

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 123 362

21 N° d'enregistrement national : 21 05436

51 Int Cl⁸ : C 10 L 5/44 (2020.12)

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 25.05.21.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 02.12.22 Bulletin 22/48.

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) : EUROPEENNE DE BIOMASSE SAS
— FR.

72 Inventeur(s) : MARTEL Frédéric, QUINTERO-MAR-
QUEZ Adriana et DESPRES Jean-Luc.

73 Titulaire(s) : EUROPEENNE DE BIOMASSE SAS.

74 Mandataire(s) : AVOXA RENNES.

54 Procédé de fabrication en continu d'une matière combustible par décompression explosive s'opérant par paliers.

57 L'invention concerne un procédé de fabrication en continu d'une matière combustible à partir de biomasse comprenant :

- exposition de la biomasse introduite en continu dans un réacteur à de ladite vapeur d'eau à une pression comprise entre 15,3 et 22,9 bars pendant une durée suffisante pour obtenir un vapocraquage ;

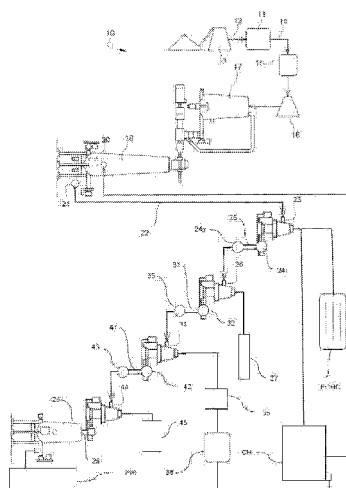
- extraction en continu dudit réacteur d'une partie de la biomasse contenue dans le réacteur.

Selon l'invention, un tel procédé comprend :

- un transfert de ladite biomasse extraite dudit réacteur dans un conduit jusqu'à des moyens de séparation dans lesquels la pression de vapeur est comprise entre 7 et 8 bars ; une étape de séparation d'une portion de la vapeur extraite dudit réacteur avec ladite biomasse et de ladite biomasse ;

- une étape de dépressurisation de ladite biomasse séparée de ladite portion de vapeur jusqu'à la pression atmosphérique.

Figure à publier : 1



FR 3 123 362 - A1



Description

Titre de l'invention : Procédé de fabrication en continu d'une matière combustible par décompression explosive s'opérant par paliers

Domaine de l'invention

- [0001] Le domaine de l'invention est celui de la production de combustibles à base de biomasse.
- [0002] Plus précisément, l'invention concerne un procédé de fabrication en continu d'une matière combustible à partir de biomasse lignocellulosique.
- [0003] L'invention trouve également une application dans la fabrication de matière combustible pour chaudières ou pour fours industriels, et pour des chaudières et poêles domestiques.

Art antérieur

- [0004] La biomasse, et en particulier la biomasse lignocellulosique provenant de l'exploitation forestière ou la production agricole, est à l'état brut une matière peu dense, périssable et qui présente de grandes disparités. Il est donc nécessaire de la transformer pour pouvoir l'utiliser dans des chaudières ou des fours industriels, mais aussi pour faciliter son transport et son stockage.
- [0005] Il est connu de mettre en œuvre des techniques de carbonisation, de torréfaction, ou encore par des techniques dites de « steam explosion » combinant un vapocraquage avec une décompression explosive, discontinue ou continue, pour transformer de la biomasse lignocellulosique en un combustible stable et de qualité sensiblement constante, possédant un pouvoir calorifique important.
- [0006] Un inconvénient de la technique de carbonisation est que lors de la transformation une quantité massique importante, généralement de l'ordre de 70 à jusqu'à 80%, de matière est perdue, ce qui rend les combustibles obtenus par cette technique onéreux.
- [0007] Les pertes de matière sont également importantes, et d'environ 10 à 20%, avec la technique de torréfaction, qui par ailleurs présente en outre l'inconvénient d'être coûteuse à mettre en œuvre et de nécessiter une mise en œuvre sous une atmosphère inerte pour éviter un risque de combustion, qui représente un danger.
- [0008] Les techniques connues de vapocraquage continu ou de « steam explosion » discontinue peuvent permettre de limiter les pertes massiques de matière. Toutefois, on constate qu'une matière volatile riche en énergie peut être libérée et perdue par ce procédé, ce qui peut réduire assez fortement le pouvoir final calorifique du produit final obtenu par ces procédés connus.
- [0009] Le document WO2006/006863 A1 décrit une technique de « steam explosion » en

batch dans laquelle la décompression explosive est réalisée en deux étapes. Dans une première étape, une partie de la vapeur d'eau contenue dans le réacteur est transférée dans un second réacteur, afin de limiter les pertes d'énergie et dans une seconde étape, la biomasse ayant subi un vapocraquage est évacuée avec la vapeur d'eau résiduelle dans une enceinte de vidange, sous l'effet de la détente.

