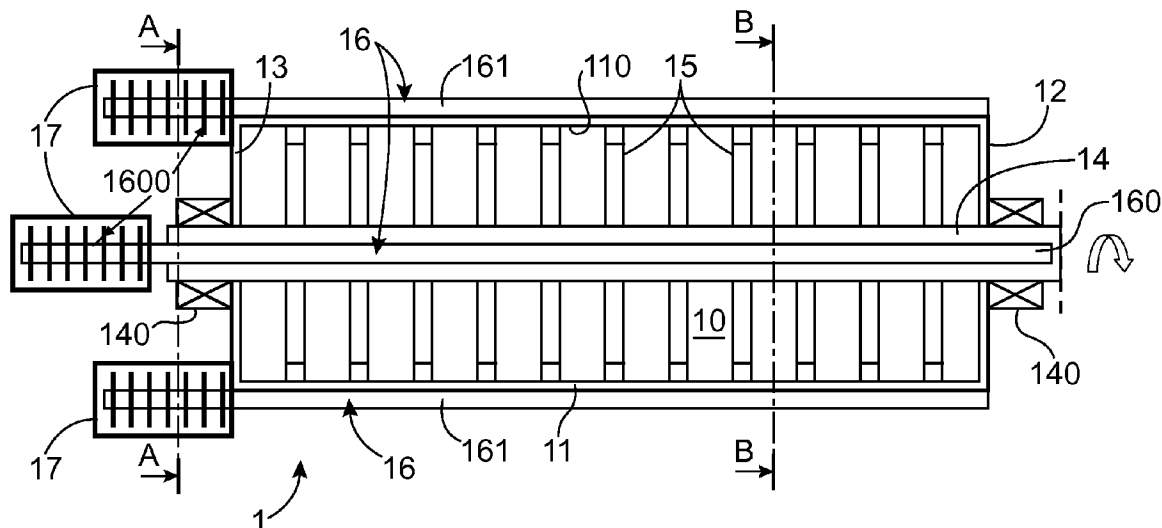




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2012/11/08
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2013/05/16
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2020/05/05
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2014/05/06
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: EP 2012/072136
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2013/068459
(30) Priorité/Priority: 2011/11/09 (FR11 60206)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C10L 9/08* (2006.01)
(72) Inventeur/Inventor:
CHATAING, THIERRY, FR
(73) Propriétaire/Owner:
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX
ENERGIES ALTERNATIVES, FR
(74) Agent: LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) Titre : REACTEUR DE TORREFACTION ET DE BROYAGE DE BIOMASSE, SYSTEME ET INSTALLATION DE TRAITEMENT DE BIOMASSE INTEGRANT UN TEL REACTEUR, PROCEDURE ASSOCIEE
(54) Title: REACTOR FOR GRINDING AND ROASTING BIOMASS, BIOMASS PROCESSING SYSTEM AND FACILITY INCORPORATING SUCH A REACTOR, AND ASSOCIATED METHOD



(57) **Abrégé/Abstract:**

1. Réacteur (1) de broyage et de torréfaction de biomasse, comprenant : - une chambre (10) délimitée intérieurement par des parois internes (110); - des moyens de broyage agencés à l'intérieur de la chambre (10), comportant un arbre central rotatif (14) monté en rotation dans la chambre (10) et des éléments de broyage présents sur ledit arbre central rotatif (14) pour broyer contre les parois internes (110) de la biomasse, de préférence ligno-cellulosique, présente à l'intérieur de la chambre (10); - des moyens de chauffage (16, 160, 161, 1600, 17) pour chauffer et maintenir par conduction thermique par l'intermédiaire des moyens de broyage la biomasse présente à l'intérieur de la chambre (10), à une température prédéterminée dite de torréfaction comprise entre 200°C et 350°C, afin de réaliser simultanément le broyage et la torréfaction de la biomasse dans la chambre (10).

(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
16 mai 2013 (16.05.2013)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/068459 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
C10L 9/08 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2012/072136
- (22) Date de dépôt international :
8 novembre 2012 (08.11.2012)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
11 60206 9 novembre 2011 (09.11.2011) FR
- (71) Déposant : COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25 rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeur : CHATAING, Thierry; 129 impasse les Jaillieux, F-38250 Lans-en-Vercors (FR).
- (74) Mandataire : ILGART, Jean-Christophe; Brevalex, 95 rue d'Amsterdam, F-75378 Paris Cedex 8 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,

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

- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

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

(54) Title : REACTOR FOR GRINDING AND ROASTING BIOMASS, BIOMASS PROCESSING SYSTEM AND FACILITY INCORPORATING SUCH A REACTOR, AND ASSOCIATED METHOD

(54) Titre : REACTEUR DE TORREFACTION ET DE BROyage DE BIOMASSE, SYSTEME ET INSTALLATION DE TRAITEMENT DE BIOMASSE INTEGRANT UN TEL REACTEUR, PROCEDE ASSOCIE

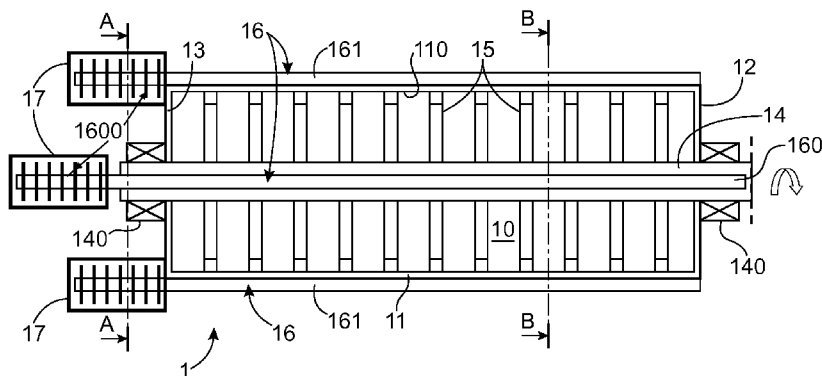


FIG.3

(57) Abstract : 1. A reactor (1) for grinding and roasting biomass, comprising: - a chamber (10) defined internally by internal walls (110); - grinding means arranged inside the chamber (10), comprising a rotating central shaft (14) rotatably mounted in the chamber (10) and grinding elements present on said rotating central shaft (14) to grind preferably lignocellulosic biomass present inside the chamber (10) against the internal walls (110); - heating means (16, 160, 161, 1600, 17) for heating and maintaining the biomass present inside the chamber (10) at a predetermined temperature called the roasting temperature in the range of 200°C and 350°C by thermal conduction via the grinding means, in order to simultaneously grind and roast the biomass in the chamber (10).

(57) Abrégé : 1. Réacteur

[Suite sur la page suivante]

WO 2013/068459 A1

(1) de broyage et de torréfaction de biomasse, comprenant : - une chambre (10) délimitée intérieurement par des parois internes (110); - des moyens de broyage agencés à l'intérieur de la chambre (10), comportant un arbre central rotatif (14) monté en rotation dans la chambre (10) et des éléments de broyage présents sur ledit arbre central rotatif (14) pour broyer contre les parois internes (110) de la biomasse, de préférence ligno-cellulosique, présente à l'intérieur de la chambre (10); - des moyens de chauffage (16, 160, 161, 1600, 17) pour chauffer et maintenir par conduction thermique par l'intermédiaire des moyens de broyage la biomasse présente à l'intérieur de la chambre (10), à une température prédéterminée dite de torréfaction comprise entre 200°C et 350°C, afin de réaliser simultanément le broyage et la torréfaction de la biomasse dans la chambre (10).

**REACTEUR DE TORREFACTION ET DE BROYAGE DE BIOMASSE, SYSTEME ET
INSTALLATION DE TRAITEMENT DE BIOMASSE INTEGRANT UN TEL REACTEUR, PROCEDE
ASSOCIE**

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention concerne un nouveau réacteur de torréfaction et de broyage
5 de biomasse, de préférence ligno-cellulosique, ainsi qu'un système et une installation de
traitement de biomasse intégrant un tel réacteur et son procédé de mise en œuvre
associé.

L'application principale visée par l'invention est la réalisation de
combustibles appelés biocombustibles. Des biocombustibles sont constitués
10 classiquement de biomasse ligno-cellulosique et obtenus par déchiquetage, typiquement
de plaquettes forestières ou par granulation pour les biocombustibles les plus élaborés.

L'invention a donc trait particulièrement à une installation de
traitement de biomasse mettant en œuvre une presse à granuler en aval du nouveau
réacteur de torréfaction et de broyage pour obtenir des biocombustibles aux
15 caractéristiques améliorées par rapport à ceux mis sur le marché jusqu'à ce jour. Un
traitement combiné de torréfaction et de granulation permet d'obtenir des
biocombustibles avec une densité énergétique élevée, typiquement de l'ordre de 20
à 22 MJ/kg, une densité massique élevée, typiquement de l'ordre de 600 à 650 kg/m³, et
des propriétés hydrophobes importantes. Les inventeurs visent donc une amélioration
20 des propriétés hydrophobes des biocombustibles ainsi qu'une augmentation de leur
contenu énergétique, typiquement supérieur de 20 à 30%, par rapport à ceux des
biocombustibles actuellement existants.

L'invention s'applique également à la gazéification de biomasse en vue
de la réalisation de biocarburants à partir du gaz de synthèse largement connu sous
25 l'appellation Syngaz. Dans cette application, le nouveau réacteur de torréfaction et de
broyage selon l'invention est de préférence installé en amont d'une unité de

conditionnement/stockage de poudre, elle-même en amont d'un réacteur de gazéification pour produire ultérieurement des biocarburants.

