strates (21) d'au moins une paire de strates (22) desdites deux parois extérieures (2), après durcissement et expansion desdites strates (21).

6. Procédé pour la construction d'un mur de bâtiment par fabrication additive, selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les parois extérieures (2) sont réalisées dans un matériau choisi parmi le polyuréthane, l'icynène, le polystyrène, l'amidon de maïs, la cellulose, la fibre de bois comprimée, le liège expansé.

7. Procédé pour la construction d'un mur de bâtiment par fabrication additive, selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que, après durcissement, une strate (21) des parois extérieures (2) présente de 1 à 10 cm de hauteur, et de 2 à 20 cm de largeur.

8. Procédé pour la construction d'un mur de bâtiment par fabrication additive, selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les deux parois extérieures (2) sont écartées d'une distance horizontale comprise

entre 5 cm et 30 cm.

9. Procédé pour la construction d'un mur de bâtiment par fabrication additive, selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les opérations de fabrication additive sont mises en œuvre au moyen d'un

5 dispositif de fabrication (5) comprenant :

- une tête distributrice (6) comprenant deux buses latérales (61) et au moins une buse intercalaire (62),

- des premiers moyens (81) pour l'alimentation des buses latérales avec au moins un matériau non solide destiné à former les parois extérieures (2), de
10 préférence deux matériaux non solides destinées à être mélangés au niveau desdites buses latérales (61),

- des seconds moyens (82) pour l'alimentation de ladite au moins une buse intercalaire (62) avec un matériau non solide destiné à former ladite au moins une paroi structurante (3),

- des moyens (7) pour la manœuvre dans l'espace de ladite tête distributrice (6),
15

- des moyens de commande (9), pour le pilotage desdits moyens d'alimentation (81, 82) et desdits moyens de manœuvre (7).

10. Mur de bâtiment, issu d'un procédé de construction selon l'une
20 quelconque des revendications 1 à 9, comprenant deux parois extérieures (2) réalisées en mousse expansée, entre lesquelles est coulée au moins une paroi structurante (3), laquelle au moins une paroi structurante (3) épouse lesdites parois extérieures (2) pour former un ensemble monobloc.