- [0010] Cette technique connue présente l'inconvénient d'être complexe et couteuse à mettre en œuvre, du fait qu'elle nécessite deux réacteurs et une enceinte présentant un volume interne environ 13 à 19 fois supérieur à celui des réacteurs pour pouvoir assurer la détente et qui soit apte à résister aux chocs explosifs.
- [0011] Par ailleurs, la productivité de cette technique de production connue est limitée, car il est nécessaire de vider l'enceinte de vidange après le traitement de chaque lot de matière, avant d'introduire de la nouvelle matière à traiter dans les réacteurs.
- [0012] On connaît également du document WO 2017/089648 A1 une technique de traitement de biomasse par « steam explosion » en continu, dans laquelle la matière sortant du réacteur subit une décompression explosive au cours de laquelle la pression est abaissée en dessous de 5 bars en une seule étape, ceci afin de permettre une défilbrillation convenable de la matière traitée. Un inconvénient de cette technique connue est qu'une quantité de matière encore trop importante est entraînée avec la vapeur rejetée.

Objectifs de l'invention

- [0013] L'invention a donc notamment pour objectif de pallier les inconvénients de l'art antérieur cités ci-dessus.
- [0014] Plus précisément l'invention a pour objectif de fournir une technique de fabrication en continu de matière combustible à partir de biomasse lignocellulosique par « steam explosion » qui permette d'améliorer le pouvoir calorifique de la matière combustible tout en limitant les pertes de matière sous forme de composés volatils condensables à taux de carbone important.
- [0015] Un objectif de l'invention est également de fournir une telle technique qui permette d'obtenir une matière combustible apte à être transformée en granulés, aussi communément appelés « pellets ».
- [0016] Un autre objectif de l'invention est de fournir une telle technique qui permette de réduire la granulométrie de la matière combustible.
- [0017] Un objectif de l'invention est également de proposer une telle technique qui permette d'augmenter la cohésion et la résistance à l'eau de la matière combustible.
- [0018] Encore un objectif de l'invention est de fournir une telle technique qui soit simple à mettre en œuvre, et d'un coût de revient réduit.

Exposé de l'invention

- [0019] Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite sont atteints à l'aide d'un procédé de fabrication en continu d'une matière combustible, destinée notamment à une chaudière industrielle, à partir de biomasse lignocellulosique comprenant les étapes suivantes :
- [0020] - introduction en continu d'une masse prédéterminée par minute de ladite biomasse dans un réacteur sous pression, ledit réacteur étant alimenté en vapeur d'eau sensiblement saturée, dont la pression est comprise entre 15,3 et 22,9 bars et/ou la température est comprise entre 200 et 220°C une fois introduite dans le réacteur ;
- [0021] - exposition de la biomasse introduite dans ledit réacteur à ladite vapeur d'eau pendant une durée suffisante pour obtenir un vapocraquage ;
- [0022] - extraction en continu dudit réacteur d'une partie de la biomasse contenue dans le réacteur par minute.
- [0023] Dans le cadre de l'invention, on entend par biomasse lignocellulosique de la biomasse d'origine agricole ou forestière comprenant de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine, telle que du bois brut, des résidus forestiers, des déchets ou co-produits de l'industrie de transformation du bois (sciure, copeaux de bois, éclats ...), des bois traités, des palettes, de la biomasse issue de l'exploitation de taillis, de miscanthus, de fétuque, de bambou, ... , des déchets ou coproduits ligneux des cultures agricoles (paille, herbe, ...) ou de l'industrie agroalimentaire (bagasse, ...), ou des déchets verts, ligneux ou destinés à être recyclés provenant des déchetteries et toute combinaison de ceux-ci.
- [0024] Selon l'invention, un tel procédé comprend :
- [0025] – une étape de décompression explosive comprenant un transfert de ladite biomasse extraite dudit réacteur dans un conduit jusqu'à des moyens de séparation dans lesquels la pression de vapeur est comprise entre 7 et 8 bars ;
- une étape de séparation dans lesdits moyens de séparation d'une portion de la vapeur extraite dudit réacteur avec ladite biomasse et de ladite biomasse ;
- [0026] - une étape de dépressurisation de ladite biomasse séparée de ladite portion de vapeur jusqu'à ce que la pression exercée sur la biomasse soit égale à la pression atmosphérique, ladite biomasse à pression atmosphérique formant ladite matière combustible.
- [0027] Ainsi, de façon inédite, l'invention propose de procéder à une décompression explosive de la matière sortant du réacteur en plusieurs étapes, dont une première dans laquelle la pression est ramenée entre 7 et 8 bars, ce qui permet une défibrillation convenable de la biomasse tout en limitant sensiblement les pertes de matière à des pertes de composés volatils de faible pouvoir calorifique. Par ailleurs lors de l'étape de dépressurisation, la quantité de vapeur résiduelle étant réduite, une quantité plus faible de composés organiques valorisables d'intérêt est entraînée avec celle-ci.