ART ANTÉRIEUR

Dans un contexte où la consommation ne cesse d'augmenter, la valorisation de la biomasse est envisagée afin de diversifier les ressources d'énergies. Les filières de conversion thermique par gazéification et combustion sont particulièrement envisagées. La combustion de biocombustibles en est une filière particulière.

La torréfaction de la biomasse, de préférence ligno-cellulosique, est une étape de prétraitement de la biomasse. En effet, la structure fibreuse et élastique de la biomasse rend sa micronisation énergivore et confère au produit broyé des caractéristiques inadaptées à une injection sous forme pulvérisée. La torréfaction est un traitement thermique doux de la biomasse à l'interface entre le séchage et la pyrolyse, généralement réalisé à des températures comprises entre 200°C et 350°C et qui vise à éliminer l'eau et à modifier une partie de la matière organique de la biomasse pour casser ses fibres.

Autrement dit, ce traitement thermique doux altère la structure fibreuse de la biomasse, facilitant ainsi son broyage et son injection dans un réacteur de gazéification ou de co-combustion.

Le prétraitement par torréfaction améliore également les propriétés de la biomasse en particulier en vue de son stockage en lui conférant notamment un caractère hydrophobe et une résistance aux dégradations biologiques.

La torréfaction de la biomasse ligno-cellulosique est donc une étape de prétraitement en vue de son injection sous forme pulvérisée dans un réacteur à flux entraîné (réacteur de gazéification) ou dans un réacteur dit de co-combustion (biomasse et charbon) dans une centrale thermique à charbon ou en vue de sa granulation pour réaliser des biocombustibles.

Avec les installations industrielles actuellement existantes sur le marché, pour obtenir des caractéristiques améliorées de biocombustibles, telles qu'évoquées en préambule, la biomasse doit subir une torréfaction pendant une durée

classiquement de 20 à 40 minutes. Cette durée de traitement est importante et c'est pourquoi elle nécessite des installations de grande taille dépendant de la technologie utilisée. On peut citer les sociétés CMI, Whysmont ou TOPELL qui mettent déjà en œuvre ce type d'installations.

5 En outre, comme indiqué en préambule, un traitement combiné de torréfaction et granulation permet d'obtenir des biocombustibles avec une densité énergétique élevée, typiquement de l'ordre de 20 à 22 MJ/kg, une densité massique élevée, typiquement de l'ordre de 600 à 650 kg/m³, et des propriétés hydrophobes importantes.

10 La demande de brevet US 2003/0221363 divulgue, de manière très générale, un traitement de biomasse qui combine une étape de torréfaction avec une étape ultérieure de granulation clairement distincte de la torréfaction. Différentes technologies de chauffage sont citées pour mettre en œuvre la torréfaction (voir paragraphe [0050] : four à soles multiples avec brûleur intégré de la figure 2 ; vis sans fin chauffante avec brûleur intégré de la figure 3 ; réchauffeur de lit fluidisé ; four rotatif ;
15 four intermittent). De fait, l'ensemble de ces technologies ne sont pas industriellement éprouvées à ce jour. Aucune garantie ne semble apportée sur la bonne tenue mécanique des granulés produits en sortie du compacteur à tambours référencé 30 en figures 2 et 3.

 De plus, si l'intégration énergétique semble acquise, notamment du
20 compacteur, immédiatement en aval du réacteur de torréfaction, aucune mention sur les conditions opératoires n'est faite. En particulier, aucune précision n'est donnée sur le temps nécessaire à la torréfaction, paramètre pourtant essentiel à la maîtrise de la torréfaction.

 Des études technico-économiques des différents procédés, montrent
25 que la maîtrise du temps de séjour des particules de biomasse pendant le traitement est un critère essentiel d'évaluation des procédés de torréfaction et conditionne directement leur intérêt économique. On peut citer ici la publication [1] qui met bien en évidence ce critère.

 Par ailleurs, le retour d'expérience de l'inventeur de la présente
30 invention sur la torréfaction montre que le couple température/temps de séjour de la

biomasse, est étroitement lié au type de biomasse utilisé (bois, paille, etc...). Pour une durée de torréfaction donnée, la température est un paramètre ajustable permettant de répondre à la variabilité de la biomasse dans la majorité des cas. Jusqu'à ce jour, le temps de séjour nécessaire à l'étape de torréfaction que l'on peut qualifier d'important, i.e. de l'ordre de 20 à 50 minutes, car directement lié à la taille relativement importantes des particules de biomasse soumises à la torréfaction, typiquement de l'ordre du centimètre.

D'ailleurs, bon nombre de publications mettent à jour la nécessité d'avoir un couple prédéterminé du temps de séjour/température de traitement pour maîtriser la torréfaction en général et en particulier la perte de masse qui en résulte.

Le brevet GB 2448531 présente une technologie de torréfaction dédiée à de la biomasse coupée grossièrement, de l'ordre de 100 mm de longueur par particule, avant d'être broyée et ramenée à une dimension finale de l'ordre de 10 mm par particule torréfiée puis broyée en amont. La torréfaction est réalisée à une température de 300°C pendant une durée de 15 min conduisant à une perte de masse importante, c'est-à-dire d'au moins 40% (voir page 8 lignes 20 à 24). La solution développée selon ce brevet GB 2448531 est uniquement adaptée à une application de co-combustion avec le charbon et ne présente aucune optimisation du temps de traitement de torréfaction. Au contraire, le choix d'utiliser en entrée du procédé de la biomasse coupée grossièrement, de grande dimension, accroît encore le temps nécessaire à la torréfaction.

Il est par ailleurs connu dans d'autres domaines que celui de la biomasse de réaliser une étape de broyage à chaud, c'est-à-dire à des températures comprises entre 100-350°C de la matière à traiter.

Ainsi, il a déjà été envisagé de réaliser une étape de broyage à chaud, à l'aide d'un broyeur à marteaux en particulier pour le traitement des résidus lourds de pétrole type asphalte, tel que décrit dans la demande de brevet WO 2009/114195 A1, ou pour la dégradation de matière plastique, tel que décrit dans la demande de brevet WO 98/09997. Dans cette demande WO 98/09997, la gamme de température indiquée est comprise entre 200-500°C, mais nécessite un préchauffage de la charge avant broyage. La demande de brevet WO 9008177 enfin a trait à la récupération de pétrole dans des boues d'extraction et décrit le fonctionnement d'un broyeur à marteaux à chaud, à une

température de l'ordre de 225°C avec régulation de température par bain d'huile pour éviter la dégradation du pétrole pendant l'opération. Il est prévu en outre de faire la séparation de la poussière générée et du gaz au moyen d'un cyclone (voir figure 3). Dans les trois demandes de brevets citées, non seulement il est nullement envisagé de réaliser le broyage à chaud de biomasse, mais aucun enseignement ne peut être tiré pour le faire effectivement. Ainsi, la maîtrise du temps de séjour dans le broyeur considéré n'est pas mentionnée car elle est de fait non essentielle pour leur application considérée.

On connaît également de l'art antérieur, la possibilité de réaliser en combinaison une étape de broyage d'une matière et une étape de séchage en une seule opération.

Ainsi, le brevet US 4085897 propose un broyeur-sécheur pour le traitement à priori de tout type de matériaux et en particulier le charbon. Si la solution divulguée est bien adaptée à du séchage avec de l'air, elle est incompatible pour la torréfaction de biomasse qui doit s'opérer avec un minimum d'oxygène pour éviter la combustion de la biomasse lors de sa torréfaction et l'emballement de la réaction.

Le brevet JP 60000899 propose la même approche mais avec de l'air à plus hautes températures, comprises entre 200 et 400°C pour le traitement de boues. La solution divulguée est donc de fait incompatible avec une étape de torréfaction de biomasse. En outre, les températures indiquées sont incompatibles avec une étape de séchage car le faire reviendrait à générer des rejets de COV (Composés Organiques Volatiles) qui doivent être maîtrisés pour respecter les normes environnementales.

Enfin, il est connu de la demande de brevet FR 2924435A1, la possibilité de réaliser en combinaison une étape de broyage et une étape de torréfaction de biomasse ligno-cellulosique en une seule opération nécessairement mise en œuvre dans un réacteur à lit fluidisé. L'objectif avéré de cette solution selon la demande FR 2924435 est la réduction de la consommation d'énergie de broyage, et le temps de séjour des particules de biomasse n'est pas une réelle préoccupation. Ainsi, les temps de séjour donnés restent ceux classiquement utilisés jusqu'à ce jour pour une étape de torréfaction, c'est-à-dire des temps importants de 10 à 40 minutes, car ils restent dépendants de la granulométrie en entrée de lit fluidisé des particules (voir page 4 lignes

20-23). Or, comme indiqué en préambule, la maîtrise du temps de séjour des particules pendant le traitement est un critère essentiel d'évaluation des procédés de torréfaction et conditionne directement leur intérêt économique. De plus, à la lecture de cette demande de brevet, on ne sait pas réellement comment la température nécessaire à la torréfaction des particules est fixée, même si à priori elle l'est par le gaz vecteur de mise en mouvement des particules en entrée à travers la tubulure centrale. D'ailleurs, on ne sait pas comment l'énergie nécessaire au chauffage du gaz vecteur est apportée. En outre, de par la conception même de ce réacteur à lit fluidisé, il y a de nombreux échanges thermiques entre d'une part les particules et le gaz vecteur et d'autre part les particules et les organes du broyeur à couteaux mis en œuvre (voir figure 4). Autrement dit, il n'y a pas de maîtrise des échanges thermiques. Par ailleurs, le broyeur à couteaux mis en œuvre présente certains inconvénients liés directement à l'étape de torréfaction.

