(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
15 juin 2023 (15.06.2023)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2023/105172 A1

(51) Classification internationale des brevets :
C10L 5/44 (2006.01) *B29C 48/345* (2019.01)
C10L 5/36 (2006.01) *B29C 48/405* (2019.01)
B27L 11/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2022/052287

(22) Date de dépôt international :
08 décembre 2022 (08.12.2022)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2113217 09 décembre 2021 (09.12.2021) FR

(71) Déposants : **UNIVERSITE JEAN MONNET SAINT ETIENNE** [FR/FR] ; Maison de l'Université 10, rue Tréfilerie, 42100 SAINT-ETIENNE (FR). **UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1** [FR/FR] ; 43, bvd du 11 Novembre 1918, 69100 VILLEURBANNE (FR). **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)** [FR/FR] ; 3, rue Michel Ange, 75016 PARIS (FR). **INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON** [FR/FR] ; 20 avenue Albert Einstein, 69100 VILLEURBANNE (FR).

(72) Inventeurs : **BECQUART, Frédéric** ; 8 Rue des résidences vertes, 42270 SAINT-PRIEST-EN-JAREZ (FR). **CARROT, Christian** ; 8 Rue Beranger, 42100 SAINT-ETIENNE (FR). **GHRIGA, Mohammed Abdelfetah** ; 18 Place Villeboeuf, 42100 SAINT-ETIENNE (FR).

(74) Mandataire : **REGIMBEAU** ; 20, rue de Chazelles, 75847 PARIS CEDEX 17 (FR).

(54) **Title:** PROCESS FOR THE EXTRUSION OF WOOD PELLETS, CO-ROTATING TWIN-SCREW EXTRUDER FOR THE EXTRUSION OF WOOD PELLETS, AND CORRESPONDING WOOD PELLETS

(54) **Titre :** PROCÉDÉ D'EXTRUSION DE GRANULÉS DE BOIS, EXTRUDEUSE BI-VIS COROTATIVE POUR L'EXTRUSION DE GRANULÉS DE BOIS, ET GRANULÉS DE BOIS CORRESPONDANTS

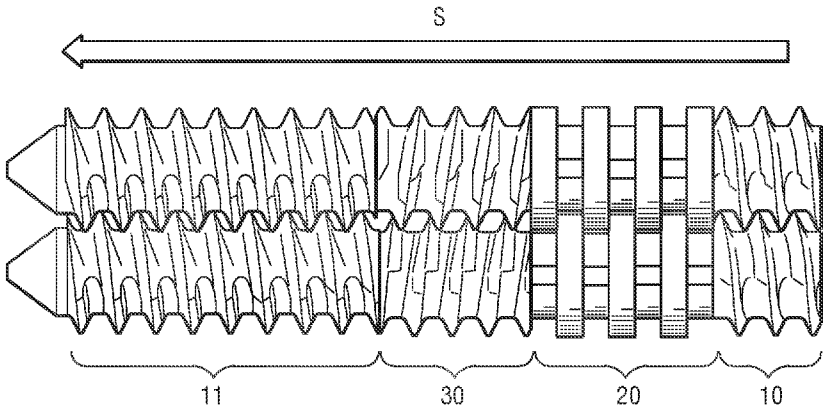


Fig. 1

(57) **Abstract:** The present invention relates to a process for the extrusion of wood pellets, comprising at least the steps of: (a) providing pieces of wood; (b) grinding and partially drying the pieces of wood in a twin-screw extruder comprising at least shear-generating elements, in order to obtain wood particles of which the water content is lower than that of the pieces of wood; (c) compressing the particles and shaping them in at least one die in order to obtain wood pellets. The invention also relates to wood pellets obtained by this process and to a co-rotating twin-screw extruder provided for the extrusion of wood pellets.

(57) **Abrégé :** La présente invention concerne un procédé d'extrusion de granulés de bois, comprenant au moins les étapes de : (a) fourniture de morceaux de bois; (b) broyage et séchage partiel, dans une extrudeuse bi-vis comportant au moins des éléments générateurs de cisaillement, des morceaux de bois pour obtenir des particules de bois présentant un taux d'eau réduit par rapport aux morceaux de bois; (c) compression des particules et mise en forme dans au moins une filière pour obtenir des granulés de bois. L'invention concerne également un granulé de bois obtenu par ce procédé et une extrudeuse bi-vis corotative prévue pour l'extrusion de granulés de bois.

WO 2023/105172 A1

[Suite sur la page suivante]

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (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, ME, 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).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17(iv))*

Publiée:

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

Procédé d'extrusion de granulés de bois, extrudeuse bi-vis corotative pour l'extrusion de granulés de bois, et granulés de bois correspondants

DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne le domaine de l'extrusion de granulés de bois, notamment avec une extrudeuse bi-vis.

ETAT DE LA TECHNIQUE

Le domaine de la production de granulés de bois à partir de coproduits des scieries, sous forme de sciure ou plaquettes est en pleine expansion : 10% de croissance annuelle sur les 5 dernières années et pas de variation de coût significative sur cette période de la matière première qui est classée comme déchet de sciage provenant de la transformation du bois. Le contexte géopolitique mondial en 2022 autour du sujet énergie a toutefois généré une inflation des prix de ce déchet transformé en ressource énergétique : le granulé bois pour l'énergie.

Le bois en forme de granulé est donc valorisable comme source d'énergie en le brûlant, grâce notamment à une chaudière source de performance à la combustion et de moindre impact environnemental avec des rejets gazeux et particulaires, nocifs pour l'environnement, minimisés. La chaleur produite par la combustion peut, soit servir à produire de la chaleur pour chauffer, par exemple de l'habitat individuel ou collectif, soit produire un autre type d'énergie comme de l'électricité ou du travail mécanique.

Le procédé de fabrication de granulé disponible sur le marché se compose d'une presse circulaire qui force par des galets, deux en général, du bois sous forme de sciure déjà fortement séché en amont (taux d'humidité résiduel, généralement inférieur à 12% de la masse totale), au travers de multiples filières (trous) disposées de manière radiale dans l'enveloppe métallique circulaire de la presse sur laquelle roule les galets. Les trous peuvent être purement cylindriques ou coniques ou mixtes. Ces filières permettent d'obtenir des granulés avec un diamètre généralement fixé à 6 mm, standard usuel entrant dans les normes qualifiant un granulé bois pour l'énergie.

Les coûts d'investissement et les infrastructures industrielles pour parvenir au granulé en séchant, convoyant, stockant en attente, de la sciure préalablement préparée à sa transformation finale, sont très élevés. Les infrastructures d'un site de production sont très conséquentes en taille.

Associé aux forts volumes traités dans une unité de production, les dimensions des installations génèrent de fortes déperditions énergétiques lors des étapes de séchage et de convoyage. Des volumes de stockage pouvant atteindre plusieurs centaines de m^3, exigent des besoins fonciers proportionnés. La taille d'une unité de production complète exige des investissements dépassant les dix millions d'euros. Seules les plus grosses scieries, productrices de sciure et actuellement seules concernées par sa transformation, sont capables d'investir et donc de produire. Les scieries de petite et moyenne taille, incapables d'investir et d'amortir ce type d'installations par leurs volumes à traiter insuffisants, se retrouvent de fait avec des stocks de sciure actuellement non valorisables sur leurs sites et sont contraints de la revendre à des transformateurs à faible coûts, bien en-deçà du prix après transformation en granulés commercialisables.

L'unique procédé, historique, de production de granulé bois pour l'énergie n'offre pas de flexibilité pour la transformation finale dans la presse et donc peu d'options d'amélioration du produit. Il ne permet pas non plus la valorisation de bois issus de feuillus à de rares exceptions. Seule l'utilisation des essences de bois de résineux est actuellement possible. Les essences de feuillus sont très marginales et considérées comme inadéquates avec les procédés existants actuellement.

Par une transformation d'un bois préalablement fortement séché et donc très dur, les casses mécaniques, en particulier des roulements à billes des galets, sont régulières générant des interruptions de production aléatoires et des coûts de maintenance impactant les coûts globaux.

