

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 130 183**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②1 N° d'enregistrement national : **21 13217**

⑤1 Int Cl⁸ : **B 27 L 11/02 (2022.01), C 10 L 5/44**

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 09.12.21.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 16.06.23 Bulletin 23/24.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : UNIVERSITE JEAN MONNET SAINT ETIENNE (EPSCP) — FR, UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1 (EPSCP) — FR, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EPST) — FR et INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON (EPSCP) — FR.

⑦2 Inventeur(s) : BECQUART Frédéric, CARROT Christian et GHRIGA Mohammed Abdelfetah.

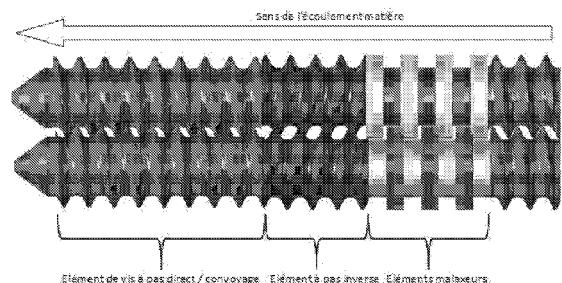
⑦3 Titulaire(s) : UNIVERSITE JEAN MONNET SAINT ETIENNE (EPSCP), UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1 (EPSCP), CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EPST), INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON (EPSCP).

⑦4 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

⑤4 Procédé d'extrusion bivis de granulés de bois.

⑤7 La présente invention concerne 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 ; (d) compression des particules et mise en forme dans au moins une filière pour obtenir des granulés.

Figure pour l'abrégié: Fig. 1



FR 3 130 183 - A1



Description

Titre de l'invention : Procédé d'extrusion bivis de granulés de bois

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne le domaine de l'extrusion bivis de granulés de bois.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] 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 de la matière première qui est classée comme déchet de sciage provenant de la transformation du bois).

[0003] 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, impactants 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.

[0004] Le procédé de fabrication de granulés disponible sur le marché se compose d'une presse circulaire qui force par des galets, deux en général, du bois 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.

[0005] Les coûts d'investissement et les infrastructures 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.

[0006] 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 m³, 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, se retrouvent de fait avec des stocks

de sciure actuellement non valorisables.

[0007] Le 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 existant actuellement.

[0008] Par une transformation d'un bois préalablement fortement séché et donc très dur, les ruptures mécaniques, en particulier des roulements à billes des galets, sont régulières générant des interruptions de production courantes aléatoires et des coûts de maintenance impactants les coûts globaux.

[0009] **ANISOTROPIE NATURELLE DU BOIS ET CONSEQUENCE DANS LES PROCEDES**

[0010] 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 qui 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.

[0011] 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.

[0012] 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 ou d'un autre liquide).

Exposé de l'invention

[0013] Selon un premier aspect, l'invention 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) compression des particules et mise en forme dans au moins une filière pour obtenir des granulés.

[0014] Selon des caractéristiques avantageuses et non limitatives :

[0015] L'étape (a) de fourniture de morceaux de bois comprend uniquement la fourniture de morceaux de bois tel quel sans adjonction d'un fluide.

[0016] 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 morceaux de bois étant concomitamment déplacés selon une direction axiale, par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse, mais retenus par les des éléments à pas de vis inverse.

[0017] Lors de l'étape (b) le séchage est réalisé en utilisant une chaleur générée par le broyage jusqu'à une température d'au moins 100°C.

[0018] L'étape (b) comprend au moins une phase d'évacuation d'une eau extraite des fibres de bois, à l'extérieur de l'extrudeuse.

[0019] 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 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.

[0020] Le procédé comprend une étape (d) de séchage des granulés à la sortie de la filière, en particulier jusqu'à un taux d'humidité inférieur à 12%.

[0021] 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%.

- [0022] Les particules de bois obtenues en sortie de l'étape (b) présentent une forme ovoïde, voire sensiblement sphérique.
- [0023] Les étapes (a) et (b) sont répétées plusieurs fois avec les mêmes morceaux de bois et particules, avant de passer à l'étape (c).
- [0024] 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.
- [0025] Selon un troisième aspect, est proposé un granulé de bois obtenu selon le procédé d'extrusion de granulés de bois selon le premier aspect.
- [0026] 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.