En effet, cette transformation thermochimique modifie les caractéristiques intrinsèques de la biomasse traitée avec en particulier une polymérisation rendant très abrasive la poudre obtenue. On peut en déduire qu'une dégradation (érosion) très rapide des couteaux peut se produire avec en corollaire une dispersion de la granulométrie des particules en sortie et donc un dysfonctionnement progressif de l'installation. Enfin, l'inventeur pense que l'opération de broyage-torréfaction selon cette demande FR 2924435 est difficile à mettre en œuvre avec en particulier des conditions de pilotage très complexes, compte tenu de la précision donnée sur les vitesses de fluidisation à respecter face à d'une part la grande variabilité de la biomasse traitée (composition, taux d'humidité) et d'autre part la gamme très large en pression couverte (1 à 30 bars). En effet lors de l'opération de torréfaction des gaz sont émis en plus ou moins grande quantité en fonction de la température et du temps de séjour des particules. Ce dégagement de gaz impacte directement la vitesse de fluidisation et donc le fonctionnement du lit fluidisé.

Un but de l'invention est donc de proposer une solution mettant en œuvre une étape de torréfaction et une étape de broyage de biomasse lors d'une seule opération, c'est-à-dire, dans une chambre unique d'un réacteur et qui pallie tout ou partie des inconvénients de la demande de brevet FR 2924435.

Un but particulier est donc de proposer une solution d'adaptation d'une technologie de broyeur existante pour mettre en œuvre concomitamment un broyage et une torréfaction, en maîtrisant les échanges thermiques dans des temps de séjour des particules dans la chambre du broyeur considérablement réduits, de préférence inférieurs à 5 minutes. En effet, des essais réalisés sur des particules de biomasse de très petites tailles, de l'ordre de 200µm, montrent que les conditions optimales de torréfaction (perte de masse, contenu énergétique) peuvent être obtenues pour des temps de séjour inférieurs à 5 minutes en fonction de la température.

Un autre but de l'invention est de proposer une installation de traitement de biomasse intégrant un réacteur mettant en œuvre concomitamment un broyage et une torréfaction et comprenant une presse à granuler en aval du réacteur, et dont le bilan énergétique soit performant.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Pour ce faire, l'invention concerne un réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse, comprenant :

- une chambre délimitée intérieurement par des parois internes ;
- des moyens de broyage, agencés à l'intérieur de la chambre, et adaptés pour broyer de la biomasse, de préférence ligno-cellulosique ;
- des moyens de chauffage adaptés pour chauffer et maintenir en température par conduction thermique au moins une partie des moyens de broyage et au moins une partie des parois internes de la chambre à une température prédéterminée, dite de torréfaction, comprise entre 200°C et 350°C afin de réaliser simultanément le broyage et la torréfaction de biomasse au sein de la chambre.

L'invention porte également sur un réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse, comprenant :

- une chambre délimitée intérieurement par des parois internes ;
- des moyens de broyage agencés à l'intérieur de la chambre, comportant un arbre central rotatif monté en rotation dans la chambre et des éléments

de broyage présents sur ledit arbre central rotatif pour broyer contre les parois internes de la biomasse, de préférence ligno-cellulosique, présente à l'intérieur de la chambre ;

- des moyens de chauffage pour chauffer et maintenir par conduction thermique par l'intermédiaire des moyens de broyage la biomasse présente à l'intérieur de la chambre, à une température prédéterminée dite de torréfaction comprise entre 200°C et 350°C, afin de réaliser simultanément le broyage et la torréfaction de la biomasse dans la chambre.

L'invention met en œuvre une action combinée d'un broyage et d'un traitement thermique de torréfaction qui permet une réduction de la taille des particules et donc le temps de traitement des particules, dit temps de séjour dans un environnement variant de 200 à 350°C.

L'invention consiste essentiellement à réaliser une torréfaction rapide par la synergie entre les moyens du broyeur, ses conditions de fonctionnement et les conditions opératoires de la torréfaction.

Grâce à l'invention, on peut envisager la maîtrise d'un temps de séjour court et de la température pour l'opération de torréfaction.

L'invention apporte un gain en compacité et en optimisation énergétique considérable vis-à-vis d'une configuration séquentielle des opérations torréfaction et broyage avant granulation.

L'inventeur est parti du constat que le traitement thermique de torréfaction est étroitement lié à la température propre des particules, et donc du constat qu'il faut maîtriser au mieux le traitement thermique, c'est-à-dire maîtriser le mode d'injection de l'énergie et maximiser les coefficients d'échanges entre les particules de biomasse à torrifier et les parties chaudes en contact.

L'inventeur a alors fait l'inventaire des différents modes de transferts thermiques tels qu'ils sont connus: ces modes que sont la convection, le rayonnement, et la conduction dépendent étroitement de la configuration d'échange, c'est-à-dire de la nature des éléments en contact, comme cela ressort de la figure 1. De cette figure 1, on voit que les échanges thermiques entre gaz et solide sont les plus faibles ; les échanges solide/solide sont très supérieurs mais étroitement limités par la résistance de contact

entre les solides, enfin les échanges entre solide et liquide sont encore meilleurs et atteignent un maximum lors du changement de phase du liquide (ébullition), comme cela est décrit dans la publication [2].

Pour atteindre une maîtrise du traitement thermique, la solution
5 proposée dans le brevet FR 2924435 mentionnée en préambule, consiste en un broyeur à
couteaux associé à un lit fluidisé. A partir d'une comparaison non exhaustive des
différents types de broyeur comme schématisé sur le diagramme de la figure 2, il apparaît
qu'une solution de broyeur à couteaux et en lit fluidisé comme celle de la demande FR
2924435 est celle qui nécessite le plus de débit de gaz de balayage. En outre, comme
10 montré en figure 1, cette solution met en œuvre des coefficients d'échanges thermiques
faibles (échanges gaz/solide essentiellement).

L'idée à la base de l'invention est donc de maximiser le transfert
d'énergie aux particules de biomasse tout en maîtrisant au mieux la température de
torréfaction. A l'encontre des solutions proposées pour la torréfaction de la biomasse
15 selon l'état de l'art, l'inventeur a donc pensé à s'affranchir du gaz pour apporter l'énergie
thermique directement aux particules par l'intermédiaire des éléments constitutifs du
broyeur et plus particulièrement par l'intermédiaire des moyens de broyage. Autrement
dit, l'inventeur a pensé à adapter une technologie de broyeur existante en favorisant au
maximum les échanges thermiques solide/solide, c'est-à-dire en réduisant au plus les
20 résistances de contact entre moyens de broyage (marteaux, couteaux ou corps broyant) à
l'intérieur de la chambre et particules de biomasse.

Autrement dit, l'invention consiste à apporter l'énergie de torréfaction
aux particules composant la biomasse via les moyens de broyage qui sont chauffés par
contact direct par les moyens de chauffage.

25 De préférence, les moyens de broyage et les parois internes de la
chambre présentent des conductivités thermiques sensiblement identiques.

Avantageusement, lorsque le matériau des parois internes est choisi
parmi l'acier ou l'acier inoxydable 304L, alors celui des moyens de broyage peut être
choisi parmi les aciers durs, tels que l'acier 350HB. Les parois internes de la chambre de
30 réacteur peuvent être revêtues d'un matériau de blindage, tel que le CREUSABRO[®], qui

convient dans le cadre de l'invention. Les moyens de chauffage consistent avantageusement en des éléments caloducs en contact physique avec la paroi périphérique de la chambre.

5 Selon le type des moyens de broyage considéré, on peut en outre envisager au moins un élément caloduc en contact physique avec au moins une partie des moyens de broyage.

10 Outre le gain considérable sur les échanges de chaleur, le fait de mettre en contact des éléments caloducs avec la paroi périphérique de la chambre (carcasse) et/ou avec les moyens de broyage présents sur l'arbre central rotatif, permet de garantir le maintien précis de la température de torréfaction lors du broyage des particules de biomasse et éventuellement en tout point du réacteur. On maximise ainsi l'apport d'énergie tout en maîtrisant finement la température du procédé de torréfaction/broyage.

15 Il est avantageux de répartir les caloducs autour de la carcasse de la chambre, leur nombre dépendant bien évidemment des dimensions de la chambre.

20 Typiquement, en première approche, on répartit les caloducs tous les 40 à 50 cm si la carcasse de la chambre est en acier doux. Ainsi, de préférence, on prévoit une pluralité d'éléments caloducs répartis uniformément à la périphérie et en contact physique contre la paroi périphérique de la chambre sur au moins une majeure partie de sa longueur.

25 Pour garantir le maintien en température des moyens de broyage tournants (couteaux, marteaux), on prévoit avantageusement un élément caloduc agencé à l'intérieur d'un arbre central sur lequel sont fixés ou présents au moins une partie des moyens de broyage, l'arbre étant monté en rotation dans la chambre sur au moins une majeure partie de sa longueur. Compte tenu des tailles usuellement rencontrées pour les moyens de broyage, tels que les marteaux, et la nature de leur(s) matériau(x), typiquement l'acier, la conduction dans ce(s) matériau(x) permet de garantir un faible écart de Ture entre les moyens de broyage tournant (marteaux, couteaux) et l'arbre rotatif sur lequel ils sont fixés : typiquement, on peut obtenir un écart inférieur à 2°C pour
30 une conductivité de 45W/m²°C sur une longueur de 40 cm avec un flux de 225 W/m².