ANISOTROPIE NATURELLE DU BOIS ET CONSEQUENCE DANS LES PROCEDES

Le bois est en soi un matériau hétérogène à toutes les échelles, moléculaire à macroscopique, et anisotrope. Il est constitué de trois composants principaux : cellulose, hémicellulose et lignine avec des effets d'orientation des fibres de cellulose qui le constituent et le rendent anisotrope. Cette anisotropie, due au fait que le bois est fibreux, génère des facteurs de forme et une anisométrie des particules de bois obtenues lors d'une étape de sciage ou de broyage. Que ce soit sous forme d'une sciure fine ou grossière ou sous forme de plaquettes, le bois se présente avec des géométries allongées, dans le sens des fibres, ou aplaties. Les coproduits des scieries transformés en granulé par les presses actuelles se présentent tous avec des facteurs de forme permettant de qualifier ce bois transformé, comme anisométrique. Ce point à son importance car il a été démontré que les anisotropies et isométries liées au facteur de forme et à la structure du bois génèrent des forces radiales supplémentaires lorsque ces objets s'écoulent en force, donc sous pression,

dans des formes géométriques cylindriques telles que des filières pouvant conformer le bois (voir le document *Effect of Fiber Orientation on Compression and Frictional Properties of Sawdust Particles in Fuel Pellet Production, DOI 10.1021/ef800923v 2009*). Les forces radiales au sens de l'écoulement assurant la mise en forme, génèrent donc davantage de frottement avec trois conséquences : d'avantage d'énergie requise pour produire à un débit fixé, de la dégradation du produit par de l'auto-échauffement lié au frottement (brunissement en surface du produit) et, du fait d'un coût énergétique supplémentaire inutile, une capacité maximale de production de la machine, qui exerce l'action mécanique, réduite.

L'anisotropie du bois est donc présente naturellement mais, en plus, les procédés de production actuel de granulés bois subissent cette anisotropie responsable d'un facteur de forme de la matière entrante qui n'a jamais pu être à ce jour supprimé par une action avale à la transformation finale en granulé.

Dans le contexte d'optimiser les coûts énergétiques et d'intensifier les procédés, il devient nécessaire de fournir un procédé permettant de fabriquer plus aisément des granulés des bois à partir d'une ressource idéalement isométrique, en partant d'un bois anisotrope qui est naturellement sous une forme de particules anisométriques, en utilisant l'eau qu'il peut contenir naturellement après sciage (i.e. sans ajout d'eau nécessairement requis ou d'un autre liquide).

EXPOSE DE L'INVENTION

Selon un premier aspect, on propose un procédé d'extrusion de granulés de bois, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend au moins les étapes de :

(a) fourniture de morceaux de bois ;

(b) broyage et séchage partiel, dans une extrudeuse bi-vis comportant au moins des éléments générateurs de cisaillement, des morceaux de bois pour obtenir des particules de bois présentant un taux d'eau réduit par rapport aux morceaux de bois, c'est-à-dire les morceaux de bois de l'étape (a) entrant dans l'extrudeuse ;

(c) compression des particules et mise en forme dans au moins une filière pour obtenir des granulés de bois.

Selon un exemple particulier, on propose un procédé d'extrusion de granulés de bois, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend au moins les étapes de :

(a) fourniture de morceaux de bois ;

(b) broyage et séchage, dans une extrudeuse bi-vis comportant au moins des éléments

malaxeurs et des éléments à pas de vis inverse, des morceaux de bois pour obtenir des particules de bois présentant un taux d'eau réduit par rapport aux morceaux de bois, c'est-à-dire les morceaux de bois de l'étape (a) entrant dans l'extrudeuse ;
(c) compression des particules et mise en forme dans au moins une filière pour obtenir des granulés.

Les étapes (a), (b) et (c) sont préférentiellement successives les unes après les autres.

Selon des caractéristiques avantageuses et non limitatives, prises seules ou en combinaison, de ce procédé d'extrusion :

- L'étape (a) de fourniture de morceaux de bois comprend uniquement la fourniture de morceaux de bois tel quel sans adjonction d'un additif tel qu'un fluide.
- Les éléments générateurs de cisaillement comprennent des éléments malaxeurs, et le broyage de l'étape (b) est réalisé en appliquant un effort de cisaillement sur les morceaux de bois, grâce aux éléments malaxeurs de l'extrudeuse.
- Les éléments générateurs de cisaillement comprennent au moins un élément à pas de vis inverse, et les morceaux de bois sont concomitamment déplacés selon une direction axiale, par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse, mais retenus par le ou les élément(s) à pas de vis inverse.
- Lors de l'étape (b) le séchage partiel est réalisé en utilisant une chaleur générée par le broyage jusqu'à une température d'au moins 100°C.
- L'étape (b) comprend au moins une phase d'évacuation d'une eau extraite des fibres de bois, à l'extérieur de l'extrudeuse.
- L'étape (c) de compression est réalisée en appliquant un effort de compression radial, par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse, de sorte à pousser les particules de bois selon une direction sensiblement radiale, par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse, dans l'au moins une filière pour former au moins un jonc extrudé et obtenir après coupe, lesdits granulés de bois.
- Le procédé comprend une étape (d) de séchage final des granulés de bois à la sortie de la filière, en particulier jusqu'à un taux d'humidité inférieur à 12%, ce qui permet notamment de respecter les normes qualifiant un granulé de bois pour l'énergie.
- L'étape (d) est paramétrée pour l'obtention de granulés de bois présentant un taux d'humidité compris entre 7% et 10%.
- Les étapes (b), (c) et (d) sont paramétrées pour l'obtention de granulés de bois présentant un taux d'humidité inférieur à 12% et une densité d'au moins 0.7.
- Les étapes (b), (c) et (d) sont paramétrées pour l'obtention de granulés de bois présentant un taux d'humidité inférieur à 12% et une densité d'au moins 0.8.

- Les morceaux de bois fournis à l'étape (a) présentent un taux d'humidité naturel supérieur à 40%, préférentiellement de l'ordre de 55%, et les particules de bois obtenues en sortie de l'étape (b) présentent un taux d'humidité inférieur à 40%, préférentiellement entre 30% et 35%.
- Les particules de bois obtenues en sortie de l'étape (b) présentent une forme ovoïde, voire sensiblement sphérique.
- Les étapes (a) et (b) sont répétées plusieurs fois avec les mêmes morceaux de bois et particules, avant de passer à l'étape (c).
- A l'étape (a), on fournit des morceaux de bois issus de résineux, ou des morceaux de bois issus de feuillus, ou des morceaux de bois issus d'un mélange de résineux et de feuillus.

Selon un deuxième aspect, est proposée une extrudeuse bi-vis adaptée pour mettre en œuvre le procédé d'extrusion de granulés de bois selon le premier aspect.

On propose en particulier une extrudeuse bi-vis, de préférence corotative, prévue pour l'extrusion de granulés de bois comprenant :

- deux profils de vis identiques, interpénétrées, et montées en rotation (de préférence en corotation) dans un alésage d'un fourreau, dans laquelle chaque profil de vis comprend un arbre sur lequel sont montés des éléments générateurs de cisaillement pour broyer et sécher des morceaux de bois afin d'obtenir des particules de bois présentant un taux d'eau réduit par rapport aux morceaux de bois, et
- au moins une filière latérale (40) formant une sortie latérale par rapport à un axe des vis de l'extrudeuse.

Des aspects préférés mais non limitatifs de cette extrudeuse bi-vis, pris seuls ou en combinaison, sont les suivants :

- Chaque profil de vis comprend des moyens de compression montés sur l'arbre, pour une compression radiale, par rapport à un axe des vis de l'extrudeuse, des particules de bois en direction de la au moins une filière latérale.
- Les moyens de compression comprennent des éléments de vis à pas direct et des éléments malaxeurs placés en fin de profil de vis, les éléments de vis à pas direct étant agencés pour pousser les particules de bois sur les éléments malaxeurs.
- Le fourreau est dépourvu de sortie de bois selon une direction parallèle aux axes des vis de l'extrudeuse.
- Les éléments générateurs de cisaillement comprennent des éléments malaxeurs (20).

- Les éléments générateurs de cisaillement comprennent au moins un élément à pas de vis inverse (30).
- Le au moins un élément à pas de vis inverse (30) est directement placé en sortie des éléments malaxeurs (20).
- Chaque profil de vis comprend au moins un élément de pas de vis direct directement placé en sortie des éléments malaxeurs (20) et juste avant le au moins un élément à pas de vis inverse (30).

Selon un troisième aspect, est proposé un granulé de bois susceptible d'être obtenu selon le procédé d'extrusion de granulés de bois selon le premier aspect.

Selon des caractéristiques avantageuses et non limitatives, le granulé présente un taux d'humidité inférieur à 12% après séchage final et une densité d'au moins 0.7 et préférentiellement supérieure à 0.8.

De préférence, le granulé de bois présente un taux d'humidité compris entre 7% et 10%.

De manière avantageuse, le granulé de bois est non délitable dans l'eau.

De préférence, le granulé de bois est formé uniquement de bois et ne comprend en particulier aucun additif.

DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 représente un exemple d'une portion de profil de vis d'une extrudeuse bi-vis pour la mise en œuvre du procédé d'extrusion de granulés de bois proposé.