- [0028] Dans un mode de réalisation avantageux de l'invention, ladite étape de dépressurisation jusqu'à la pression atmosphérique comprend au moins une étape de décompression explosive supplémentaire comprenant un transfert dans un conduit de ladite biomasse des moyens de séparation jusqu'à des moyens de séparation supplémentaires dans lesquels la pression de vapeur est inférieure ou égale à 4 bars et une étape de séparation dans lesdits moyens de séparation supplémentaire d'une portion de la vapeur entrant dans lesdits moyens de séparation supplémentaire et de ladite biomasse.
- [0029] Ainsi, en prévoyant une étape supplémentaire de décompression explosive, on extrait des composés d'intérêts plus riches en carbone que ceux extraits lors que la première étape de décompression explosive jusqu'à 7 à 8 bars, mais dans une quantité limitée, environ 10 fois plus faible que celle des composés extraits lors de la première étape, ce qui à nouveau limite les pertes de matière à fort pouvoir calorifique. Ces composés extraits peuvent par ailleurs être valorisés.
- [0030] Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, ladite étape de dépressurisation jusqu'à la pression atmosphérique comprend :
- [0031] - une première étape de décompression explosive supplémentaire comprenant un transfert dans un conduit de ladite biomasse des moyens de séparation jusqu'à des premiers moyens de séparation supplémentaires dans lesquels la pression de vapeur est comprise entre 3,5 et 4 bars et une étape de séparation dans lesdits premiers moyens de séparation supplémentaires d'une portion de la vapeur entrant dans lesdits premiers moyens de séparation supplémentaires et de ladite biomasse,
- [0032] - une deuxième étape de décompression explosive supplémentaire comprenant un transfert dans un conduit de ladite biomasse des premiers moyens de séparation supplémentaires jusqu'à des deuxièmes moyens de séparation supplémentaires dans lesquels la pression de vapeur est comprise entre 1,8 et 2 bars, et préférentiellement est égale à 1,9 bars, et une étape de séparation dans lesdits deuxièmes moyens de séparation supplémentaires d'une portion de la vapeur entrant dans lesdits deuxièmes moyens de séparation supplémentaires et de ladite biomasse.
- [0033] Ainsi on réalise une décompression explosive en quatre étapes, qui permet de limiter à chaque étape les pertes de matière à fort pouvoir calorifique, et les composés organiques volatils obtenus dans les dernières étapes peuvent être condensés et distillés ou séparés par d'autres moyens comme les techniques membranaires de filtration pour extraire des molécules d'intérêt.
- [0034] Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, ladite étape de dépressurisation jusqu'à la pression atmosphérique comprend en outre une troisième étape de décompression explosive supplémentaire comprenant un transfert dans un conduit de ladite biomasse desdits deuxièmes moyens de séparation supplémentaires jusqu'à des troisièmes moyens de séparation supplémentaires dans lesquels la pression de vapeur

est égale à 1 bar, et une étape de séparation dans lesdits troisièmes moyens de séparation supplémentaires d'une portion de la vapeur entrant dans lesdits troisièmes moyens de séparation supplémentaires et de ladite biomasse.

- [0035] Ainsi on réalise une dernière séparation à la pression atmosphérique, ce qui permet de récupérer des composés volatils plus riche en énergie qui pourront être valorisés.
- [0036] Avantageusement, lesdits moyens de séparation d'une portion de vapeur extraite dudit réacteur avec ladite biomasse extraite du réacteur comprennent un cyclone ou un séparateur dynamique centrifuge (turbine).
- [0037] Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, un procédé tel que décrit ci-dessus comprend une étape de circulation de ladite vapeur séparée de ladite biomasse dans un échangeur de chaleur, tel qu'un échangeur de chaleur à condensation.
- [0038] On peut ainsi récupérer la chaleur sensible et la chaleur latente de la portion de vapeur séparée de la biomasse, pour par exemple sécher la biomasse avant de l'introduire dans le réacteur.
- [0039] Dans un autre mode de réalisation particulier de l'invention, un procédé tel que décrit ci-dessus comprend une étape de combustion de ladite portion de vapeur séparée de ladite biomasse.
- [0040] La pression de vapeur permet alors de diffuser celle-ci dans le foyer de la chaudière pour assurer une combustion convenable des composés organiques volatils et pour récupérer la chaleur latente de la vapeur.
- [0041] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, un procédé tel que décrit ci-dessus comprend une étape de condensation d'au moins une partie de ladite portion de vapeur séparée de ladite biomasse et une étape de distillation de ladite vapeur d'eau condensée permettant d'obtenir une fraction d'intérêt purifiée, telle que du furfural ou du furfuraldéhyde, du 5-hydroxyméthylfurfuraldéhyde, de l'acide acétique, de l'acide formique, du méthanol, de la lévoglucosénone, de l'acide lévulinique, des dérivés résineux ou terpéniques, par exemple.
- [0042] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, un procédé tel que décrit ci-dessus comprend une étape de condensation d'au moins une partie de ladite portion de vapeur séparée de ladite biomasse et une étape d'épuration de ladite vapeur d'eau condensée par application d'un traitement à boues activées ou par méthanisation.
- [0043] Selon un aspect particulier de l'invention, ladite étape de méthanisation est une étape de méthanisation acétoclastique.
- [0044] On valorise ainsi l'acide acétique en méthane.
- [0045] Il convient de noter que la mise en œuvre de plusieurs étapes de décompression explosive permet d'extraire du furfuraldéhyde ou furfural, qui est un inhibiteur de la réaction de méthanisation de l'acide acétique, au cours de la ou des premières étapes de décompression explosive, puis de procéder à la méthanisation de l'acide acétique

dans une étape ultérieure.