A des fins d'intégration énergétique dans une installation de traitement de biomasse et afin d'augmenter les échanges thermiques, les éléments caloducs selon l'invention sont chacun munis au moins à une de leur extrémité d'ailettes pour constituer un échangeur thermique entre un gaz et le fluide caloporteur à l'intérieur dudit caloduc.

5 En ce qui concerne le choix du fluide caloporteur des caloducs selon l'invention, l'inventeur a fait l'inventaire de ceux actuellement connus. Le tableau 2 récapitulatif extrait de la publication [3] donne une vue exhaustive. Dans le cadre de l'invention, l'inventeur pense que le Gilotherm® DO et le Naphtalène sont les mieux adaptés pour répondre aux conditions opératoires du réacteur selon l'invention. Bien
10 entendu, l'homme de l'art pourra choisir d'autres fluides caloporteurs dans les caloducs avec d'autres matériaux de chambre en fonction des applications envisagées (type de biomasse à traiter).

Une solution alternative aux caloducs mentionnés ci-dessus peut consister à utiliser un fluide caloporteur circulant dans les différentes parties du broyeur
15 nécessitant que leur température soit contrôlée, par exemple dans les éléments de broyage présents sur l'arbre central rotatif monté en rotation dans la chambre et/ou l'arbre lui-même. Le réacteur peut alors comporter une pompe hydraulique permettant d'adapter le débit du fluide caloporteur dans les éléments précédents en fonction de la température souhaitée.

20 En ce qui concerne la technologie de broyeurs à adapter dans le cadre de l'invention, l'inventeur pense que deux types de broyeur présentent des caractéristiques particulièrement bien adaptées à l'opération de torréfaction : le broyeur à marteaux et le broyeur vibrant.

Le broyeur à marteaux offre une capacité d'échange thermique très
25 importante par l'action directe du marteau et de la calandre (carcasse) sur les particules de biomasse. Il est ainsi préférable de réaliser un préchauffage de la calandre (carcasse du réacteur) et des marteaux du broyeur et également d'injecter un gaz préchauffé. Un autre avantage du broyeur à marteaux concerne sa résistance à l'abrasion et son aptitude déjà éprouvée à traiter de la biomasse (classiquement utilisé pour produire de la farine de bois
30 en amont des unités de granulation).

Ainsi, selon un premier mode de réalisation, les moyens de broyage comprennent des marteaux fixés sur un arbre central monté en rotation dans la chambre, les marteaux étant adaptés pour percuter et éclater les particules de biomasse contre la paroi interne périphérique de la chambre, dite carcasse, en constituant ainsi un broyeur
5 de type à marteaux. Selon ce premier mode de réalisation, on prévoit de monter un élément caloduc à l'intérieur de l'arbre central, le montage permettant à l'élément caloduc également d'être en rotation avec l'arbre. On améliore ainsi d'autant plus l'efficacité du caloduc par l'effet de centrifugation du liquide contenu dans le caloduc qui vient donc se répartir sur les parois du tube de celui-ci.

10 Pour maîtriser et ajuster le temps de séjour des particules de biomasse dans le broyeur à marteaux, on peut prévoir deux variantes en fonction de la position en configuration installée du réacteur. Par position en configuration installée, on entend la position que le réacteur selon l'invention occupe lorsqu'il fonctionne, c'est-à-dire lorsqu'il met en œuvre une opération simultanée de broyage et de torréfaction de biomasse.

15 Lorsque le réacteur/broyeur à marteaux selon l'invention est installé avec son axe longitudinal à la verticale, l'utilisation d'un premier sélecteur dynamique à vitesses variable est préférée.

L'avantage principal apporté par un sélecteur dynamique est sa grande flexibilité de sélection et d'ajustement de la taille des particules à la sortie réacteur en
20 faisant varier sa vitesse de rotation (ajustement possible en fonction du type de biomasse traitée).

Lorsque le réacteur/broyeur à marteaux selon l'invention est installé avec son axe longitudinal à l'horizontal, on réalise de préférence une aspiration des particules en aval du réacteur, comme expliqué ci-après: on réduit ainsi considérablement
25 la distribution granulométrique dans le réacteur et on améliore son rendement.

D'autres technologies de broyeur présentent des caractéristiques avantageuses pour réaliser l'opération combinée de broyage et de torréfaction selon l'invention. Comme évoqué ci-dessus, le broyeur vibrant a intrinsèquement d'excellentes propriétés: broyage à faible consommation énergétique, distributions granulométriques
30 étroites, peu d'envol de particules réduisant le risque d'atmosphères explosives

(réglementation ATEX issue des directives européennes) et enfin, une maîtrise du temps de séjour par une vanne de laminage en sortie de broyeur.

Selon un deuxième mode de réalisation, les moyens de broyage sont constitués par des corps de broyage montés libres à l'intérieur de la chambre, et le réacteur comprend des moyens de mise en vibration de la chambre, les moyens de vibration de la chambre contre les corps de broyage étant adaptées pour concasser les particules de biomasse d'une part entre les corps de broyage et d'autre part entre ceux-ci et la paroi interne périphérique de la chambre, dite carcasse, en constituant ainsi un broyeur de type vibrant. Les moyens de vibration sont de préférence associés à des contre poids pour adapter la fréquence de vibration. Dans le cadre de l'invention, on peut adapter certains broyeurs de type vibrant déjà existants afin de mettre en œuvre simultanément l'étape de torréfaction. Par exemple, des broyeurs vibrants commercialisés sous la dénomination commerciale PALLA au nom de la société RITEC sont parfaitement adaptés. Avec ce type de broyeurs, on peut aussi bien envisager des barres ou cylpebs à l'intérieur de la chambre en tant que corps broyants.

Selon ce deuxième mode de réalisation, les moyens de chauffage consistent avantageusement en des éléments caloducs uniquement répartis à la paroi périphérique de la chambre, les échanges thermiques d'une part entre la carcasse de chambre et les corps broyants et d'autre part entre les corps broyants entre eux permettant de transmettre au mieux la chaleur aux particules de biomasse.

Du fait de sa plus grande sensibilité au taux d'humidité du produit entrant et aux pertes de masse accrue lors d'opération de torréfaction poussée, on privilégie le second mode de réalisation pour des biomasses séchées avec un faible taux d'humidité.

L'utilisation d'un premier sélecteur dynamique à vitesse variable selon ce second mode de réalisation est également avantageuse. De préférence, l'agencement du premier sélecteur dynamique est tel qu'il est placé en partie haute du réacteur, de préférence encore dans le dernier tiers du tube de broyage qui permet d'évacuer les gaz produits (gaz de torréfaction + vapeur d'eau). On garantit ainsi un fonctionnement du réacteur comme usuellement pour un broyeur vibrant.

L'invention concerne donc aussi un système comprenant un réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse décrit précédemment et un premier sélecteur dynamique à vitesse variable immédiatement en aval du réacteur, ledit premier sélecteur dynamique étant adapté pour obtenir en sortie du réacteur des particules inférieure à un premier diamètre souhaité et pour réinjecter dans le broyeur les particules de diamètre
5 supérieur au premier diamètre souhaité.

On peut enfin envisager d'adapter une technologie de broyeur à couteaux. Selon un troisième mode de réalisation, les moyens de broyage comprennent ainsi des encoches pratiquées sur un arbre central monté en rotation dans la chambre, les
10 encoches étant adaptées pour couper les particules de biomasse contre la paroi interne périphérique de la chambre, dite carcasse, en constituant ainsi un broyeur de type à couteaux.

Tout comme le premier mode de réalisation, on prévoit de monter un élément caloduc à l'intérieur de l'arbre central, le montage permettant à l'élément
15 caloduc également d'être en rotation avec l'arbre. On améliore ainsi d'autant plus l'efficacité du caloduc par l'effet de centrifugation du liquide contenu dans le caloduc qui vient donc se répartir sur les parois du tube de celui-ci.

L'invention concerne aussi un procédé de mise en œuvre d'un réacteur ou d'un système décrit précédemment, selon lequel on préchauffe les moyens de
20 chauffage jusqu'à ce qu'ils atteignent la température prédéterminée de torréfaction, comprise entre 200°C et 350°C, avant l'alimentation du réacteur en biomasse séchée.

De préférence, l'alimentation en biomasse séchée est faite avec un taux d'humidité de celle-ci dans une gamme de 10 à 15%. Ce taux est avantageux car il dégrade peu ou prou le rendement énergétique global du procédé de torréfaction selon
25 l'invention. On réalise de préférence l'alimentation en biomasse séchée dans le réacteur par gravité.

En cas d'apport important d'énergie à réaliser, on injecte en outre un flux de gaz portés à la température prédéterminée de torréfaction directement dans la chambre.

Comme indiqué plus haut, lorsque le réacteur est en position horizontale en configuration d'utilisation, on réalise de préférence une aspiration des particules en aval dudit réacteur.