La figure 2 représente un exemple d'élément malaxeur d'une extrudeuse bi-vis pour la mise en œuvre du procédé d'extrusion de granulés de bois proposé.

La figure 3 représente schématiquement les étapes d'un mode de réalisation du procédé d'extrusion de granulés de bois proposé.

La figure 4 représente un exemple d'agencement de filières latérales en sortie d'une extrudeuse bi-vis pour la mise en œuvre du procédé d'extrusion de granulés de bois proposé.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

L'invention propose un procédé d'extrusion de granulés de bois. Typiquement ce procédé peut être mis en œuvre avec une extrudeuse bi-vis corotative.

Notons ici que tous les pourcentages exprimés dans la suite de la description sont, sauf mention contraire, des pourcentages massiques.

Extrudeuse bi-vis

Selon un premier aspect, on propose une extrudeuse bi-vis, de préférence corotative, adaptée pour mettre en œuvre le procédé d'extrusion de granulés de bois proposé. C'est un procédé continu. On note que l'on peut en pratique utiliser une succession d'extrudeuses bi-vis, de sorte que le présent procédé ne sera pas limité à une unique extrudeuse bi-vis.

D'une manière connue, une extrudeuse bi-vis corotative est une machine de transformation constituée de deux profils de vis identiques, interpénétrées, tournant dans le même sens dans l'alésage d'un fourreau. Les vis sont entrainées par un bloc moteur et tournent toutes deux à la même vitesse. Une ou plusieurs zones d'alimentation peut être mises en place. En général, une zone d'alimentation est choisie en début de profil de vis le cas échéant avec des doseurs latéraux ou secondaires. En sortie, au moins une filière assure la conformation de la matière sous forme d'un jonc dont la section peut prendre toute forme. La filière peut être cylindrique ou conique ou combinant des sections cylindriques et coniques dans le cas d'une section ronde. Toute autre section étant possible selon le même principe.

Les particularités et avantages d'une extrudeuse de ce type, usuellement utilisée pour transformer une matière visqueuse en capacité de s'écouler, sont dues :

- A la modularité des profils de vis par la multitude d'éléments assemblables. Par profil de vis, on entend tous les éléments assemblés, éléments de vis à pas direct, inverse et malaxeurs, sur chaque arbre de l'extrudeuse bi-vis, comme expliqué plus loin.
- A la modularité du fourreau (détaillé plus loin).
- La diversité de filières possibles, par leur design géométrique et en particulier leur section, pour conformer la matière sortant en continu dans sa forme finale en sortie d'extrudeuse.
- La modularité des équipements périphériques associés pour alimenter l'extrudeuse ou extraire.

Un profil de vis d'une extrudeuse peut être assemblé à façon par l'association de trois principaux types d'éléments usuels pour ce procédé qui peuvent avoir des rôles propres ou être associés en synergie. Ils ont tous le même diamètre externe mais peuvent être de longueur variable et s'assemblent sur des arbres de vis qui peuvent être cannelés ou de

sections empêchant leur libre rotation sur les arbres, par exemple une section hexagonale, ou un autre système empêchant la rotation tel qu'un système à clavettes. Dans tous les cas d'une extrusion conventionnelle avec une sortie axiale de la matière en bout d'extrudeuse, l'ensemble des éléments choisis, quel que soit leur type, quel que soit leur nombre et longueur, devront avoir une longueur assemblée égale à la longueur des arbres de vis les supportant lorsque fonctionnant dans une configuration classique. L'assemblage sans jeu entre les éléments est maintenu usuellement par des vis de serrage en bout d'arbre. Ces profils de vis peuvent se terminer par une forme externe en forme de pointe. L'ordre d'assemblage choisi des éléments de vis permettra de générer des zones avec des fonctionnalités spécifiques pour y effectuer des tâches précises dans chaque zone spécifique élaborée.

Le fourreau qui entoure les profils de vis assure globalement l'étanchéité et résiste à la pression s'il est totalement fermé mais permet aussi des échanges thermiques en étant chauffé ou à l'inverse refroidi avec un système de refroidissement régulé intégré par circulation d'un fluide liquide ou gazeux. Le chauffage ou refroidissement n'est pas constant sur tout le profil. Il peut être ajusté en zones différenciées tout le long du fourreau où chaque tronçon/élément de fourreau aura son propre système de chauffe et refroidissement

La matière sortante de l'extrudeuse et de son système de fourreau / vis sera conformée au moyen d'une filière. En général, la filière est fixée sur le dernier élément de fourreau avec un convergent intermédiaire, le tout dans l'axe du profil des vis. Cette filière peut comporter une sortie unique ou en combiner plusieurs.

En référence à la **figure 1**, où la flèche S représente le sens d'écoulement de la matière, les éléments couramment utilisés pour constituer un profil de vis sont :

- Les éléments de vis à pas direct (10 ; 11) permettent de convoyer la matière dans le sens de l'écoulement. Ces éléments de vis sont caractérisés par leur pas (distance parcourue par tour) et le nombre de chenaux séparés par des filets, de 1 à 3 chenaux, généralement 2. Par ailleurs, leur géométrie, dite conjuguée, assurent un effet autonettoyant lors de la rotation et lors du convoyage de la matière, la matière circule dans des canaux continus en forme de 8 déformé et en passant d'une vis à l'autre par la zone d'interpénétration entre vis. La matière y est également soumise à un cisaillement. Du cisaillement intense est également généré dans le jeu entre les filets des vis et le fourreau. Avec les seuls éléments à pas direct, l'extrudeuse n'est pas remplie totalement par la matière et la matière n'est donc pas sous pression avant d'avoir atteint les derniers éléments avant la filière. Les vis exercent

seulement un effet de pression en arrivant en sortie pour passer dans la filière de section réduite. L'extrudeuse est alors localement remplie de matière sous pression.

- Les éléments à pas inverse 30 génèrent un flux inverse au sens de l'écoulement et permettent de générer localement du remplissage, la mise sous pression et une action de mélange. Ils peuvent aussi permettre d'augmenter localement le cisaillement, ainsi que l'auto échauffement et l'essorage comme expliqué plus loin.
- Les éléments malaxeurs 20, appelés en anglais Wide Kneading Elements (KNE) ou Thin Kneading Element (TKE), sont utilisés pour générer sous cisaillement du mélange dispersif ou du mélange distributif de systèmes visqueux. La **figure 2** illustre un exemple de géométrie de malaxeurs 21, ayant un profil bilobe avec axe central cannelé. Leur section est identique ou ne dépasse pas celle des vis caractérisées par leur diamètre, mais ils sont décalés les uns par rapport aux autres dans l'axe de la vis et assemblés par blocs (Figure 1, 7 malaxeurs assemblées pour exemple, en alternance, avec des décalages d'angle positifs ou négatifs. De ce décalage dépendra le cisaillement et le mélange généré entre deux éléments consécutifs. Comme pour les autres éléments, ces malaxeurs sont interpénétrés et peuvent permettre à la matière de passer d'une vis à l'autre, et conjugués pour un effet autonettoyant. Par l'angle de décalage, des transferts axiaux du fluide, assurant le mélange, sont aussi possibles. Généralement, l'angle de décalage entre chaque malaxeur, pris deux à deux, reste constant dans le bloc mais il peut aussi varier par la modularité offerte. Certains fabricants proposent des blocs de malaxeurs directement construits en monobloc et non par l'assemblage de malaxeurs individuellement.

Ainsi par l'assemblage modulaire des différents types d'éléments de vis sur les arbres pour constituer un profil, il existe un nombre extrêmement élevé de combinaison d'éléments et donc de profils possibles.

En revanche, les profils géométriques de chaque vis sont choisis pour permettre la mise en œuvre du procédé d'extrusion de granulés de bois proposé. Ils sont constitués des mêmes séquences d'éléments de sorte à pouvoir s'interpénétrer, être conjugués et entrer en rotation sans interférer mécaniquement.

Le fourreau est lui généralement constitué d'un ensemble d'éléments de fourreau (tronçons). Ces éléments de fourreau étant interchangeables dans leur positionnement les uns après les autres, comme pour les éléments de vis, leur assemblage peut donc être fait à façon. Pouvant être chauffés ou refroidis individuellement, chaque tronçon peut avoir sa propre température de consigne. Le fourreau dans sa globalité peut présenter des ouvertures possibles tout le long du fourreau pour :

- soit alimenter le système extrudé d'un liquide, solide, ou système visqueux au moyen d'un système d'alimentation adéquate comme un doseur de débit volumique ou pondéral, une pompe ou même une autre extrudeuse,
- soit évacuer du liquide (comme par exemple de l'eau) ou des vapeurs. D'une manière préférentielle, les moyens d'évacuation comprennent une ou plusieurs ouvertures dans le fourreau permettant d'évacuer de la vapeur d'eau issue du séchage du bois lors du procédé d'extrusion proposé. D'autres ouvertures additionnelles peuvent venir en complément pour évacuer des extractions liquides, par simple gravité, à base d'eau dans le cadre du procédé proposé.