[0046] Selon un aspect particulier de l'invention, ledit conduit présente à au moins une de ses extrémités une vanne rotative ou des moyens d'étanchéité dynamique.

[0047] De préférence, ladite biomasse introduite dans le réacteur présente un taux d'humidité compris entre 5 et 25%.

[0048] Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, ladite biomasse comprend des plaquettes de bois.

Liste des figures

[0049] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation de l'invention, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des figures annexées parmi lesquels :

[0050] [Fig.1] représente une installation de fabrication de matière combustible à partir de biomasse lignocellulosique convenant pour la mise en œuvre d'un procédé de fabrication de matière combustible selon l'invention ;

[0051] [Fig.2] illustre les étapes d'un autre exemple de mode de réalisation d'un procédé de fabrication selon l'invention, sous forme de diagramme-bloc.

Description détaillée de l'invention

[0052] La [Fig.1] illustre une installation de fabrication de matière combustible à partir de plaquettes de bois destiné à mettre en œuvre un exemple de mode de réalisation d'un procédé de fabrication selon l'invention.

[0053] Dans ce mode de réalisation particulier de l'invention les plaquettes de bois mises en œuvre sont des plaquettes de bois feuillus ou résineux. Dans des variantes de ce mode de réalisation de l'invention, il peut être envisagé de mettre en œuvre des plaquettes de bois naturel de toute essence convenable, tels que des bois de feuillus durs, des bois résineux, par exemple de l'épicéa, ... et/ou de bois de récupération, tel que des bois de classe A ou de classe B.

[0054] Cette installation 10 comprend un broyeur à marteaux 11 alimenté en plaquettes de bois à l'aide d'une vis sans fin 12 qui prélève les plaquettes dans un silo à échelles 13. Un séparateur de gros bois élimine les éléments hors dimensions avant que les plaquettes n'entrent dans le broyeur 11. Dans ce broyeur humide 11, les plaquettes de bois sont broyées sous la forme de fragments de bois de plus grande dimension comprise majoritairement entre 4 et 8 millimètres, jusqu'à 16 mm. Le remplissage du silo 13 est assuré par une chargeuse à godet qui prélève des plaquettes dans des tas formés sur des zones de stockage au sol.

[0055] Ces fragments de bois se déversent en sortie du broyeur 11 sur un tapis convoyeur 14, équipé d'une bande peseuse, qui les transporte vers la trémie d'alimentation d'un sécheur à air chaud 15 à basse température. Dans ce mode de réalisation de l'invention,

la température de l'air chaud du sécheur est comprise entre 75 et 85°C.

- [0056] Ce sécheur 15 est dans ce mode de réalisation particulier de l'invention un sécheur à bande double couche. Les fragments entrants dans le sécheur sont répartis de manière homogène par une première vis d'alimentation sur une bande. La couche de fragments de bois formée est transportée à travers le sécheur sur la bande avant de se décharger sur la première vis de déchargement. Au moyen d'un convoyeur à vis supplémentaire, les fragments de bois sont transférés vers une deuxième vis d'alimentation qui vient déposer une seconde couche sur la première dans le sécheur. Après avoir parcouru une deuxième fois la moitié du sécheur, les fragments de bois séchés, dont le taux d'humidité est désormais inférieur à 10%, sont séparés, déchargés et convoyés vers un silo de stockage tampon 16.
- [0057] Un capteur d'humidité contrôle en continu la teneur en humidité des fragments de bois en sortie du sécheur et la vitesse d'avancement de la bande est régulée automatiquement afin de maintenir le taux d'humidité des fragments de bois constant en sortie du sécheur.
- [0058] Dans le sécheur, des ventilateurs d'extraction aspirent l'air ambiant à travers des échangeurs de chaleur dans lesquels l'air est chauffé en deux étapes avant de le souffler sur les fragments de bois. Grâce à ce flux d'air, les fragments de bois sont plaqués sur la bande et très peu de poussières s'en échappent. Les échangeurs de chaleur sont des échangeurs à condensation dans laquelle une partie de la vapeur d'eau séparée de la biomasse lors de la décompression explosive de la biomasse est condensée pour récupérer sa chaleur latente.
- [0059] Les fragments de bois séchés sont extraits du silo 16 par une vis planétaire et déposés sur un tapis convoyeur qui les transporte jusqu'à un silo d'alimentation 17 d'un réacteur 18 permettant de traiter 500 à 1000 kg par heure de fragments de bois en continu.
- [0060] Le réacteur 18 est un réacteur sous pression orienté verticalement dans la partie inférieure duquel on injecte 500 à 1000kg/h de vapeur d'eau à une température de 203°C à 250°C. Le flux de vapeur est extrait hors du réacteur au niveau de la partie supérieure du réacteur. En sortie du réacteur, la vapeur est renvoyée vers la chaudière CH dans laquelle elle a été produite.
- [0061] On notera que dans le réacteur 18 la température de la vapeur est de 203°C et la pression de 17 bars.
- [0062] Sur le fond du réacteur 18, un racleur monté pivotant sur un axe vertical (non représenté sur la [Fig.1]) repousse les fragments de bois, ayant séjourné environ 8 minutes dans le réacteur, vers une vis sans fin 20 permettant d'extraire des fragments de bois du réacteur 18.
- [0063] Cette vis de décharge 20 pousse les fragments de bois hors du réacteur vers une