L'invention concerne enfin une installation de traitement de biomasse, de préférence ligno-cellulosique, pour réaliser des biocombustibles sous forme de granulés. Ainsi l'installation comprend un réacteur ou un système décrit précédemment et une presse à granuler et en outre un deuxième sélecteur dynamique relié en aval au réacteur, et le cas échéant au premier sélecteur dynamique, le deuxième sélecteur dynamique étant adapté pour séparer des particules en sortie du réacteur et ayant un diamètre inférieur au premier diamètre, celles dont le diamètre est supérieur à un deuxième diamètre souhaité, l'une des sorties du deuxième sélecteur dynamique étant reliée à la presse à granuler pour l'alimenter en particules de dimension comprise entre le premier et deuxième diamètre, l'autre des sorties du deuxième sélecteur dynamique étant adaptée pour extraire les particules de dimension inférieure au deuxième diamètre souhaité. Le deuxième diamètre souhaité correspond à de très fines particules de biomasse, typiquement de diamètre apparent inférieur à 10 μm . Le deuxième sélecteur dynamique est de préférence associé à un cyclone : le cyclone est ainsi agencé entre le deuxième sélecteur dynamique et la presse à granuler. En ce qui concerne la presse à granuler, on choisit une presse fonctionnant aux températures de torréfaction, soit entre 200 et 300°C, ce qui permet l'obtention de granulés avec une consommation énergétique réduite et une très bonne tenue mécanique des granulés. Par exemple, des presses à granuler commercialisés par la société Promill-Stolz sont parfaitement adaptées.

A des fins d'intégration énergétique, la sortie du deuxième sélecteur dynamique adaptée pour extraire les particules de dimension inférieure au deuxième diamètre souhaité est reliée à une chambre de combustion distincte de la chambre de réacteur, adaptée pour réaliser une post-combustion des gaz issus de la torréfaction et des particules de dimension inférieure au deuxième diamètre à une température prédéterminée, dite de post-combustion, comprise entre 800 et 1000°C, de préférence égale à 850°C. Autrement dit, le gaz issu du réacteur chargé en fines particules de

biomasse torréfié est utilisé comme combustible dans une chambre de post combustion fonctionnant de préférence à 850°C.

On veille alors à ajuster la vitesse du deuxième sélecteur dynamique pour obtenir une autosuffisance en énergie pour la chambre de post combustion en régime permanent. Autrement dit encore, l'ajustement du PCI (abrégié de Pouvoir Calorifique Inférieur) du gaz plus les particules est asservi à la vitesse du deuxième sélecteur dynamique.

Avantageusement, la chambre de combustion comprend au moins un brûleur multi-combustible pour simultanément réaliser une post-combustion des gaz issus de la torréfaction et des particules de dimension inférieure au deuxième diamètre et des combustibles de matière solide. Le brûleur multi-combustible est avantageusement relié à la presse à granuler de sorte que les combustibles de matière solide sont des granulés torréfiés produits par ladite presse à granuler. Un tel brûleur permet un ajustement rapide et précis de la température de la post combustion dans les phases transitoires (mise en régime, oscillations) par la combustion de granulés et de préférence produits par la presse à granuler. En tant que brûleurs multi combustible susceptibles d'être utilisés dans le cadre de l'invention, on peut citer ceux commercialisés par la société Leroux et Lotz Technologie.

Ainsi, avantageusement, la sortie de la chambre de combustion est reliée au réacteur de sorte à chauffer les moyens de chauffage par les gaz de post-combustion.

Selon une caractéristique, la sortie de la chambre de combustion est reliée à l'entrée du réacteur de sorte à injecter les gaz de post-combustion, à la température de torréfaction, dans la chambre de réacteur.

Selon une autre caractéristique, la sortie de la chambre de combustion est reliée aux échangeurs thermiques constitués par les ailettes des caloducs de sorte que l'énergie de chauffage du fluide caloporteur des caloducs est apportée par les gaz de post-combustion.

Selon un mode de réalisation avantageux, l'installation comprend en outre un échangeur thermique supplémentaire, distinct des échangeurs thermiques des

caloducs, dont le circuit de fluide chaud est relié à la sortie de la chambre de combustion et dont le circuit de fluide froid est relié à un sécheur adapté pour sécher la biomasse avant son alimentation dans le réacteur, de sorte que l'énergie de chauffage du sécheur est apportée par les gaz de post-combustion.

5 Autrement dit, les gaz de combustion sortant de la chambre de post combustion parviennent sur l'échangeur thermique supplémentaire pour d'une part préchauffer soit de la vapeur d'eau soit un gaz et l'envoyer dans le sécheur de biomasse, et d'autre part pour ajuster la température des gaz de post-combustion à une valeur variable suivant la biomasse traitée, typiquement comprise entre 250 et 350 °C, et
10 l'injecter dans la chambre du réacteur. En utilisant l'échangeur thermique supplémentaire dans l'installation de traitement de biomasse selon l'invention, on maîtrise encore mieux la température de torréfaction dans l'échangeur qui tend à stabiliser le procédé de torréfaction/broyage.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

15 D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront mieux à la lecture de la description détaillée de l'invention faite à titre illustratif et non limitatif en référence aux figures suivantes parmi lesquelles :

- la figure 1 est un diagramme montrant les niveaux de coefficient d'échange thermique en fonction des fluides ou solides en contact mutuel ;
- 20 - la figure 2 est un diagramme montrant les débits de gaz de balayage nécessaires en fonction de la technologie de broyeurs utilisés selon l'état de l'art ;
- la figure 3 est une vue schématique en coupe longitudinale d'un réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon l'invention mettant en œuvre une technologie de broyeur à marteaux ;
- 25 - les figures 3A et 3B sont des vues schématiques en coupe transversale du réacteur selon la figure 3 ;
- la figure 4 est une vue schématique d'un premier mode de réalisation d'une installation de traitement de biomasse intégrant un réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon l'invention ;

- la figure 5 est une vue schématique d'un deuxième mode de réalisation d'une installation de traitement de biomasse intégrant un réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

5 Dans la description qui va suivre les termes « entrée », « sortie »
« amont », « aval » sont utilisés en référence à la direction de transfert de la biomasse et
des fluides à la fois dans le réacteur selon l'invention, dans un système et une installation
intégrant un tel réacteur. De même, les termes « supérieur », « inférieur », « au dessus »,
« au dessous » sont utilisés par référence à l'orientation physique verticale ou horizontale
10 du réacteur et du sécheur de l'installation selon l'invention.

Par diamètre des particules, on entend leur diamètre équivalent, c'est-
à-dire le diamètre de la sphère qui se comporterait de manière identique lors d'une
opération d'analyse granulométrique choisie.

Les figures 1 et 2 ont été commentées ci-dessus. Elles ne sont donc pas
15 commentées plus ici.

En figures 3 à 3B, on a représenté un réacteur de broyage et de
torréfaction concomitante de biomasse ligno-cellulosique, telle que du bois,
conformément à l'invention.

Le réacteur 1 selon l'invention comprend une chambre 10 unique
20 délimitée à sa périphérie cylindrique par une paroi latérale, usuellement appelée carcasse
11, et respectivement de part et d'autre par deux parois d'extrémité 12, 13.

Le réacteur 1 représenté est réalisé à partir d'un broyeur à marteaux.
Ainsi, le réacteur comprend un arbre central rotatif 14 monté sur des paliers 140 agencés
à l'extérieur de la chambre 1.

25 Une pluralité de marteaux 15 est fixée sur l'arbre rotatif 14 en
définissant des étages régulièrement espacés le long de la chambre. Chaque étage
comprend également un nombre de marteaux 15 répartis angulairement régulièrement.

Comme visible en figures 3 et 3B, il est ainsi prévu un nombre de onze étages le long de la chambre, chaque étage comprenant un nombre de quatre marteaux positionnés de 15° à 90° les uns des autres.

5 Ainsi, lorsque de la biomasse, séchée préalablement à un taux d'humidité de préférence compris entre 10 et 15%, est alimentée dans le réacteur 1, les marteaux 15 en rotation par l'intermédiaire de l'arbre 14 viennent percuter et éclater les particules de biomasse contre la paroi interne 110 périphérique de la chambre.

10 Selon l'invention, afin de réaliser simultanément le broyage et la torréfaction de biomasse au sein de la chambre 10, tout en maîtrisant au mieux les échanges thermiques entre les différents éléments du réacteur (carcasse, marteaux, arbre rotatif) et les particules de biomasse à torréfier, on prévoit d'implanter des caloducs 16 adaptés pour chauffer et maintenir en température par conduction thermique les marteaux 15 et l'arbre rotatif 14 sur lequel ils sont montés et la carcasse 11 de la chambre à une température prédéterminée, dite de torréfaction, comprise entre 200°C
15 et 350°C.

Plus exactement, un premier caloduc 160 est inséré à l'intérieur de l'arbre rotatif 14. Le montage prévu est tel que le caloduc 16 concerné tourne avec l'arbre 14. On améliore ainsi encore davantage l'efficacité du caloduc 160 par effet de centrifugation du liquide qu'il contient, ce dernier venant se répartir sur toute la paroi
20 interne du caloduc lors de la rotation.

Comme mieux représenté en figures 3A et 3B, des deuxièmes caloducs 161 sont en contact physique avec la carcasse 11 du réacteur. Ces deuxièmes caloducs 161 sont répartis régulièrement angulairement.

25 Comme visible en figures 3A et 3B, il est ainsi prévu un nombre de huit caloducs 161 sur le pourtour de la chambre et toute la hauteur de celle-ci, les huit caloducs 161 étant distants à 45° les uns des autres.