Comme expliqué en détail plus loin, l'extrudeuse bi-vis proposée présente la particularité d'avoir :

- deux profils de vis identiques, interpénétrées, et montées en rotation (de préférence en corotation) dans un alésage d'un fourreau, dans laquelle chaque profil de vis comprend un arbre sur lequel sont montés des éléments générateurs de cisaillement pour broyer et sécher des morceaux de bois afin d'obtenir des particules de bois présentant un taux d'eau réduit par rapport aux morceaux de bois, et
- au moins une filière latérale 40 formant une sortie latérale par rapport à un axe des vis de l'extrudeuse.

Procédé d'extrusion

Selon un autre aspect, on propose un procédé d'extrusion de granulés de bois.

D'une manière connue, à l'état naturel le bois est un matériau fibreux anisotrope et qui le reste après transformation dans les procédés usuels et actuels de transformation du bois en tant que matériau de structure (poutre, planche, etc.). En tant que coproduit de sciage du bois, il se présente sous forme de sciure ou de plaquettes. En raison de l'anisotropie du bois, c'est un matériau où les fibres sont orientées ce qui conduit à des coproduits de sciage avec des formes allongées, aplaties et dans tous les cas avec des géométries anisométriques qui différent fortement de la forme sphérique idéale pour espérer une isométrie. Ces formes sont autant dues à la structure naturelle du bois tel qu'il est constitué, qu'aux outils usuels l'ayant scié ou broyé.

En référence à la **figure 3**, le procédé comprend notamment les étapes suivantes :
(a) fourniture de morceaux de bois coproduit de sciage ou de broyage de préférence « tel quel », c'est-à-dire n'ayant pas subi de traitement particulier, et en particulier avec leur

taux d'eau naturel, à l'équilibre naturel avec le milieu ambiant, entre 30% et 80%, avantageusement entre 40% et 70%, très avantageusement entre 40% et 60%, préférablement de l'ordre de 55%, et avant toute transformation en extrudeuse. Ces morceaux de bois présentent des formes quelconques différentes de la sphère : formes allongées et/ou aplaties type plaquette, et présentent des fibres anisotropes. On notera que le bois pourra dans certains cas avoir subi un séchage préalable ou au contraire avoir été réhumidifié, dans la mesure où il s'agit simplement de rétablir un taux d'eau naturel d'un bois avant sciage (par exemple si l'on veut utiliser du bois qui a déjà séché avec le temps, durant par exemple un stockage, et qui n'est plus dans son état tel qu'il est juste après sciage d'un arbre), et on comprendra que cette éventuelle modification du taux d'humidité sera faite sans ou avec traitement mécanique du bois tel qu'un malaxage. Une réhumidification du bois peut également être faite dans l'extrudeuse même au moyen d'une pompe d'alimentation en tant que périphérique connecté au fourreau de l'extrudeuse ou à l'un de ses tronçons le constituant. L'utilisation d'un bois naturel tel quel restera néanmoins préférée, car permettant les coûts et les manipulations minimaux. Dans l'objectif de retirer tout résidu minéral ou métallique, pouvant être présent comme contaminant dans le bois à transformer et ne pouvant passer en extrudeuse, le bois pourra avoir été rincé à l'eau ou séparé de ses polluants par simple flottation dans de l'eau, idéalement en continu et dans ce cas intégré dans le procédé global, avant extrusion.

(b) broyage et séchage, dans une extrudeuse bi-vis, des morceaux de bois pour l'obtenir sous forme de particules présentant un taux d'eau réduit et avec une granulométrie globale inférieure à celle du bois entrant en machine. Additionnellement, ce bois peut présenter des formes ovoïdes, et préférentiellement sensiblement sphériques, après broyage qu'il n'avait pas en entrée d'extrudeuse. Il est à noter que le séchage de cette étape n'est pas un séchage enlevant la totalité de l'eau présente dans les morceaux de bois, on peut donc parler de séchage partiel ;

(c) compression et densification du bois et mise en forme dans une ou plusieurs filières pour obtenir un ou plusieurs joncs, en continu, qui pourront être ensuite coupés en granulé final et présentant une tenue mécanique suffisante pour ne pas se délier et répondre après séchage final, post-extrusion, au cahier des charges des granulés bois pour l'énergie sur la base de la norme EN+ ou des autres normes équivalentes en vigueur.

Etape (a)

L'étape (a) de fourniture de morceaux de bois consiste essentiellement en l'introduction dans une extrudeuse bi-vis de morceaux de bois.

Il est précisé que préférentiellement, le bois est introduit en continu « tel quel », sans adjonction d'un fluide ou d'un quelconque additif. Dans le cas présent, par adjonction de fluide, il est entendu l'ajout d'eau, d'une solution aqueuse ou de n'importe quel liquide pouvant avoir une fonction de lubrification dans le procédé d'extrusion et/ou de liant final du ou des joncs extrudés.

En effet, l'introduction des morceaux de bois humide sans adjonction d'un fluide est une disposition particulièrement avantageuse de l'invention, qui (comme cela sera développé ci-après) permet de fabriquer rapidement des granulés de bois, en utilisant pour seul intrant des copeaux, plaquette ou sciure de bois obtenus en tant que coproduits d'arbres transformés ou de bois à recycler post-usage, en fin de vie.

L'une des caractéristiques avantageuses du procédé d'extrusion proposé est qu'il est efficace avec tout type de bois. En particulier, il pourra être appliqué à des morceaux de bois issus de résineux comme issus de feuillus.

Ainsi, à l'étape (a), on peut par exemple fournir des morceaux de bois issus de résineux, ou des morceaux de bois issus de feuillus, ou des morceaux de bois issus d'un mélange de résineux et de feuillus.

Etape (b)

Comme indiqué précédemment, l'étape (b) comprend le broyage, dans l'extrudeuse bi-vis, des morceaux de bois que ce soit forme de sciure de bois issue du broyage brut, de plaquettes de bois, de copeaux de bois, ou toute autre forme de bois ayant été préalablement broyé ou pas, pour obtenir une poudre de bois présentant une granulométrie réduite en taille par rapport au bois entrant, complété d'un facteur de forme se rapprochant de la sphère. La ressource bois peut être issue autant d'un bois d'arbres récemment abattus ou d'un bois à recycler usager.

Plus précisément, l'étape (b) est réalisée en générant du cisaillement sur la matière extrudée. En d'autres termes, les deux vis interpénétrées, de l'extrudeuse bi-vis corotative, déplacent les morceaux de bois selon une direction longitudinale grâce à des éléments de vis à pas direct, tout en exerçant localement dans une ou des zones ciblées dans le profil de vis, du cisaillement, en employant des éléments spécifiques du profil de vis.

A ce titre, l'extrudeuse bi-vis peut comprendre dans son profil de vis au moins une série d'éléments malaxeurs 20 formant un bloc de ce type d'éléments (formant une zone de « malaxage »). Les éléments malaxeurs 20 peuvent être directement assemblés en entrée de l'extrudeuse bi-vis, ou plus idéalement précédés par une section d'éléments de vis à pas direct 10, idéalement courte, pour générer une force de poussée axiale dans le bloc composé de plusieurs malaxeurs 21 et nourrir ainsi efficacement la zone de malaxage sans bourrage.

De manière préférée mais non obligatoire, il peut en outre être prévu des éléments à pas de vis inverse 30, qui sont par exemple directement placés en sortie des éléments malaxeurs 20 constituant un bloc pour y retenir le bois ou séparés par un ou plusieurs éléments à pas direct. On a en outre des éléments à pas de vis direct 11 en sortie des éléments à pas de vis inverse 30 pour convoyer des particules qui vont être obtenues.

Les éléments de malaxage de l'extrudeuse permettent d'exercer un cisaillement important, en particulier en complément avec les éléments à pas de vis inverse qui maintiennent le bois dans le malaxeur et augmentent le remplissage et donc le cisaillement. Typiquement les malaxeurs permettent de broyer en cassant des agglomérats ou des particules originelles en particules plus petites. Pour cela, ils sont assemblés à plusieurs consécutivement avec des décalages d'angle choisis car sont ajustables. Un décalage d'angle d'environ 90° est ici préféré. Par profil de vis, on entend tous les éléments assemblés, éléments de vis à pas direct, inverse et malaxeurs, sur chaque arbre de l'extrudeuse bi-vis.