DESCRIPTION DES FIGURES

- [0027] 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 :
- [0028] La [Fig.1] représente un exemple d'extrudeuse bi-vis présentant les différents types d'éléments usuels constituant un profil de vis pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.
- [0029] La [Fig.2] représente un exemple d'élément malaxeur d'une extrudeuse bi-vis pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.
- [0030] La [Fig.3] représente schématiquement les étapes d'un mode de réalisation du procédé selon l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

- [0031] L'invention propose un procédé d'extrusion de granulés de bois. Typiquement ce procédé peut être mis en œuvre avec une extrudeuse bimis corotative.
- [0032] *Extrudeuse bi-vis*
- [0033] Selon un premier aspect, l'invention propose une extrudeuse bimis corotative adaptée pour mettre en œuvre le procédé selon l'invention. C'est un procédé continu. On note qu'on peut en pratique utiliser une succession d'extrudeuses bimis, de sorte que le présent procédé ne sera pas limité à une unique extrudeuse bimis.
- [0034] D'une manière connue, une extrudeuse bimis 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 entraînées 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.

- [0035] Les particularités et avantages d'une extrudeuse de ce type, usuellement utilisée pour transformer une matière visqueuse en capacité de s'écouler, sont dues :
- [0036] – 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 bavis, voir plus loin.
- A la modularité du fourreau (détaillé plus loin)
- La diversité de filières possibles, par leur désign 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.
- [0037] 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. 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.
- [0038] 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
- [0039] La matière sortante de l'extrudeuse et de son système de fourreau / vis sera

conformée au moyen d'une seule filière, en général, 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.

[0040] En référence à la [Fig.1], les éléments couramment utilisés pour constituer un profil de vis sont :

- [0041] – Les éléments de vis à pas direct 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 ([Fig.1], au milieu) 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 l'on verra.
- Les éléments malaxeurs, appelés en anglais Wide Kneading Elements (KNE) ou Thin Kneading Element (TKE), sont utilisés pour générer du cisaillement (mélange dispersif) et du mélange distributif de systèmes visqueux (voir la [Fig.2]). Leur section est identique ou ne dépasse pas celle de la 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 ([Fig.1], 8 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 fa-

bricants proposent des blocs de malaxeurs directement construits en monobloc et non par l'assemblage de malaxeurs individuellement.

[0042] 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.

[0043] En revanche, les profils géométriques de chaque vis sont choisis pour permettre la mise en œuvre du procédé selon l'invention. Ils sont constitués des mêmes séquences d'éléments de sorte à pouvoir s'interpénétrer, être conjugués et autonettoyants et entrer en rotation sans interférer mécaniquement.

[0044] 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. Etant 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 :

- [0045] – 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 selon l'invention. D'autres ouvertures additionnelles peuvent venir en complément pour évacuer des extractions liquides, par simple gravité, à base d'eau dans le cadre de l'invention.

[0046] *Procédé d'extrusion*

[0047] Selon un autre aspect, l'invention concerne un procédé d'extrusion de granulés de bois.

[0048] 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 diffèrent fortement de la forme sphérique idéale pour espérer une isotropie. 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.

[0049] En référence à la [Fig.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%, 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 sphères : 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 ré-humidifié, 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 traitement mécanique du bois tel qu'un malaxage.

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 ;

(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.

[0050] *Etape (a)*

[0051] L'étape (a) de fourniture de morceaux de bois consiste essentiellement en l'introduction dans une extrudeuse bi-vis de morceaux de bois.

[0052] 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.

[0053] 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 co-produits d'arbres transformés ou de bois à recycler post-usage, en fin de vie.

[0054] *Etape (b)*

[0055] 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.

[0056] 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.

[0057] A ce titre, l'extrudeuse bi-vis comprend dans son profil de vis au moins une série d'éléments malaxeurs formant un bloc de ce type d'élément (formant une zone de « malaxage ») et des éléments à pas de vis inverse, disposés dans cet ordre. Les éléments malaxeurs 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, idéalement courte, pour générer une force de poussée axiale dans le bloc composé de plusieurs malaxeurs et nourrir ainsi efficacement la zone de malaxage sans bourrage et. Les éléments à pas de vis inverse sont directement placés en sortie des éléments malaxeurs 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 en sortie des éléments à pas de vis inverse pour convoier des particules qui vont être obtenues.

[0058] Les élément 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. 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 bivirus.

[0059] Par ailleurs, les éléments malaxeurs permettent une densification en sortie par com-

pression (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.