vanne 21 permettant de contrôler le débit de fragments de bois extraits du réacteur en continu.

- [0064] Sous la poussée de la vapeur présente dans le réacteur et de la vis 20, des fragments de bois sont expulsés en continu au travers de la vanne 21, à très grande vitesse, dans une ligne de détente 22 et sont entraînés par le flux de vapeur sortant avec ces fragments de bois du réacteur dans la ligne de détente 22, dans laquelle ils subissent une première décompression explosive, jusqu'à une première unité de séparation 23, dans laquelle la pression est de 8 bars et la température est de 168°C.
- [0065] Dans ce mode de réalisation particulier de l'invention, l'unité de séparation 23 est constituée d'un séparateur dynamique centrifuge. Dans une variante de ce mode de réalisation particulier de l'invention, il peut également être envisagé de mettre en œuvre un cyclone statique.
- [0066] Il convient par ailleurs de noter qu'en prévoyant une décompression jusqu'à une pression de 8 bars, l'expansion de la vapeur reste limitée à sensiblement le double du volume de vapeur sortant du réacteur, ce qui permet de mettre en œuvre une unité de séparation résistant à la pression de taille restreinte et moins coûteuse.
- [0067] Dans l'unité de séparation 23, environ 233m³ de vapeur, qui correspondent à 950kg/h de vapeur, est séparée par heure de la biomasse en entraînant 45kg/h d'un premier type de composés organiques volatils.
- [0068] Une partie de ce volume de vapeur est, comme il a déjà été précisé ci-dessus, dirigée vers un échangeur de chaleur à condensation ECHC qui permet d'apporter une partie de la chaleur nécessaire au séchage préalable des fragments de bois avant leur introduction dans le réacteur. Après condensation, les composés organiques en solution aqueuse issus de la condensation des composés organiques volatils contenu dans la vapeur sont distillés afin d'extraire des premiers composés d'intérêts, tel que du furfural par exemple à cette étape.
- [0069] Une autre partie de ce volume de vapeur est dirigée vers la chaudière CH, dans laquelle les composés organiques entraînés avec cette partie sont brûlés et où la chaleur latente de ce volume de vapeur est utilisée pour chauffer la vapeur introduite dans le réacteur.
- [0070] L'ouverture à intervalles réguliers d'une vanne rotative 24₁ montée à la base de l'unité de séparation permet de vider la biomasse de l'unité de séparation 23 dans un volume tampon 25 sous la poussée de la vapeur résiduelle subsistant dans l'unité de séparation, ce qui engendre une nouvelle décompression explosive de la biomasse.
- [0071] Ce volume tampon 25 alimente, au travers d'une deuxième vanne rotative 24₂ à ouverture commandée, une deuxième unité de séparation 26, constituée d'un cyclone statique, dans laquelle la pression de vapeur est de 4 bars et la température est égale à 141°C.