Par ailleurs, les éléments malaxeurs permettent une densification en sortie par compression (forte pression sur le filet extérieur du malaxeur). Le bois ne pouvant plus passer dans l'axe au bout de l'extrudeuse, c'est l'effet de pression au sommet des filets de ces malaxeurs qui domine.

La figure 1 illustre un exemple d'une portion de profil de vis d'une d'extrudeuse bi-vis pour la mise en œuvre du cisaillement souhaité dans le procédé d'extrusion de granulés de bois proposé.

L'étape (b) est également une étape de séchage, dans l'extrudeuse, du bois transformé pour réduire son taux d'eau. Comme précisé plus haut, on a en particulier un séchage partiel du bois puisque l'eau présente n'est pas entièrement supprimée.

L'extrudeuse-bis, et en particulier la combinaison des éléments de malaxage et des éléments à pas de vis inverse, permet en effet de chauffer concomitamment le bois alors qu'il est broyé.

Selon une disposition technique particulièrement avantageuse, le séchage peut en effet être réalisé en utilisant une chaleur générée par du travail, sur la matière lors du broyage.

En d'autres termes, l'énergie dissipée lors du broyage de la matière transformée, par le travail mécanique exercé sur la matière cisaillée, génère un auto-échauffement qui permet de sécher le bois, avantageusement à une température d'au moins 100°C environ. A noter que les éléments à pas de vis inverse peuvent contribuer au séchage en essorant dans une certaine mesure le bois (évacuation d'eau à l'état liquide), et de plus grâce aux contrefilets on arrive à générer davantage d'autoéchauffement et donc un passage de l'eau à l'état vapeur plus efficace.

Par séchage, il est entendu qu'une partie de l'eau naturellement présente dans le bois est évaporée et est évacuée du fait de la température d'au moins 100°C. On parle aussi de séchage partiel puisque l'eau présente n'est pas entièrement évacuée de l'extrudeuse. D'une manière très avantageuse, cette étape de séchage, à l'intérieur de l'extrudeuse, en utilisant le travail mécanique source de chaleur, provoqué par le broyage, permet un gain de temps et d'énergie par rapport aux procédés connus. L'autoechauffement est en effet « gratuit » et s'avère en pratique très efficace. Des procédés connus cherchaient au contraire à dissiper la chaleur produite par l'autoéchauffement (l'énergie était non seulement perdue, mais sa dissipation avait un coût) pour éviter que le bois ne commence à carboniser puisqu'il était déjà sec (en dessous de 12% de taux d'humidité). Dans le présent procédé ce risque n'existe par puisque l'on a un taux naturel d'humidité, et le broyage/séchage concomitant ne fait en pratique qu'améliorer les propriétés des particules, comme expliqué plus loin.

A noter que cette étape n'exclut pas un éventuel chauffage supplémentaire par apport d'énergie extérieur (par exemple des colliers chauffants), notamment au-delà de 120°C, plus préférentiellement dans l'intervalle 130°C-160°C.

A titre d'exemple, une proportion comprise entre 10% et 80%, préférentiellement entre 20% et 60%, préférentiellement entre 30% et 40%, de l'eau naturellement présente dans le bois, entrant dans l'extrudeuse, peut être extraite lors de l'étape (b). De manière préférée, le taux d'humidité résiduel descend en dessous de 40%, préférentiellement entre 25% et 40%, préférentiellement entre 30% et 35%, en particulier environ 32%. Cela correspond, partant d'un taux d'humidité de 55%, à une extraction d'environ 35% de l'eau naturellement présente dans le bois.

En sus, l'étape (b) peut comprendre une phase d'évacuation de l'eau extraite du bois, à l'extérieur de l'extrudeuse. Typiquement, cette phase peut être réalisée en utilisant une

ouverture ou plusieurs ouvertures spécifiques du fourreau pour évacuer de l'eau sous forme liquide et/ou gazeuse.

Répétition des étapes (a) et (b)

En fonction de la finesse de broyage désirée, il est possible de répéter plusieurs fois les étapes (a) et (b) avant de passer à l'étape (d). Pour ce faire, les particules peuvent être extraites de l'extrudeuse après l'étape (b), puis directement réintroduit dans l'extrudeuse (ou une autre extrudeuse) pour recommencer le procédé à l'étape (a).

Etape (c)

L'étape (c) est une étape de compression des particules et mise en forme dans une ou plusieurs filières pour obtenir un ou plusieurs joncs de bois qui, coupés postérieurement à la sortie de l'extrudeuse, donneront des granulés.

Plus précisément, l'étape (c) peut être réalisée en appliquant un effort de compression radial, par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse, sur le bois, le bois étant simultanément poussé selon une direction radiale, par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse, dans une ou plusieurs filières pour former des granulés. La ou les filières sont ainsi positionnées latéralement par rapport à l'axe des vis et au fourreau, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas positionnées à l'extrémité formant la sortie de l'extrudeuse et selon l'axe de l'extrudeuse comme cela est généralement le cas, mais sur le côté. On parle de filières latérales. Ainsi, l'orifice de sortie formé par chaque filière est positionné latéralement par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse, formant une sortie latérale, de sorte à permettre une extrusion latérale par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse. On peut aussi parler de filière radiale même pour le cas où l'axe de la filière n'est pas exactement radial par rapport à l'axe de l'extrudeuse. Il y a en effet toujours une extension de la filière selon une direction généralement radiale par rapport à l'extrudeuse. En tout état de cause, comme indiqué plus haut, il n'y a pas de filière positionnée axialement à l'extrémité formant la sortie de l'extrudeuse.

Pour appliquer un effort de compression radial par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse, on peut utiliser par exemple des éléments de vis à pas direct conventionnels qui vont pousser les particules sur un ou des malaxeurs, sans décalage d'angle ou avec un décalage d'angle, placés en fin de profil sans possibilité pour la matière solide de sortir dans le sens axial. Au lieu que le dernier élément de fourreau soit ouvert pour extruder dans le sens axial des vis,

conventionnellement, celui-ci est modifié ou complété d'un dispositif ne permettant pas la sortie du bois dans le sens axial. Il est en particulier prévu une ou plusieurs filières latérales comme exposé ci-dessus. Chaque filière peut par exemple avoir une forme allongée s'étendant latéralement par rapport au fourreau de l'extrudeuse, et ayant un orifice de filage, avec de préférence un diamètre compris entre 5 mm et 15 mm, par exemple de l'ordre de 6 mm, 8 mm, 10 mm, ou 12 mm.

La figure 4 illustre un exemple d'agencement de plusieurs filières latérales 40 par rapport au fourreau 50 d'une extrudeuse bi-vis telle que proposée. On remarque que l'extrémité axiale 51 du fourreau est dépourvue de sortie / orifice pour le passage de bois. Dans l'exemple illustré ici, la bride d'assemblage 51 est donc pleine, sans orifice de sortie laissant sortir de la matière. Si un ou des orifices axiaux existent laissant par exemple apparaître les bouts de vis et leur écrou terminal serrant le profil de vis, une étanchéité au bois est assurée dans le sens axial entre ces bouts de vis et la zone de compression radiale où se placent les filières d'extrusion radiales.

A noter aussi que l'étape (c) n'exclut pas des sorties de matière selon une direction axiale de l'extrudeuse, en particulier de fractions gazeuses comme de la vapeur d'eau et/ou de fractions liquides comme de l'eau ou eau faiblement chargée en particules de bois submicroniques conférant un aspect faiblement visqueux. Du bois peut donc éventuellement passer dans les jeux entre pièces mécaniques en étant réduit à l'état particulaire submicronique et à l'état pâteux car mélangé à la fraction liquide. Un dispositif d'étanchéité peut également empêcher tout passage liquide et/ou gazeux dans le sens axial comme présenté avec la bride d'assemblage 51.

Etape (d)

Selon une disposition particulièrement avantageuse, le procédé peut comprendre une étape (d) de séchage des granulés à la sortie de la ou les filières utilisée(s) pour sortir le bois de l'extrudeuse, densifié et conformé. Préférentiellement, les joncs sont coupés en granulés avant le séchage, même si l'inverse reste possible.

Comme indiqué précédemment, par séchage, il est entendu une opération consistant à chauffer les granulés pour faire évaporer une partie de l'eau qu'ils contiennent. Il peut être aussi provoqué partiellement ou en totalité par la convection s'opérant lors du refroidissement naturel du jonc extrudé car préalablement chauffé par le travail mécanique de la matière lors du passage à travers la filière.

Comme indiqué, précédemment, l'étape (b) permet préalablement de sécher les particules qui sont ensuite formées en granulés.

Or, les particules de bois, et donc les granulés directement en sortie de la filière, ont encore un taux d'humidité de l'ordre de 32%, alors que l'on souhaite descendre en dessous de 12% comme expliqué.