- [0060] L'étape (b) est également une étape de séchage, dans l'extrudeuse, du bois transformé pour réduire son taux d'eau.
- [0061] 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.
- [0062] 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.
- [0063] En d'autres termes, l'énergie dissipée lors du broyage de la matière transformée, par le travail mécanique exercé sur la matière cisailée, génère un auto-échauffement qui permet de sécher le bois, avantageusement un autoéchauffement 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.
- [0064] 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. 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'autoéchauffement 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%). 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 fait en pratique qu'améliorer les propriétés des particules, voir plus loin.
- [0065] 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 130-160°C.
- [0066] 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 de 35% de de l'eau naturellement présente dans le bois.

- [0067] 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.
- [0068] *Répétition des étapes (a) et (b)*
- [0069] 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).
- [0070] *Etape (c)*
- [0071] L'étape (c) est une étape de compression des particules et mise en forme dans une ou plusieurs filières pour obtenir un ou plusieurs jons de bois qui, coupés postérieurement à la sortie de l'extrudeuse, donneront des granulés.
- [0072] 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.
- [0073] On utilise ici 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. A noter 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. Du bois peut 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.
- [0074] *Etape (d)*
- [0075] 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 jonc sont coupés en granulés avant le séchage, Même si l'inverse reste possible.
- [0076] 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.
- [0077] Comme indiqué, précédemment, l'étape (b) permet préalablement de sécher les

particules qui sont ensuite formées en granulés.

[0078] 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 qu'il faut descendre en dessous de 12% comme expliqué.

[0079] Ainsi, l'étape (d) permet de diminuer encore la teneur en eau 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 où 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).

[0080] *Granulés de bois*

[0081] Selon un troisième aspect, l'invention concerne des granulés de bois, les granulés étant obtenus selon un procédé selon l'invention.

[0082] On constate que non seulement le procédé pour les obtenir est plus efficace énergétiquement, plus simple et moins coûteux, mais en plus ces granulés ont de meilleures propriétés physiques que ceux obtenus par les procédés connus, du fait des formes ovoïdes voire sphériques des particules qui les composent : 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.

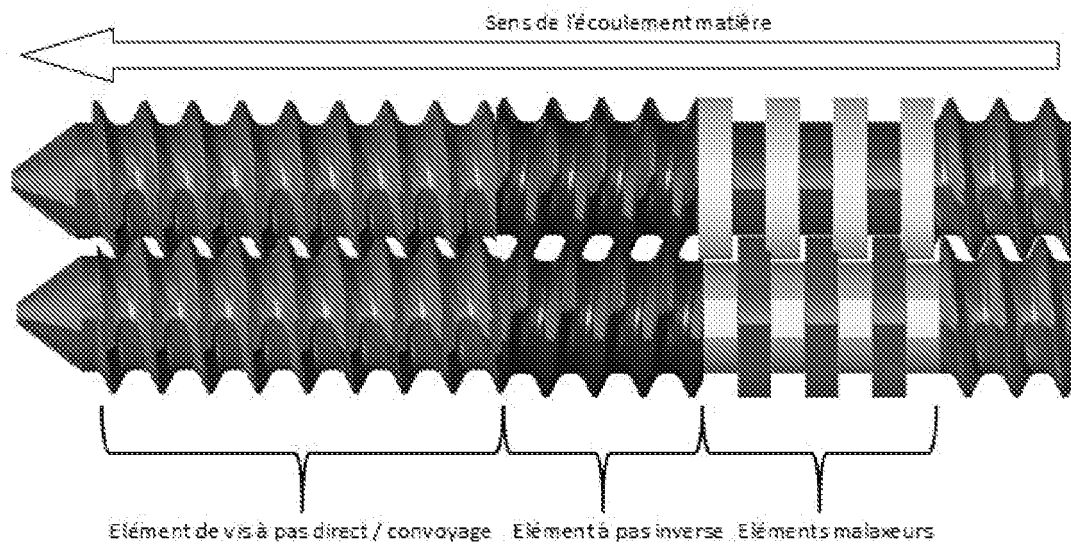
Revendications

- [Revendication 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, 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) compression des particules et mise en forme dans au moins une filière pour obtenir des granulés.
- [Revendication 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 fluide.
- [Revendication 3] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel 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 morceaux de bois étant concomitamment déplacés selon une direction axiale, par rapport à l'axe des vis de l'extrudeuse, mais retenus par les des éléments à pas de vis inverse.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel lors de l'étape (b) le séchage est réalisé en utilisant une chaleur générée par le broyage jusqu'à une température d'au moins 100°C.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, 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.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, 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 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.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant une étape (d) de séchage des granulés à la sortie de la filière, en particulier jusqu'à un taux d'humidité inférieur à 12%.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, 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