- [0072] Dans ce cyclone 26, environ 22 m³ de vapeur par heure, correspondant à 45kg/h de vapeur, est séparée de la biomasse en entraînant 4kg/h d'un deuxième type de composés organiques volatils. Cette vapeur est condensée puis distillée dans une colonne de distillation 27 ce qui permet d'extraire du furfural à partir des composés organiques condensés du deuxième type. Par ailleurs, on notera que la chaleur extraite lors de la condensation de la vapeur condensée est utilisée pour le séchage de la matière combustible à la sortie de l'installation 10.
- [0073] Dans ce mode de réalisation particulier de l'invention, un troisième puis un quatrième étage de décompression explosive et de séparation sont montés à la sortie de la deuxième unité de séparation 26.
- [0074] Ce troisième et ce quatrième étage de décompression explosive et de séparation comprennent un volume tampon 31,41 entre deux vannes rotatives à ouverture commandée 32 et 33 ou 42 et 43, dans lequel se produit une nouvelle défibrillation de la biomasse, qui alimente une troisième unité de séparation 34, respectivement une quatrième unité de séparation 44.
- [0075] La pression de vapeur dans la troisième unité de séparation 34 est de 1,9 bar et la température de 117°C. Dans ce cyclone 34, 4m³ de vapeur par heure, correspondant à 4kg/h de vapeur, sont séparés de la biomasse en entraînant 1kg/h de composés organiques volatils d'un troisième type.
- [0076] Cette vapeur est condensée et l'acide acétique présent dans les composés organiques condensés du troisième type est transformé en méthane dans un méthaniseur 35 par la voie acétoclastique. Le méthane produit est ensuite stocké dans un réservoir de stockage 36 servant à alimenter des brûleurs de la chaudière CH. Tout comme à l'étage précédent, la chaleur provenant de la condensation de la vapeur est récupérée et utilisée pour le séchage de la matière combustible à la sortie de l'installation 10.
- [0077] Le cyclone 44, qui est à la pression atmosphérique permet de séparer la vapeur résiduelle de la biomasse. Ainsi 1kg/h de vapeur à 100°C est extraite du cyclone 44 en entraînant des composés organiques volatils d'un quatrième type. Cette vapeur est condensée et distillée ou purifiée par un procédé de chromatographie dans une unité de traitement 45 pour extraire des fractions d'intérêt, telles que du 5-hydroxyméthylfurfuraldéhyde, de l'acide formique, du méthanol, de la lévoglucosénone ou de l'acide lévulinique.
- [0078] A la sortie du cyclone 44, 450kg/h de biomasse vapocraquée et défibrée se déversent via un conduit de décharge 29 dans un silo de stockage 28, en vue d'être transformés sous forme de pellets de diamètre sensiblement égal à 7 millimètres et de longueur moyenne égale à 22 millimètres.
- [0079] Pour cela ils sont acheminés à l'aide d'un convoyeur à chaîne, ou d'un convoyeur pneumatique, vers une presse à granuler 210 où ils sont compactés sous forme de

pellets.

- [0080] Les pellets obtenus, d'une densité égale à 710 kg/m^3 , sont ensuite dirigés vers un poste de chargement en vrac de camions ou vers un poste d'ensachage-palettisation.
- [0081] On a représenté sur la [Fig.2] les étapes d'un autre procédé de fabrication en continu de matière combustible à partir de biomasse lignocellulosique, sous forme synoptique.
- [0082] Dans une première étape 201, 600 kg/h de biomasse lignocellulosique est introduite en continu dans un réacteur et exposée pendant 7,5 minutes, lors d'une étape 202, à de la vapeur d'eau à une pression de 17,5 bars.
- [0083] 600 Kg/h de biomasse lignocellulosique contenue dans le réacteur est extraite en continu du réacteur, après avoir subi un vapocraquage, dans une étape 203 et propulsé sous la pression de vapeur au travers d'une vanne à ouverture contrôlée dans une ligne de détente, dans laquelle se produit une première décompression explosive, jusqu'à un cyclone statique dans lequel la pression de vapeur est égale à 7,2 bars (étape 204). Dans cette première unité de séparation, environ 1150 kg/h de vapeur est séparée par heure de la biomasse en entraînant 54 kg/h d'un premier type de composés organiques volatils (étape 205). Cette vapeur enrichie d'un premier type de composés organiques volatils transite dans un échangeur de chaleur et est ensuite dirigée dans une chaudière où les composés volatils sont brûlés (étape 206).
- [0084] Dans une étape 207, la biomasse contenue dans la première unité de séparation est expulsée à intervalles réguliers dans un volume tampon sous la poussée de la vapeur résiduelle subsistant dans la première unité de séparation en commandant l'ouverture d'une vanne rotative, ce qui engendre une nouvelle décompression explosive de la biomasse. La biomasse est ensuite transférée du volume tampon dans un séparateur dynamique centrifuge dans lequel la pression de vapeur est de 3,8 bars, au travers d'une deuxième vanne rotative à ouverture commandée.
- [0085] Dans cette deuxième unité de séparation environ 54 kg/h de vapeur, est séparée de la biomasse en entraînant $4,8 \text{ kg/h}$ d'un deuxième type de composés organiques volatils (étape 208), la quantité de vapeur extraite étant ensuite condensée puis distillée dans une colonne de distillation (étape 209).
- [0086] La biomasse résiduelle contenue dans la deuxième unité de séparation est ensuite transférée sous la pression de vapeur résiduelle dans une ligne de détente le long de laquelle la pression décroît progressivement jusqu'à la pression atmosphérique (étape 211).
- [0087] Dans une dernière étape 212, ces 540 kg de biomasse vapocraquée et défibrée obtenus par heure sont transformés en pellets.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de fabrication en continu d'une matière combustible, destinée notamment à une chaudière industrielle, à partir de biomasse lignocellulosique comprenant les étapes suivantes :