Ainsi, l'étape (d) permet de diminuer encore le taux d'humidité des granulés, avantageusement en dessous de 12%, préférentiellement entre 7% et 10%, très préférentiellement jusqu'à environ 8%. En d'autres termes, l'étape (d) est une étape de séchage de finition, qui est optionnelle dans la mesure ou les granulés ont déjà été préalablement séchés. En outre, cette étape est nécessairement plus courte et surtout moins énergivore que les étapes de séchage usuelles de l'art antérieur, car les granulés sont déjà partiellement séchés grâce au travail mécanique lors de l'étape (b).

Granulés de bois

Selon un troisième aspect, il est proposé des granulés de bois, les granulés étant obtenus selon le procédé d'extrusion de granulés de bois décrit précédemment.

On constate que non seulement le procédé pour les obtenir est plus efficace énergétiquement, plus simple et moins couteux, mais en plus ces granulés ont de meilleures propriétés physiques que ceux obtenus par les procédés connus : ces granulés ont des densités de 1.1 à 1.2 quand ils sont humides (en sortie de l'étape (c), i.e. avec un taux d'humidité de l'ordre de 32%) et au moins 0.7 voire environ 0.8 une fois séché (en sortie de l'étape (d), i.e. avec un taux d'humidité inférieur à 12%) à comparer avec les densités de 0.6 à 0.7 généralement constatées pour les granulés obtenus par les procédés connus.

Au final, les granulés de bois obtenus selon le procédé d'extrusion proposé ont un taux d'humidité inférieur à 12%, de préférence un taux d'humidité inférieur à 10%, et de préférence encore un taux d'humidité compris entre 7% et 10%, par exemple de l'ordre de 8%. De tels granulés de bois ont par ailleurs une densité d'au moins 0.7, préférentiellement d'au moins 0.8.

En outre, les granulés de bois obtenus selon le procédé d'extrusion proposé présentent la particularité, et l'avantage, de ne pas se déliter dans l'eau. On parle ainsi de granulés de bois non délitable dans l'eau. Le délitement se définit par un retour du bois à l'état de poudre particulaire proche de son état avant transformation, par un désagrègement naturel lorsqu'un granulé est mis en dans de l'eau à température ambiante autour de 20°C. Celui-

ci est observé en quelques dizaines de secondes ou minutes tout au plus avec les granulés conventionnellement produits par les presses à galets de l'art antérieur décrites en introduction. Le granulé produit par le procédé d'extrusion proposé ne se délite pas après 6 heures et même après plusieurs jours de trempage.

Rappelons que les granulés de bois obtenus selon le procédé d'extrusion proposé sont avantageusement des granulés de bois sans additifs. On peut parler de granulés de bois formés uniquement à partir de bois, c'est-à-dire consistant uniquement en du bois.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'extrusion de granulés de bois, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend au moins les étapes de :
(a) fourniture de morceaux de bois ;
(b) broyage et séchage partiel, dans une extrudeuse bi-vis comportant au moins des éléments générateurs de cisaillement, des morceaux de bois pour obtenir des particules de bois présentant un taux d'eau réduit par rapport aux morceaux de bois ;
(c) compression des particules et mise en forme dans au moins une filière pour obtenir des granulés de bois.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape (a) de fourniture de morceaux de bois comprend uniquement la fourniture de morceaux de bois tel quel sans adjonction d'un additif tel qu'un fluide.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel les éléments générateurs de cisaillement comprennent des éléments malaxeurs (20), le broyage de l'étape (b) étant réalisé en appliquant un effort de cisaillement sur les morceaux de bois, grâce aux éléments malaxeurs de l'extrudeuse.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel les éléments générateurs de cisaillement comprennent au moins un élément à pas de vis inverse (30), et dans lequel lors du broyage de l'étape (b), les morceaux de bois sont concomitamment déplacés selon une direction axiale, par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse, mais retenus par le au moins un élément à pas de vis inverse.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel lors de l'étape (b) le séchage partiel est réalisé en utilisant une chaleur générée par le broyage jusqu'à une température d'au moins 100°C.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'étape (b) comprend au moins une phase d'évacuation d'une eau extraite des fibres de bois, à l'extérieur de l'extrudeuse.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel l'étape (c) de compression est réalisée en appliquant un effort de compression radial, par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse, de sorte à pousser les particules de bois selon une direction sensiblement radiale, par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse, dans l'au moins une filière pour former au moins un jonc extrudé et obtenir après coupe, lesdits granulés de bois.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, comprenant une étape (d) de séchage final des granulés de bois à la sortie de la filière, en particulier jusqu'à un taux d'humidité inférieur à 12%.

9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel l'étape (d) est paramétrée pour l'obtention de granulés de bois présentant un taux d'humidité compris entre 7% et 10%.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 et 9, dans lequel les étapes (b), (c) et (d) sont paramétrées pour l'obtention de granulés de bois présentant un taux d'humidité inférieur à 12% et une densité d'au moins 0.7.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 et 9, dans lequel les étapes (b), (c) et (d) sont paramétrées pour l'obtention de granulés de bois présentant un taux d'humidité inférieur à 12% et une densité d'au moins 0.8.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel les morceaux de bois fournis à l'étape (a) présentent un taux d'humidité supérieur à 40%, préférentiellement de l'ordre de 55%, et les particules de bois obtenues en sortie de l'étape (b) présentent un taux d'humidité inférieur à 40%, préférentiellement entre 30% et 35%.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel les particules de bois obtenues en sortie de l'étape (b) présentent une forme ovoïde, voire sensiblement sphérique.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, dans lequel les étapes (a) et (b) sont répétées plusieurs fois avec les mêmes morceaux de bois et particules, avant de passer à l'étape (c).

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, dans lequel à l'étape (a), on fournit des morceaux de bois issus de résineux, ou des morceaux de bois issus de feuillus, ou des morceaux de bois issus d'un mélange de résineux et de feuillus.

16. Extrudeuse bi-vis corotative prévue pour l'extrusion de granulés de bois comprenant :

- deux profils de vis identiques, interpénétrées, et montées en corotation dans un alésage d'un fourreau, dans laquelle chaque profil de vis comprend un arbre sur lequel sont montés des éléments générateurs de cisaillement pour broyer et sécher des morceaux de bois afin d'obtenir des particules de bois présentant un taux d'eau réduit par rapport aux morceaux de bois, et
- au moins une filière latérale (40) formant une sortie latérale par rapport à un axe des vis de l'extrudeuse.

17. Extrudeuse bi-vis selon la revendication 16, dans laquelle chaque profil de vis comprend des moyens de compression montés sur l'arbre, pour une compression radiale, par rapport à un axe des vis de l'extrudeuse, des particules de bois en direction de la au moins une filière latérale.

18. Extrudeuse bi-vis selon l'une quelconque des revendications 16 et 17, dans laquelle les moyens de compression comprennent des éléments de vis à pas direct et des éléments malaxeurs placés en fin de profil de vis, les éléments de vis à pas direct étant agencés pour pousser les particules de bois sur les éléments malaxeurs.

19. Extrudeuse bi-vis selon l'une quelconque des revendications 16 à 18, dans lequel le fourreau est dépourvu de sortie de bois selon une direction parallèle aux axes des vis de l'extrudeuse.

20. Extrudeuse bi-vis selon l'une quelconque des revendications 16 à 19, dans lequel les éléments générateurs de cisaillement comprennent des éléments malaxeurs (20).

21. Extrudeuse bi-vis selon la revendication 20, dans lequel les éléments générateurs de cisaillement comprennent au moins un élément à pas de vis inverse (30).

22. Extrudeuse bi-vis selon la revendication 21, dans lequel le au moins un élément à pas de vis inverse (30) est directement placé en sortie des éléments malaxeurs (20).

23. Extrudeuse bi-vis selon la revendication 21, dans lequel chaque profil de vis comprend au moins un élément de pas de vis direct directement placé en sortie des éléments malaxeurs (20) et juste avant le au moins un élément à pas de vis inverse (30).

24. Granulé de bois obtenu susceptible d'être obtenu selon le procédé d'extrusion de granulés de bois selon l'une des revendications 1 à 15, présentant un taux d'humidité inférieur à 12% et une densité d'au moins 0.7, le granulé de bois étant non délitable dans l'eau.

25. Granulé de bois selon la revendication 24, étant formé uniquement de bois et ne comprenant en particulier aucun additif.

26. Granulé de bois selon l'une quelconque des revendications 24 et 25, présentant un taux d'humidité compris entre 7% et 10%.