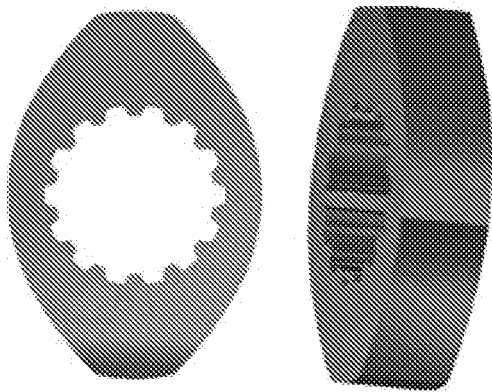
de bois obtenues en sortie de l'étape (b) présentent un taux d'humidité inférieur à 40%, préférentiellement entre 30 et 35%.

- [Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel les particules de bois obtenues en sortie de l'étape (b) présentent une forme ovoïde, voire sensiblement sphérique.
- [Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, 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).
- [Revendication 11] Extrudeuse bi-vis adaptée pour mettre en œuvre le procédé d'extrusion de granulés de bois selon l'une des revendications 1 à 10.
- [Revendication 12] Granulé de bois obtenu selon le procédé d'extrusion de granulés de bois selon l'une des revendications 1 à 10.
- [Revendication 13] Granulé de bois selon la revendication 12, présentant un taux d'humidité inférieur à 12% et une densité d'au moins 0.7, préférentiellement au moins 0.8.

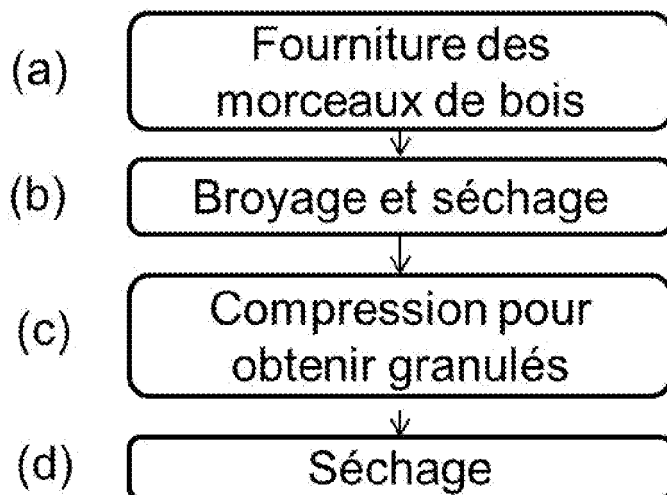
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 901099
FR 2113217

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	FR 1 048 481 A (WELDING ENGINEERS) 22 décembre 1953 (1953-12-22)	11	B27L11/02 C10L5/44
A	* page 5, alinéas 5,8 * * figures 20,21 *	1-10,12, 13	
X	KR 101 877 560 B1 (T ENERGY CO LTD [KR]) 24 juillet 2018 (2018-07-24)	12,13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	* alinéas [0001], [0011], [0013], [0038], [0055], [0062], [0146] * * figures *	1-11	
X	FR 3 045 659 A1 (DENEUX LIONEL [FR]; DENEUX JANINE [FR]) 23 juin 2017 (2017-06-23)	12	C10L B27M B27L
A	* page 6, ligne 29 - page 7, ligne 9 * * figures *	1-11,13	
A	PT 105 275 A1 (UNIV TRAS-OS-MONTES E ALTO DOURO) 29 février 2012 (2012-02-29)	1-13	
	* alinéas [0015], [0016], [0021] - [02^6] * * figure 1 *		
A	US 2020/263103 A1 (CAMPBELL GREGORY [US] ET AL) 20 août 2020 (2020-08-20)	1-13	
	* alinéas [0001], [0002], [0009] * * figure 1 *		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
27 juin 2022		Chariot, David	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2113217 FA 901099**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **27-06-2022**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 1048481	A	22-12-1953	BE 506118 A	27-06-2022
			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	A1	29-02-2012	-----	
US 2020263103	A1	20-08-2020	AUCUN	