30 Comme visible en figure 3, les extrémités 1600 des caloducs comprennent des ailettes afin de constituer un échangeur thermique optimal entre un gaz chaud circulant dans chaque cavité 17 et le fluide caloporteur à l'intérieur de chaque caloduc. Ce fluide caloporteur est de préférence du naphthalène ou du Gilotherm® DO.

En outre, selon l'invention, le dimensionnement du réacteur 1 tient compte essentiellement de l'ajustement du temps de séjour nécessaire pour les particules de la biomasse considérée. Cet ajustement dépend de deux paramètres: la température effective de la paroi interne 110 de la carcasse 11, de l'arbre rotatif 14, des marteaux 15 en contact physique avec les particules de biomasse, et de la taille des particules. Le réglage peut-être différent suivant le type de biomasse utilisé et nécessite en fonction de la configuration installée du réacteur 1, de moyens appropriés en aval du réacteur.

Ainsi, lorsque le réacteur 1 qui vient d'être décrit est en position verticale en configuration installée, l'implantation d'un premier sélecteur dynamique 2 adapté pour forcer les particules de gros diamètre à séjourner dans le réacteur plus longtemps afin de combiner la réduction de taille par broyage et le traitement thermique de torréfaction.

Cette configuration est montrée en figure 3. On calibre ainsi les particules broyées et torréfiées en sortie du réacteur par le premier sélecteur dynamique 2 à vitesse variable. Typiquement, la vitesse de rotation est comprise entre 2000 et 4000 tr/mn pour calibrer des particules en sortie de diamètre de l'ordre de 500 μm . En figure 4, on a mentionné des particules en sortie calibrées à un diamètre de 1 mm. L'utilisation du premier sélecteur dynamique 2 nécessite un gaz vecteur permettant le transport de la poudre (particules de biomasse agglomérées) et le maintien en température de cette dernière.

Lorsque le réacteur 1 qui vient d'être décrit est en position horizontale en configuration installée, on réalise une aspiration en aval du réacteur 1 à l'aide d'un ventilateur non représenté et au travers d'un cyclone 3, ce qui réduit considérablement la distribution granulométrique à l'intérieur de la chambre 10 et améliore le rendement du réacteur. Autrement dit, on peut s'affranchir du premier sélecteur dynamique 2. Cette configuration est représentée en figure 5. On a d'ailleurs mentionné sur cette figure, des particules de biomasse (farine de biomasse torréfiée) calibrées à un diamètre de 1 mm.

On a fait des tests préliminaires, selon une analyse ATG (abrégé d'Analyse Thermo Gravimétrique), sur de petites particules pour valider la mise en œuvre

du réacteur 1 selon l'invention et définir les conditions de son dimensionnement. Les résultats obtenus sur du bois dur (hêtre) montrent que le temps de séjour minimum pour des tailles de particules de 200 μ m à une température de 280°C doit être de 1 mn.

En figures 4 et 5, on a représenté une installation complète de traitement de biomasse intégrant le réacteur 1 selon l'invention et permettant de produire des granulés grâce à une presse à granuler.

Les deux installations représentées sont prévues pour avoir une moindre consommation énergétique.

A l'exception du premier sélecteur dynamique 2 qui vient d'être décrit et de la configuration installée du réacteur 1 (position verticale en figure 4 ; position horizontale en figure 5) les deux installations comprennent les mêmes éléments avec les mêmes fonctions et agencement relatifs. Aussi, une seule description détaillée est faite pour les deux configurations distinctes.

Tel que mentionné, l'installation en figure 4 est plutôt destinée à produire des granulés avec la presse 4 à partir de farine de bois torréfiée dont les particules ont un diamètre inférieur à 1 mm, tandis que l'installation en figure 5 est plutôt destinée à produire des granulés avec la presse 4 à partir de farine de biomasse torréfiée dont les particules ont un diamètre inférieur à 1 mm.

De la biomasse est séchée préalablement dans un sécheur 5 à une température de préférence comprise entre 100 et 125°C. Cette biomasse séchée alimente par gravité le réacteur de torréfaction et de broyage selon l'invention 1, celui-ci étant préchauffé.

Dans la position verticale en configuration installée du réacteur 1 (figure 4), on prévoit en aval de ce dernier un cyclone 3 en série avec un deuxième sélecteur dynamique 30. Le cyclone alimente d'une part, sous l'effet de la gravité, la presse à granuler 4 par les particules broyées, torréfiées et calibrées en sortie du réacteur 1 et d'autre part sous l'effet du vortex ascendant, une chambre 6 de post-combustion par les particules les plus fines (diamètre inférieur à 10 μ m) en sortie du cyclone 3. Ce deuxième sélecteur dynamique 30 permet d'ajuster la quantité de poussières de biomasse torréfiée entraînée, et de préférence est installé en partie haute du cyclone/séparateur 3.

Typiquement, la vitesse de rotation de ce deuxième séparateur 30 est de l'ordre de 10000 tr/mn pour des particules de 10 μ m. Ce deuxième sélecteur dynamique 30 permet d'ajuster le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) du gaz de torréfaction par enrichissement en solide torréfié avant d'alimenter la chambre 6 de post-combustion, plus exactement son brûleur 60 et donc d'en maîtriser la température. Cette chambre 6 de post-combustion a comme fonction principale la destruction des goudrons générés par la torréfaction (acide acétique, acide formique ...).

La chambre de combustion 6 comprend un brûleur multi-combustible 60 qui permet de faire une combustion mixte à la fois des gaz de torréfaction dans lesquelles les particules les plus fines séparées 30 par le cyclone 3 sont en suspension et de granulés solides. La température de combustion est de l'ordre de 850°C. Comme mentionné sur les figures 4 et 5, les granulés solides alimentant le brûleur mixte 60 peuvent être torréfiés ou bruts et de manière avantageuse, ils sont produits par la presse à granuler 4.

Enfin un échangeur thermique 7 est agencé en aval de la chambre de post-combustion 6. Plus exactement, le circuit de fluide chaud est relié à la sortie de la chambre de combustion 6 et le circuit de fluide froid est relié au sécheur 5 précité.

Comme mentionné sur les figures 4 et 5, l'échangeur thermique peut être de type gaz/gaz ou gaz/vapeur d'eau. Plus exactement encore, le circuit de fluide chaud est relié d'une part à l'intérieur de la chambre 10 du réacteur selon l'invention et d'autre part aux cavités 17 dans lesquelles sont logées les ailettes 1600 d'échangeur thermique des caloducs 16 (figure 3).

Ainsi dans les installations de traitement complète de biomasse qui viennent d'être décrites, l'énergie nécessaire à l'opération de torréfaction est apportée par deux moyens de transfert thermique distincts: d'une part par conduction thermique par la calandre externe (carcasse 11) du réacteur 1 préchauffée par le gaz produit par la post combustion dans la chambre de combustion 6 et, le cas échéant par l'arbre central et les moyens broyants, homogénéisée par les caloducs (composants à changement de phase), et d'autre part par l'injection directe du gaz chaud produit par la post combustion dans la chambre 6, à l'intérieur de la chambre 10 de réacteur 1. Le réglage de la

température des gaz est assuré par l'échangeur thermique 7, ce qui permet avec le chauffage par les caloducs d'ajuster de manière très précise la température de torréfaction.

Comme évoqué ci-dessus, suivant la technologie de broyeur utilisé dans le réacteur 1 selon l'invention, on peut envisager de faire des apports d'énergie complémentaires. Par exemple, pour des installations de grosse capacité (débit supérieur à 3t/h), on peut envisager de préchauffer les marteaux.

Bien que non représenté, il est envisageable de découpler les apports d'énergie. Ainsi, on peut envisager d'apporter l'énergie de chauffage du fluide caloporteur pour les caloducs par une combustion de granulés torréfiés indépendante et d'utiliser la totalité de l'énergie des gaz produits par la post combustion dans la chambre de combustion 6 pour réaliser le séchage dans le sécheur 5.

Selon cette alternative, on peut également obtenir une meilleure maîtrise de la température de torréfaction dans le réacteur 1, la totalité de l'énergie de post-combustion étant dédiée au séchage.

Bien que la seule application illustrée du réacteur 1 selon l'invention soit la réalisation de granules de biocombustibles, on peut également envisager d'autres applications de production de bio carburant. Dans ces dernières applications, on peut alors installer le réacteur de torréfaction et de broyage selon l'invention directement en amont d'une unité de conditionnement/stockage de la poudre torréfiée elle-même en amont d'un réacteur de gazéification.

Références citées

[1]: Torrefaction of wood , part1 Weight loss kinetics (Mark J. Prins & al)
march 2006, JAA77 (Journal of Analytical and Applied Pyrolysis),
pp 28-34.

5

[2]: *Heat transfer Handbook* d 'Adrian Bejan et Alland D. Kraus;

[3] : *Caloduc* - Techniques de l'ingénieur [B9 545].

REVENDEICATIONS

1. Réacteur (1) de broyage et de torréfaction de biomasse, comprenant :

5 - une chambre (10) délimitée intérieurement par des parois internes (110) ;

- des moyens de broyage agencés à l'intérieur de la chambre (10), comportant un arbre central rotatif (14) monté en rotation dans la chambre (10) et des éléments de broyage présents sur ledit arbre central rotatif (14) pour broyer contre les parois internes (110) de la biomasse, présente à l'intérieur de la chambre (10) ;

10 - des moyens de chauffage (16, 160, 161, 1600, 17) pour chauffer et maintenir par conduction thermique par l'intermédiaire des moyens de broyage la biomasse présente à l'intérieur de la chambre (10), à une température prédéterminée dite de torréfaction comprise entre 200°C et 350°C, afin de réaliser simultanément le broyage et la torréfaction de la biomasse dans la chambre (10).