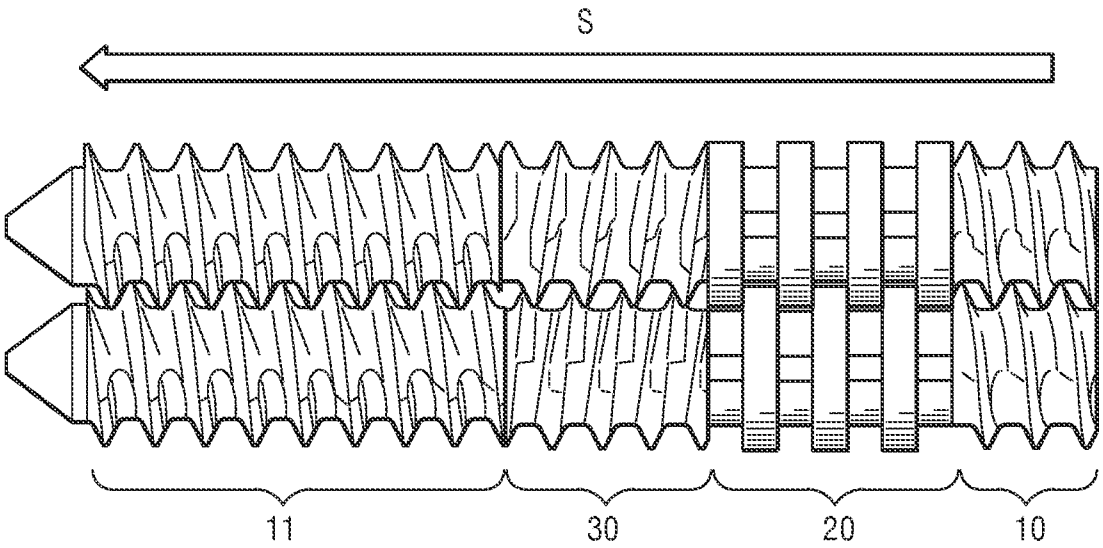


Fig. 1

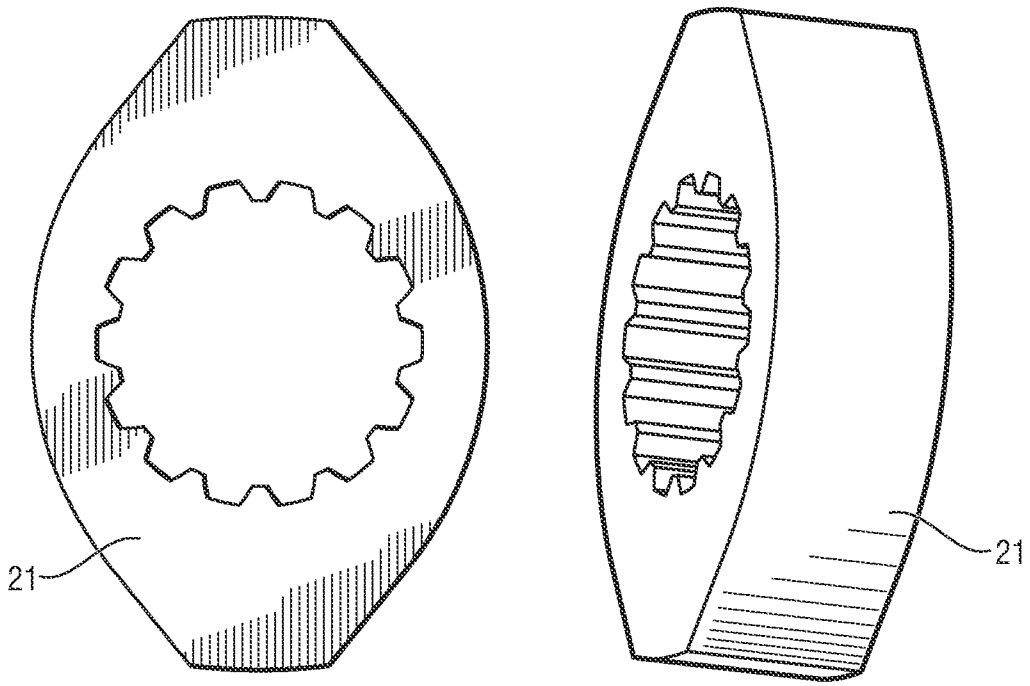


Fig. 2

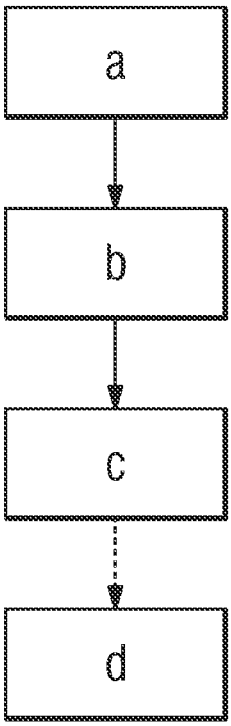


Fig. 3

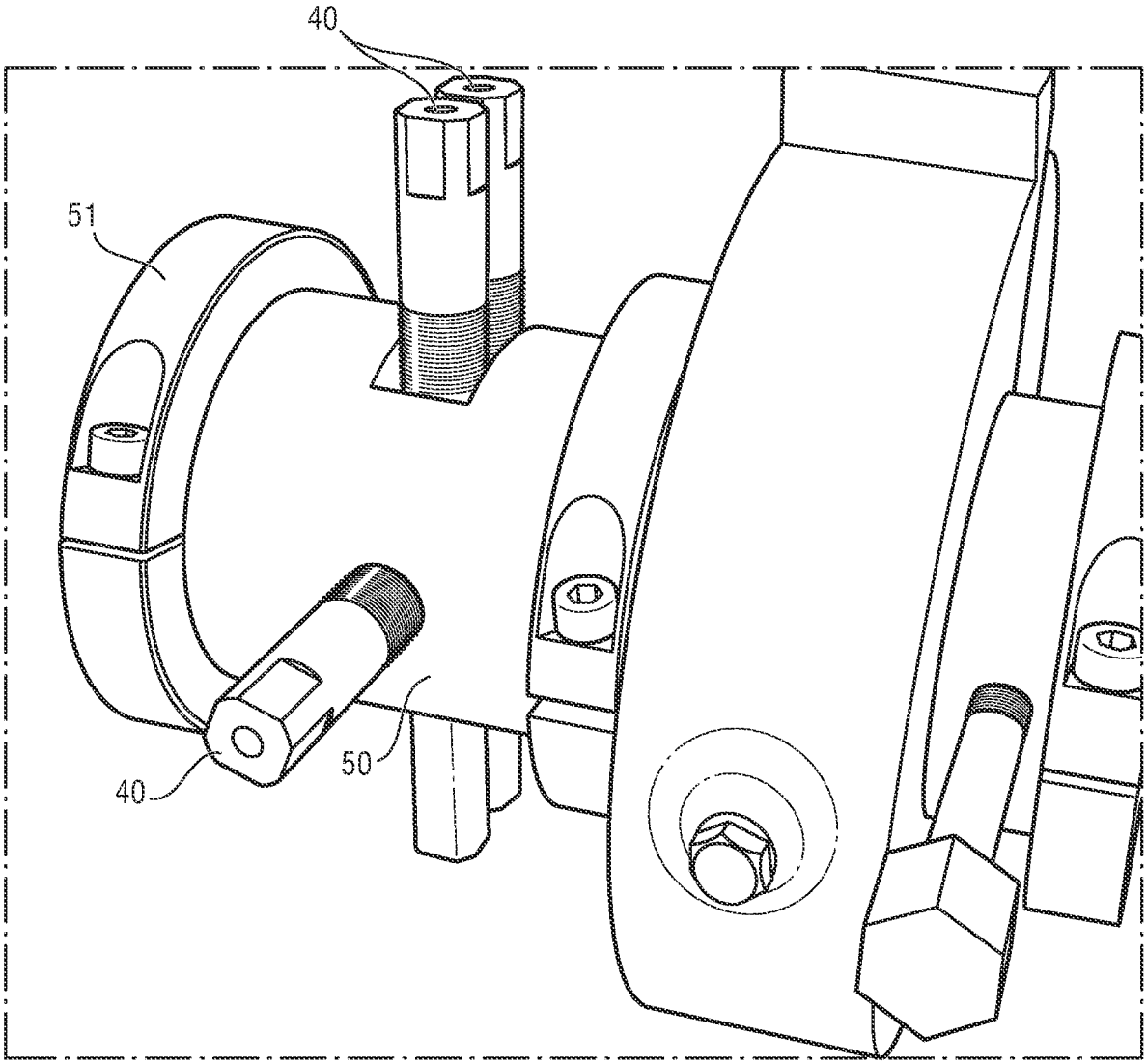


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/FR2022/052287

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C10L 5/44(2006.01)i; ***C10L 5/36***(2006.01)i; ***B27L 11/00***(2006.01)i; ***B29C 48/345***(2019.01)i; ***B29C 48/405***(2019.01)i