1/2

Fig.1

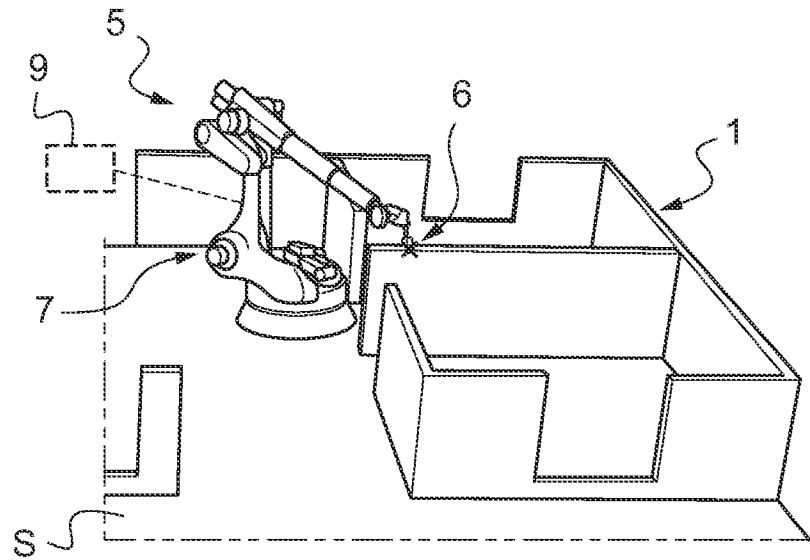


Fig.2

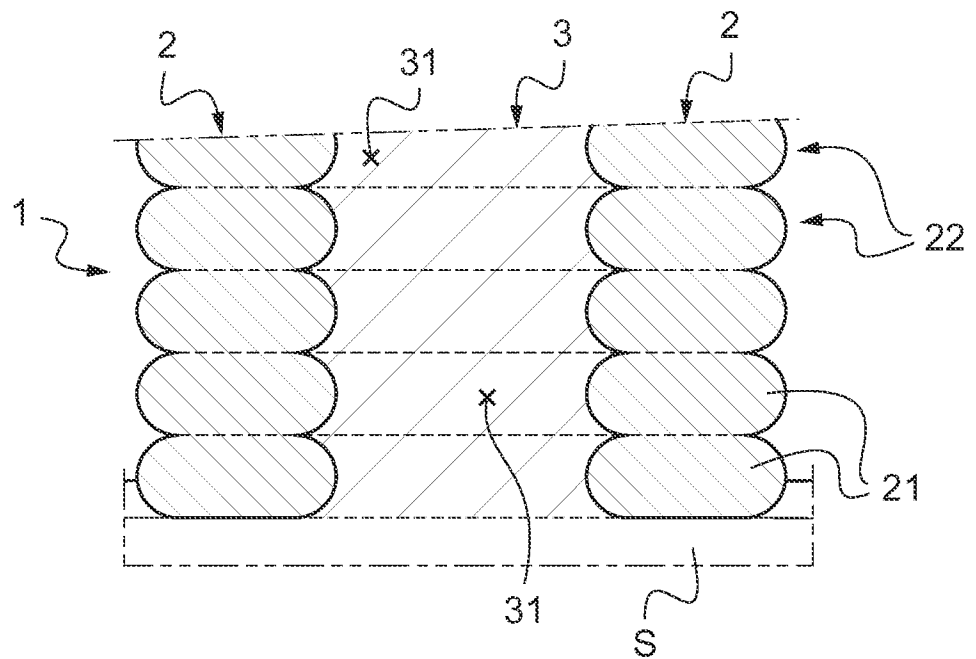


Fig.4

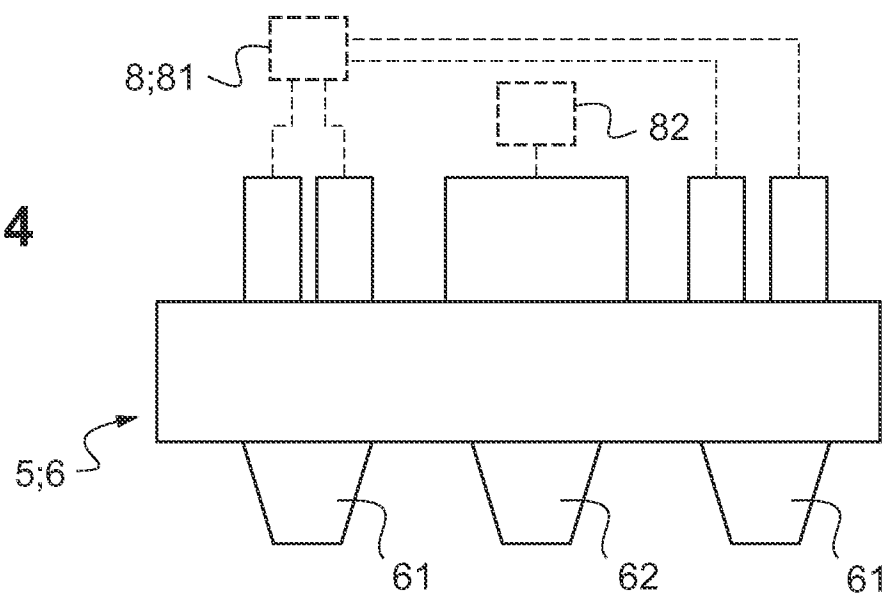


Fig.3

Fig.3A

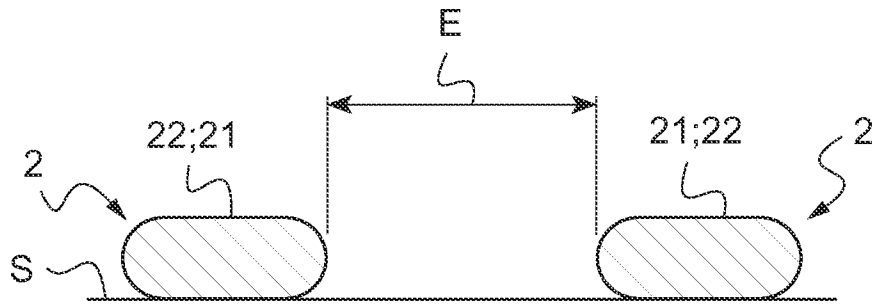


Fig.3B

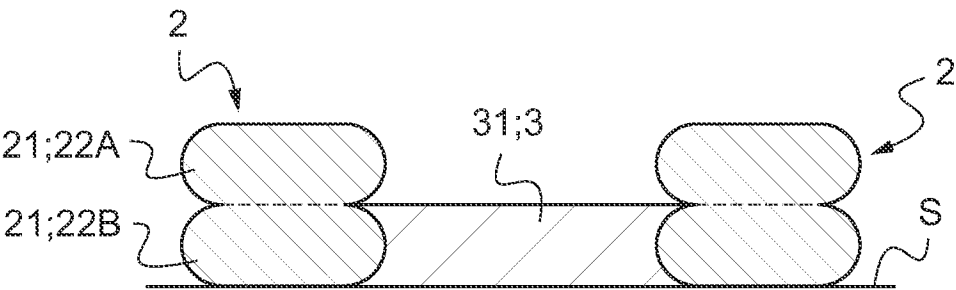


Fig.3C

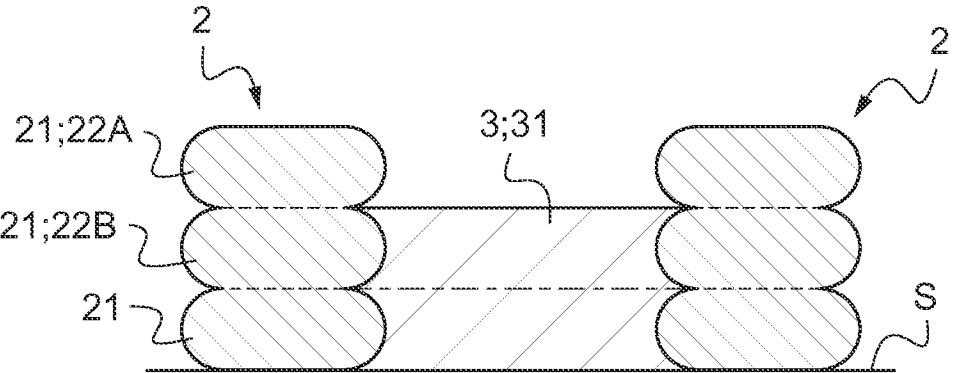
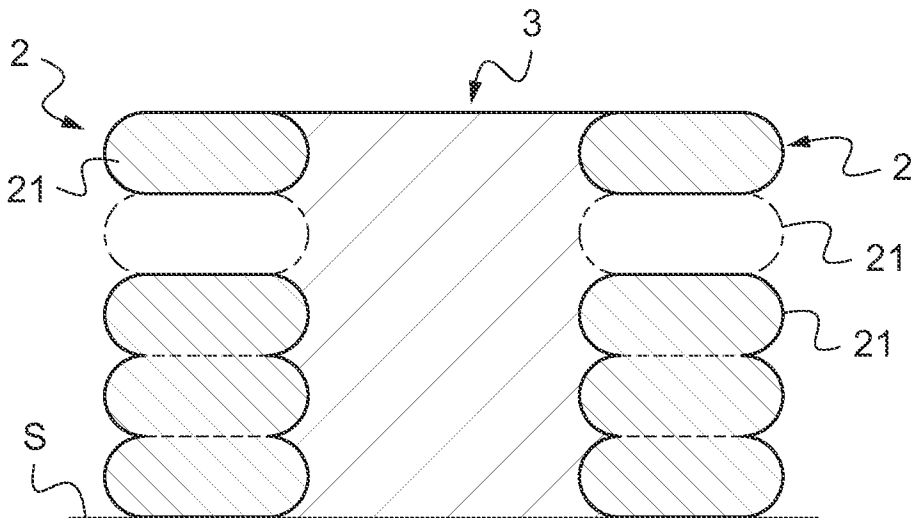


Fig.3D



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2017/051042

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. E04B1/35 E04B2/86 E04G21/04 B28B1/00 B28B3/20 B28B7/34 ADD. B28B19/00 B29C67/00		
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) E04B E04G B28B B29C		
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	WO 2005/070657 A1 (UNIV SOUTHERN CALIFORNIA [US]; KHOSHNEVIS BEHROKH [US]) 4 August 2005 (2005-08-04) paragraphs [0083] - [0092], [0099], [0100], [0110], [0148], [0149]; figures 4a-4c, 8, 9, 31 -----	1-10
☐ 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	Date of mailing of the international search report	
9 June 2017	19/06/2017	
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 Melhem, Charbel	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2017/051042

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2005070657 A1	04-08-2005	EP 1711328 A1	18-10-2006
		EP 2610417 A1	03-07-2013
		JP 2007518586 A	12-07-2007
		WO 2005070657 A1	04-08-2005

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2017/051042

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. E04B1/35 E04B2/86 E04G21/04 B28B1/00 B28B3/20 B28B7/34 ADD. B28B19/00 B29C67/00		
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) E04B E04G B28B B29C		
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	WO 2005/070657 A1 (UNIV SOUTHERN CALIFORNIA [US]; KHOSHNEVIS BEHROKH [US]) 4 août 2005 (2005-08-04) alinéas [0083] - [0092], [0099], [0100], [0110], [0148], [0149]; figures 4a-4c, 8, 9, 31 -----	1-10
☐ 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 9 juin 2017		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 19/06/2017
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 Melhem, Charbel

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2017/051042

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2005070657 A1	04-08-2005	EP 1711328 A1	18-10-2006
		EP 2610417 A1	03-07-2013
		JP 2007518586 A	12-07-2007
		WO 2005070657 A1	04-08-2005