- introduction en continu d'une masse prédéterminée par minute de ladite biomasse dans un réacteur sous pression, ledit réacteur étant alimenté en vapeur d'eau sensiblement saturée, dont la pression est comprise entre 15,3 et 22,9 bars et/ou la température est comprise entre 200 et 220°C une fois introduite dans le réacteur ;
 - exposition de la biomasse introduite dans ledit réacteur à ladite vapeur d'eau pendant une durée suffisante pour obtenir un vapocraquage ;
 - extraction en continu dudit réacteur d'une partie de la biomasse contenue dans le réacteur par minute ;
- caractérisé en ce qu'il comprend :
- une étape de décompression explosive comprenant un transfert de ladite biomasse extraite dudit réacteur dans un conduit jusqu'à des moyens de séparation dans lesquels la pression de vapeur est comprise entre 7 et 8 bars ;
 - une étape de séparation dans lesdits moyens de séparation d'une portion de la vapeur extraite dudit réacteur avec ladite biomasse et de ladite biomasse ;
 - une étape de dépressurisation de ladite biomasse séparée de ladite portion de vapeur jusqu'à ce que la pression exercée sur la biomasse soit égale à la pression atmosphérique, ladite biomasse à pression atmosphérique formant ladite matière combustible.

[Revendication 2]

Procédé de fabrication selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite étape de dépressurisation jusqu'à la pression atmosphérique comprend au moins une étape de décompression explosive supplémentaire comprenant un transfert dans un conduit de ladite biomasse des moyens de séparation jusqu'à des moyens de séparation supplémentaires dans lesquels la pression de vapeur est inférieure ou égale à 4 bars et une étape de séparation dans lesdits moyens de séparation supplémentaire d'une portion de la vapeur entrant dans lesdits moyens de séparation supplémentaire et de ladite biomasse.

[Revendication 3]

Procédé de fabrication selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite étape de dépressurisation jusqu'à la pression atmosphérique comprend :

- une première étape de décompression explosive supplémentaire comprenant un transfert dans un conduit de ladite biomasse des moyens de séparation jusqu'à des premiers moyens de séparation supplémentaires dans lesquels la pression de vapeur est comprise entre 3,5 et 4 bars et une étape de séparation dans lesdits premiers moyens de séparation supplémentaires d'une portion de la vapeur entrant dans lesdits premiers moyens de séparation supplémentaires et de ladite biomasse.
- une deuxième étape de décompression explosive supplémentaire comprenant un transfert dans un conduit de ladite biomasse des premiers moyens de séparation supplémentaires jusqu'à des deuxièmes moyens de séparation supplémentaires dans lesquels la pression de vapeur est comprise entre 1,8 et 2 bars, et préférentiellement est égale à 1,9 bars, et une étape de séparation dans lesdits deuxièmes moyens de séparation supplémentaires d'une portion de la vapeur entrant dans lesdits deuxièmes moyens de séparation supplémentaires et de ladite biomasse.

[Revendication 4]

Procédé de fabrication selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite étape de dépressurisation jusqu'à la pression atmosphérique comprend en outre une troisième étape de décompression explosive supplémentaire comprenant un transfert dans un conduit de ladite biomasse desdits deuxièmes moyens de séparation supplémentaires jusqu'à des troisièmes moyens de séparation supplémentaires dans lesquels la pression de vapeur est égale à 1 bar, et une étape de séparation dans lesdits troisièmes moyens de séparation supplémentaires d'une portion de la vapeur entrant dans lesdits troisièmes moyens de séparation supplémentaires et de ladite biomasse.

[Revendication 5]

Procédé de fabrication selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de séparation d'une portion de vapeur extraite dudit réacteur avec ladite biomasse extraite du réacteur comprennent un cyclone ou un séparateur dynamique centrifuge.

[Revendication 6]

Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de circulation de ladite vapeur séparée de ladite biomasse dans un échangeur de chaleur, tel qu'un échangeur de chaleur à condensation.

[Revendication 7]

Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de combustion de ladite portion de vapeur séparée de ladite biomasse.