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)

C10L; B27M; B27L; 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	KR 101007651 B1 (NAT FORESTY COOPERATIVES FEDERATION [KR]) 13 January 2011 (2011-01-13)	24-26
A	paragraphs [0001], [0022], [0032], [0033], [0037] - [0039], [0048] table 2 claim 1	1-23
Y	WO 2010134208 A1 (NISSEI COMPANY LTD [JP]; NAKAMURA ATSUSHI [JP]; TANAKA HIDEAKI [JP]) 25 November 2010 (2010-11-25) paragraphs [0002], [0010], [0017] figures 1,2,6,8-10	16-23
Y	EP 2565004 A1 (WPC CORP [JP]) 06 March 2013 (2013-03-06) paragraphs [0001], [0091], [0092] figures 1,2,5,14,15	16-23
A	US 2009218720 A1 (CHEN HONG [AU] ET AL) 03 September 2009 (2009-09-03) paragraphs [0003], [0031], [0037], [0042] figures 3,4	16-23

☑ 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	Date of mailing of the international search report
22 March 2023	**29 March 2023**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Chariot, David** Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 1048481 A (WELDING ENGINEERS) 22 December 1953 (1953-12-22) page 5, paragraphs 5,8 figures 20,21	1-26
A	KR 101877560 B1 (T ENERGY CO LTD [KR]) 24 July 2018 (2018-07-24) paragraphs [0001], [0011], [0013], [0038], [0055], [0062], [0146] figures	1-26
A	FR 3045659 A1 (DENEUX LIONEL [FR]; DENEUX JANINE [FR]) 23 June 2017 (2017-06-23) page 6, line 29 - page 7, line 9 figures	1-26
A	PT 105275 A (UNIV TRAS-OS-MONTES E ALTO DOURO) 29 February 2012 (2012-02-29) paragraphs [0015], [0016], [0021] - [02^6] figure 1	1-26
A	US 2020263103 A1 (CAMPBELL GREGORY [US] ET AL) 20 August 2020 (2020-08-20) paragraphs [0001], [0002], [0009] figure 1	1-26

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/FR2022/052287

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
KR	101007651	B1	13 January 2011	NONE			
WO	2010134208	A1	25 November 2010	JP	4846861	B2	28 December 2011
				JP	2011000881	A	06 January 2011
				WO	2010134208	A1	25 November 2010
EP	2565004	A1	06 March 2013	AU	2011246076	A1	08 November 2012
				BR	112012027401	A2	08 August 2017
				CA	2796753	A1	03 November 2011
				CN	102869484	A	09 January 2013
				EP	2565004	A1	06 March 2013
				KR	20130020783	A	28 February 2013
				MY	155443	A	15 October 2015
				RU	2012150992	A	10 June 2014
				US	2013065053	A1	14 March 2013
				WO	2011136273	A1	03 November 2011
US	2009218720	A1	03 September 2009	AR	032435	A1	12 November 2003
				BR	0016408	A	20 August 2002
				CA	2394453	A1	21 June 2001
				CN	1414898	A	30 April 2003
				CZ	20022409	A3	15 January 2003
				EP	1248700	A1	16 October 2002
				GT	200000215	A	08 June 2002
				JP	2003516880	A	20 May 2003
				KR	20020070320	A	05 September 2002
				MX	PA02006020	A	05 December 2002
				MY	126718	A	31 October 2006
				NZ	519813	A	30 May 2003
				PA	8508801	A1	21 February 2002
				PE	20010937	A1	20 September 2001
				PL	355504	A1	04 May 2004
				SV	2001000241	A	24 October 2001
				TW	533122	B	21 May 2003
				US	2003146539	A1	07 August 2003
				US	2006061007	A1	23 March 2006
				US	2009218720	A1	03 September 2009
				WO	0143931	A1	21 June 2001
FR	1048481	A	22 December 1953	BE	506118	A	24 March 2023
				FR	1048481	A	22 December 1953
				GB	733911	A	20 July 1955
KR	101877560	B1	24 July 2018	NONE			
FR	3045659	A1	23 June 2017	NONE			
PT	105275	A	29 February 2012	PT	105275	A	29 February 2012
				WO	2012028908	A1	08 March 2012
US	2020263103	A1	20 August 2020	NONE			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2022/052287

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. C10L5/44 C10L5/36 B27L11/00 B29C48/345 B29C48/405
ADD.

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)
C10L B27M B27L 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	KR 101 007 651 B1 (NAT FORESTY COOPERATIVES FEDERATION [KR]) 13 janvier 2011 (2011-01-13)	24-26
A	alinéas [0001], [0022], [0032], [0033], [0037] - [0039], [0048] tableau 2 revendication 1	1-23

Y	WO 2010/134208 A1 (NISSEI COMPANY LTD [JP]; NAKAMURA ATSUSHI [JP]; TANAKA HIDEAKI [JP]) 25 novembre 2010 (2010-11-25) alinéas [0002], [0010], [0017] figures 1,2,6,8-10	16-23

	-/--	

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

[X] 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	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
22 mars 2023	29/03/2023

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Chariot, David

3

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	EP 2 565 004 A1 (WPC CORP [JP]) 6 mars 2013 (2013-03-06) alinéas [0001], [0091], [0092] figures 1,2,5,14,15	16-23
A	US 2009/218720 A1 (CHEN HONG [AU] ET AL) 3 septembre 2009 (2009-09-03) alinéas [0003], [0031], [0037], [0042] figures 3,4	16-23
A	FR 1 048 481 A (WELDING ENGINEERS) 22 décembre 1953 (1953-12-22) page 5, alinéas 5,8 figures 20,21	1-26
A	KR 101 877 560 B1 (T ENERGY CO LTD [KR]) 24 juillet 2018 (2018-07-24) alinéas [0001], [0011], [0013], [0038], [0055], [0062], [0146] figures	1-26
A	FR 3 045 659 A1 (DENEUX LIONEL [FR]; DENEUX JANINE [FR]) 23 juin 2017 (2017-06-23) page 6, ligne 29 - page 7, ligne 9 figures	1-26
A	PT 105 275 A (UNIV TRAS-OS-MONTES E ALTO DOURO) 29 février 2012 (2012-02-29) alinéas [0015], [0016], [0021] - [02^6] figure 1	1-26
A	US 2020/263103 A1 (CAMPBELL GREGORY [US] ET AL) 20 août 2020 (2020-08-20) alinéas [0001], [0002], [0009] figure 1	1-26

3

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/FR2022/052287

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
KR 101007651 B1	13-01-2011	AUCUN	
WO 2010134208 A1	25-11-2010	JP 4846861 B2	28-12-2011
		JP 2011000881 A	06-01-2011
		WO 2010134208 A1	25-11-2010
EP 2565004 A1	06-03-2013	AU 2011246076 A1	08-11-2012
		BR 112012027401 A2	08-08-2017
		CA 2796753 A1	03-11-2011
		CN 102869484 A	09-01-2013
		EP 2565004 A1	06-03-2013
		KR 20130020783 A	28-02-2013
		MY 155443 A	15-10-2015
		RU 2012150992 A	10-06-2014
		US 2013065053 A1	14-03-2013
		WO 2011136273 A1	03-11-2011
US 2009218720 A1	03-09-2009	AR 032435 A1	12-11-2003
		BR 0016408 A	20-08-2002
		CA 2394453 A1	21-06-2001
		CN 1414898 A	30-04-2003
		CZ 20022409 A3	15-01-2003
		EP 1248700 A1	16-10-2002
		GT 200000215 A	08-06-2002
		JP 2003516880 A	20-05-2003
		KR 20020070320 A	05-09-2002
		MX PA02006020 A	05-12-2002
		MY 126718 A	31-10-2006
		NZ 519813 A	30-05-2003
		PA 8508801 A1	21-02-2002
		PE 20010937 A1	20-09-2001
		PL 355504 A1	04-05-2004
		SV 2001000241 A	24-10-2001
		TW 533122 B	21-05-2003
		US 2003146539 A1	07-08-2003
		US 2006061007 A1	23-03-2006
		US 2009218720 A1	03-09-2009
		WO 0143931 A1	21-06-2001
FR 1048481 A	22-12-1953	BE 506118 A	22-03-2023
		FR 1048481 A	22-12-1953
		GB 733911 A	20-07-1955
KR 101877560 B1	24-07-2018	AUCUN	
FR 3045659 A1	23-06-2017	AUCUN	
PT 105275 A	29-02-2012	PT 105275 A	29-02-2012
		WO 2012028908 A1	08-03-2012
US 2020263103 A1	20-08-2020	AUCUN	