15

2. Réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon la revendication 1, dans lequel les moyens de broyage et les parois internes de la chambre présentent des conductivités thermiques sensiblement identiques.

20

3. Réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon la revendication 2, dans lequel le matériau des parois internes de la chambre est choisi parmi l'acier ou l'acier inoxydable 304L et celui des moyens de broyage est choisi parmi les aciers durs.

25

4. Réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les moyens de chauffage consistent en des éléments caloducs (16, 160, 161) en contact physique avec au moins une partie des moyens de broyage.

5. Réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon la revendication 4, comprenant une pluralité d'éléments caloducs répartis uniformément à la périphérie et en contact physique contre la paroi périphérique de la chambre sur au moins une majeure partie de sa longueur.

5

6. Réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon la revendication 4 ou 5, dans lequel des éléments caloducs sont en contact physique avec l'arbre central rotatif (14) monté en rotation dans la chambre (10) et/ou les éléments de broyage présents sur ledit arbre central rotatif (14).

10

7. Réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon la revendication 6, comprenant un élément caloduc (160) agencé à l'intérieur de l'arbre central rotatif (14).

15

8. Réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, dans lequel les éléments caloducs sont chacun munis au moins à une de leur extrémité d'ailettes (1600) pour constituer un échangeur thermique entre un gaz et un fluide caloporteur à l'intérieur dudit caloduc.

20

9. Réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, dans lequel les caloducs contiennent du naphthalène ou du Gilotherm® DO en tant que fluide caloporteur.

25

10. Réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel les moyens de broyage comprennent des encoches présentes sur l'arbre central monté en rotation dans la chambre, les encoches étant adaptées pour arrachées les particules de biomasse contre la paroi interne (110) périphérique de la chambre (10), dite carcasse, en constituant ainsi un broyeur de type à couteaux.

30

11. Réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel les moyens de broyage comprennent des marteaux (15) présents sur l'arbre central rotatif (14) monté en rotation dans la chambre, les marteaux étant adaptés pour percuter et éclater les particules de biomasse contre la paroi interne périphérique de la chambre, dite carcasse, en constituant ainsi un broyeur de type à marteaux.

12. Réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon l'une quelconque des revendications 1 à 11 dans lequel la biomasse est de type ligno-cellulosique.

13. Système comprenant un réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon l'une quelconque des revendications 1 à 12 et un premier sélecteur dynamique à vitesse variable immédiatement en aval du réacteur, ledit premier sélecteur dynamique (2) étant adapté pour obtenir en sortie du réacteur des particules inférieures à un premier diamètre souhaité et pour réinjecter dans le broyeur les particules de diamètre supérieur au premier diamètre souhaité.

14. Procédé de mise en œuvre d'un réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 12 ou d'un système selon la revendication 13, selon lequel on préchauffe les moyens de chauffage jusqu'à ce qu'ils atteignent la température prédéterminée de torréfaction, comprise entre 200°C et 350°C, avant l'alimentation du réacteur en biomasse séchée.

15. Procédé selon la revendication 14, selon lequel l'alimentation en biomasse séchée est faite avec un taux d'humidité de celle-ci dans une gamme de 10 à 15%.

16. Procédé selon l'une des revendications 14 ou 15, selon lequel l'alimentation en biomasse séchée dans le réacteur est faite par gravité.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 16, selon lequel on injecte en outre un flux de gaz portés à la température prédéterminée de torréfaction directement dans la chambre.

5 18. Procédé de mise en œuvre d'un réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, selon lequel lorsque le réacteur est en position horizontale en configuration d'utilisation, on réalise une aspiration des particules en aval dudit réacteur.

10 19. Installation de traitement de biomasse, comprenant un système selon la revendication 13, une presse à granuler (4) et en outre un deuxième sélecteur dynamique (30) relié en aval au réacteur, et le cas échéant au premier sélecteur dynamique, le deuxième sélecteur dynamique étant adapté pour séparer des particules en sortie du réacteur et ayant un diamètre inférieur au premier diamètre, celles dont le diamètre est supérieur à un deuxième diamètre souhaité, l'une des sorties du deuxième
15 sélecteur dynamique étant reliée à la presse à granuler (4) pour l'alimenter en particules de dimension comprise entre le premier et deuxième diamètre, l'autre des sorties (30) du deuxième sélecteur dynamique étant adaptée pour extraire les particules de dimension inférieure au deuxième diamètre souhaité.

20 20. Installation de traitement de biomasse selon la revendication 19, comprenant un cyclone (3) agencé entre le deuxième sélecteur dynamique (30) et la presse à granuler (4)

25 21. Installation de traitement de biomasse selon la revendication 19 ou 20, dans laquelle la sortie du deuxième sélecteur dynamique adaptée pour extraire les particules de dimension inférieure au deuxième diamètre souhaité est reliée à une chambre de combustion (6) distincte de la chambre de réacteur, adaptée pour réaliser une post-combustion des gaz issus de la torréfaction et des particules de dimension inférieure au deuxième diamètre à une température prédéterminée, dite de post-
30 combustion, comprise entre 800 et 1000°C.

22. Installation de traitement de biomasse selon la revendication 21, dans laquelle la température de post-combustion est environ de 850°C

23. Installation de traitement de biomasse selon la revendication 21 ou 22, dans laquelle la chambre de combustion (6) comprend au moins un brûleur multi-combustible (60) pour simultanément réaliser une post-combustion des gaz issus de la torréfaction et des particules de dimension inférieure au deuxième diamètre et des combustibles de matière solide.

24. Installation de traitement de biomasse selon la revendication 23, dans laquelle le brûleur multi-combustible est relié à la presse à granuler de sorte que les combustibles de matière solide sont des granulés torréfiés produits par ladite presse à granuler.

25. Installation de traitement de biomasse selon l'une quelconque des revendications 21 à 24, dans laquelle la sortie de ladite chambre de combustion (6) est reliée au réacteur (1) de sorte à chauffer les moyens de chauffage par les gaz de post-combustion.

26. Installation de traitement de biomasse selon la revendication 25, dans laquelle la sortie de la chambre de combustion est reliée à l'entrée du réacteur de sorte à injecter les gaz de post-combustion, à la température de torréfaction, dans la chambre de réacteur.

27. Installation de traitement de biomasse selon la revendication 25 ou 26, dans laquelle la sortie de la chambre de combustion est reliée à des échangeurs thermiques comportant des ailettes des caloducs de sorte que l'énergie de chauffage du fluide caloporteur des caloducs est apportée par les gaz de post-combustion.

28. Installation de traitement de biomasse selon l'une quelconque des revendications 21 à 27, comprenant en outre un échangeur thermique supplémentaire

(7), distinct des échangeurs thermiques des caloducs, dont le circuit de fluide chaud est relié à la sortie de la chambre de combustion et dont le circuit de fluide froid est relié à un sécheur (5) adapté pour sécher la biomasse avant son alimentation dans le réacteur, de sorte que l'énergie de chauffage du sécheur est apportée par les gaz de post-combustion.

- 5
29. Installation de traitement de biomasse selon l'une quelconque des revendications 19 à 28, dans laquelle la biomasse est de type ligno-cellulosique.
- 10
30. Réacteur de broyage et de torréfaction de biomasse selon la revendication 3 dans lequel le matériau des moyens de broyage est l'acier 350HB.