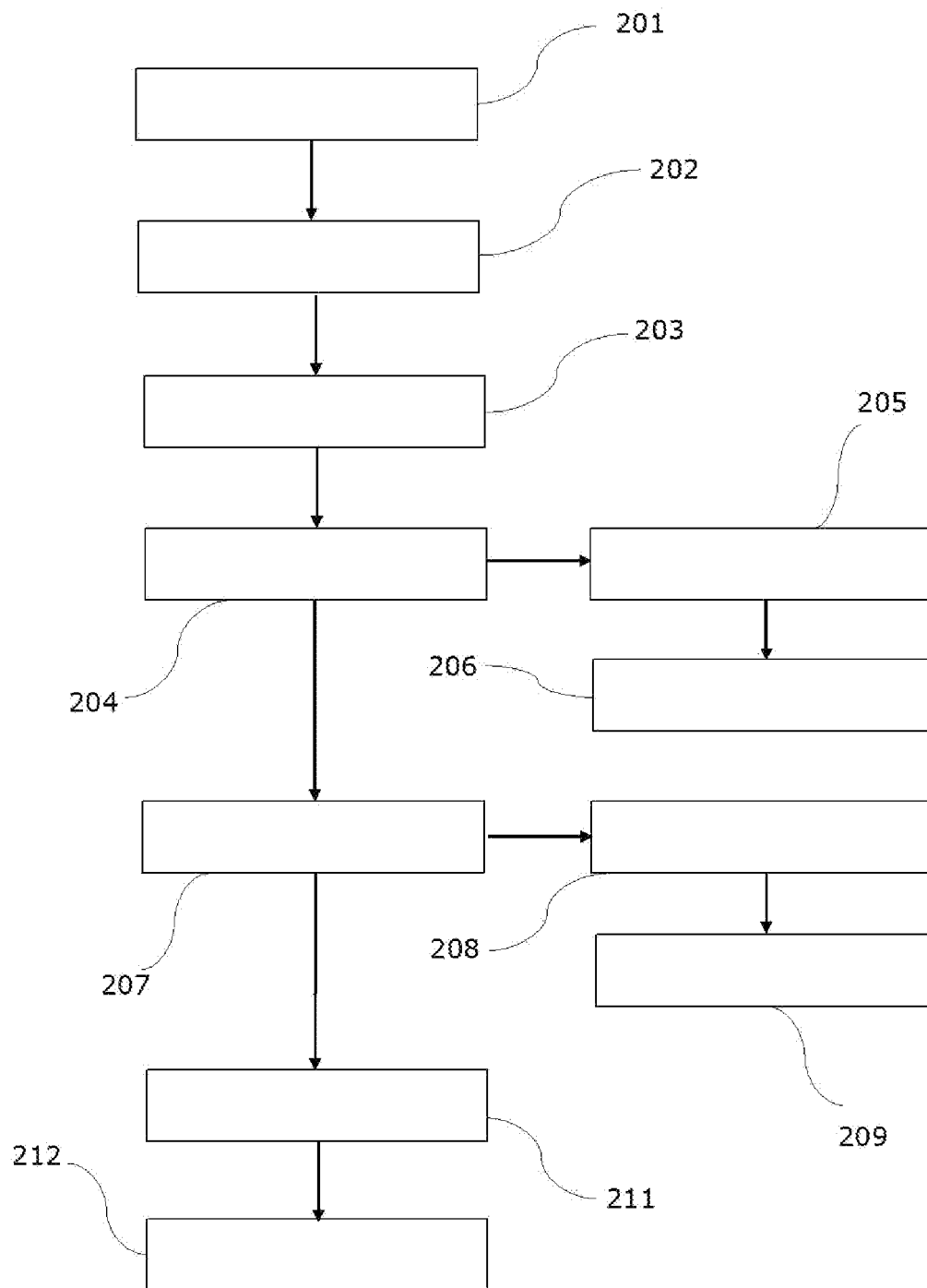
[Revendication 8]

Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de condensation d'au moins

une partie de ladite portion de vapeur séparée de ladite biomasse et une étape de distillation de ladite vapeur d'eau condensée permettant d'obtenir une fraction d'intérêt purifiée, telle que du furfural.

- [Revendication 9] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de condensation d'au moins une partie de ladite portion de vapeur séparée de ladite biomasse et une étape d'épuration de ladite vapeur d'eau condensée par application d'un traitement à boues activées ou par méthanisation.
- [Revendication 10] Procédé de fabrication selon la revendication 9, caractérisé en ce que ladite étape de méthanisation est une étape de méthanisation acéto-clastique.
- [Revendication 11] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que ledit conduit présente à au moins une de ses extrémités une vanne rotative ou des moyens d'étanchéité dynamique.
- [Revendication 12] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ladite biomasse introduite dans le réacteur présente un taux d'humidité compris entre 5 et 25%.
- [Revendication 13] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que ladite biomasse comprend des plaquettes de bois.

[Fig. 2]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 895210
FR 2105436

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	SE 2 050 186 A1 (VALMET OY [SE]) 9 mars 2021 (2021-03-09)	1, 5-13	C10L5/44
Y	* page 7, dernier alinéa - page 10, dernier alinéa *	1, 5, 7, 11-13	
A	* page 15, dernière ligne - page 17, alinéa 2 *	2-4	

Y	WO 2020/089187 A1 (EUROPEENNE DE BIOMASSE [FR]) 7 mai 2020 (2020-05-07)	1, 5, 7, 11-13	
A	* revendications; figures 1, 2 *	2-4	

			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			C10L D21B
Date d'achèvement de la recherche 21 janvier 2022		Examineur Keipert, Olaf	
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 2105436 FA 895210**

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 **21-01-2022**
 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
SE 2050186 A1	09-03-2021	SE 2050186 A1	09-03-2021
		WO 2021167511 A1	26-08-2021
WO 2020089187 A1	07-05-2020	AU 2019370667 A1	18-03-2021
		BR 112021006646 A2	13-07-2021
		CA 3113878 A1	07-05-2020
		CN 112840010 A	25-05-2021
		CO 2021002092 A2	31-05-2021
		EA 202190327 A1	10-09-2021
		EP 3902895 A1	03-11-2021
		FR 3087789 A1	01-05-2020
		FR 3087790 A1	01-05-2020
		KR 20210082461 A	05-07-2021
		PE 20210814 A1	28-04-2021
		PH 12021550371 A1	29-11-2021
		WO 2020089187 A1	07-05-2020