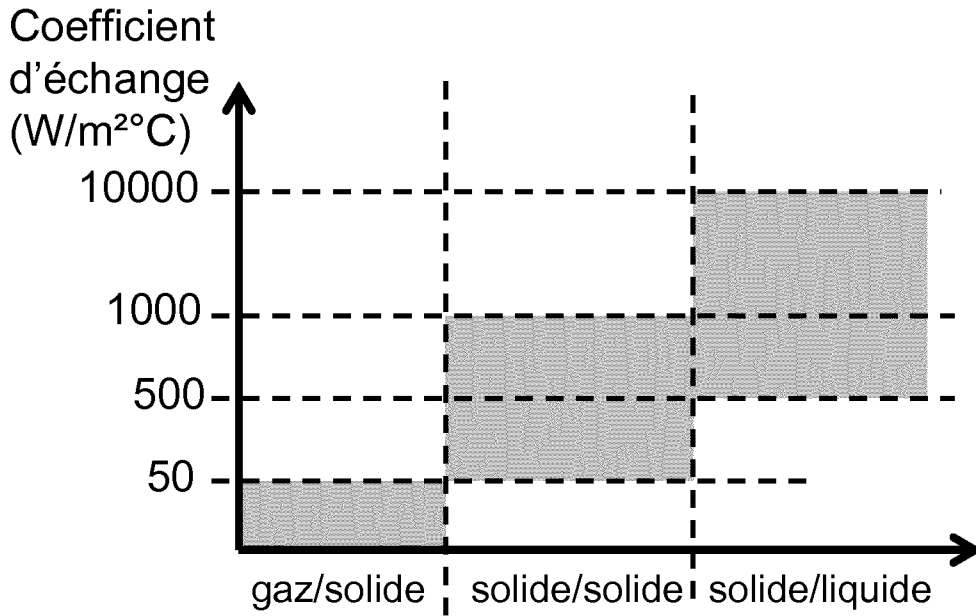


FIG.1

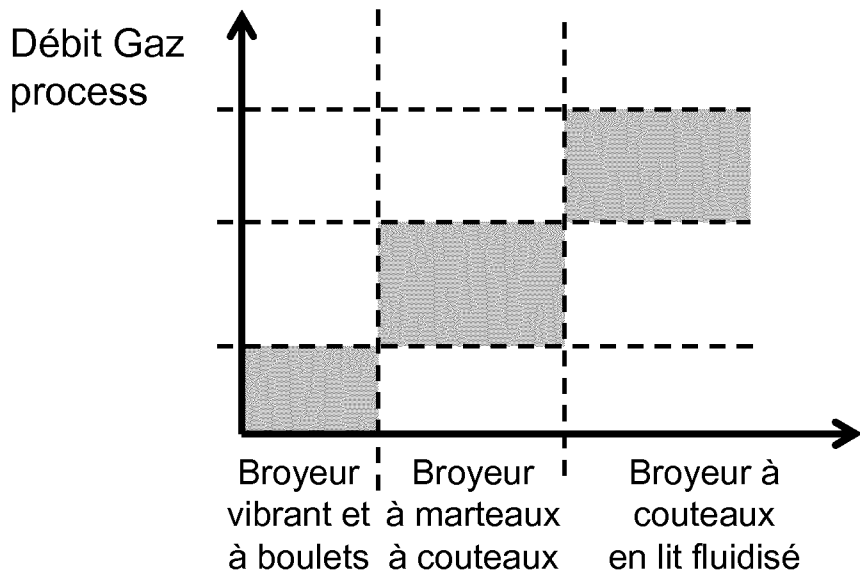


FIG.2

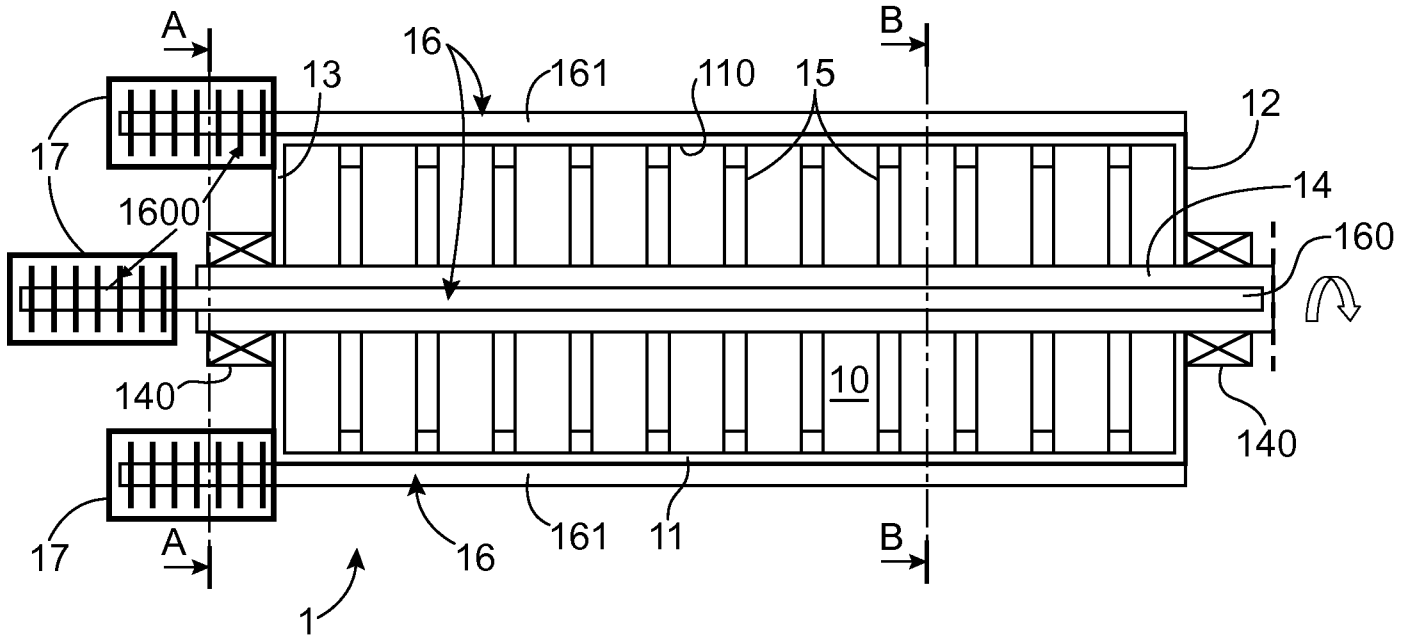


FIG.3

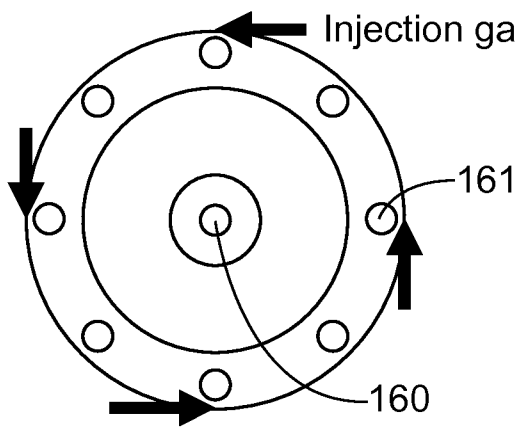


FIG.3A

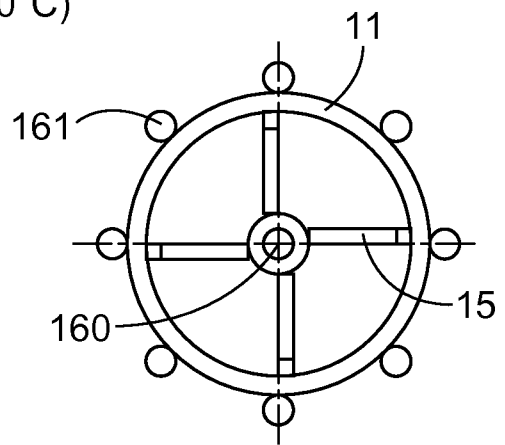


FIG.3B

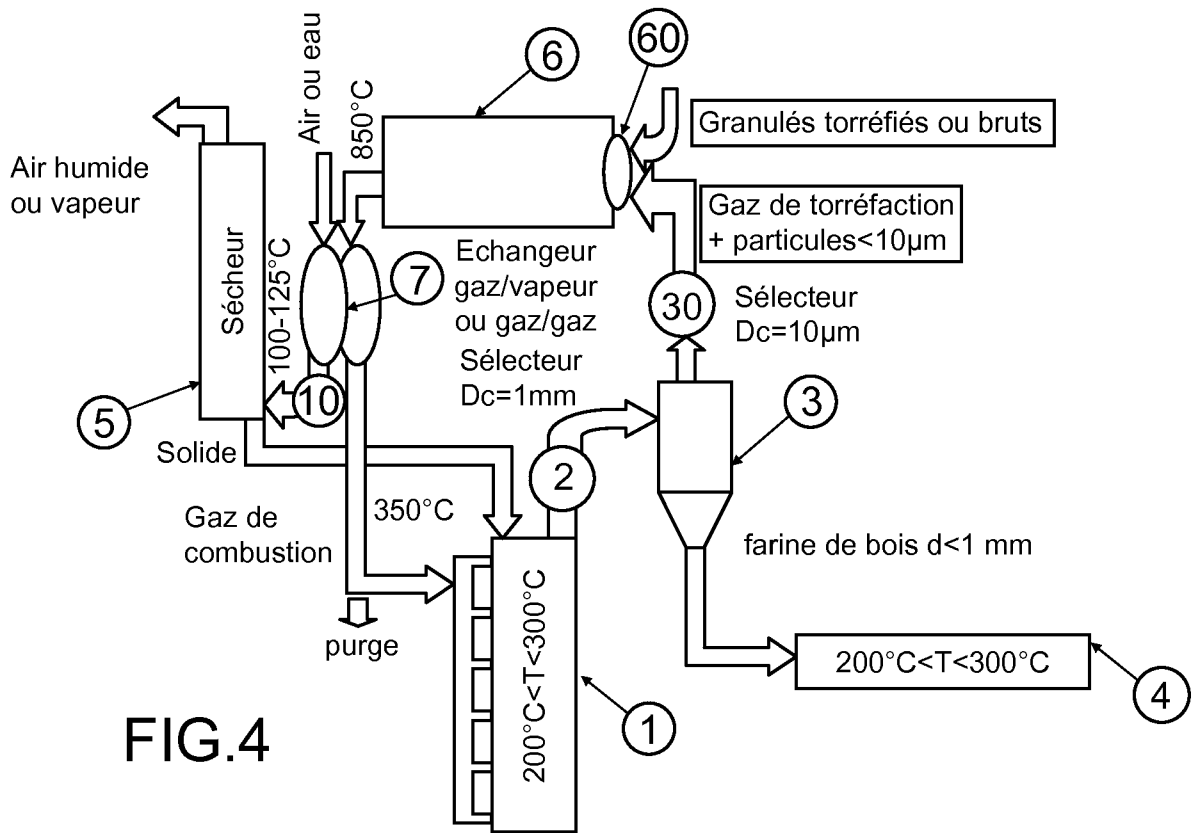


FIG.4

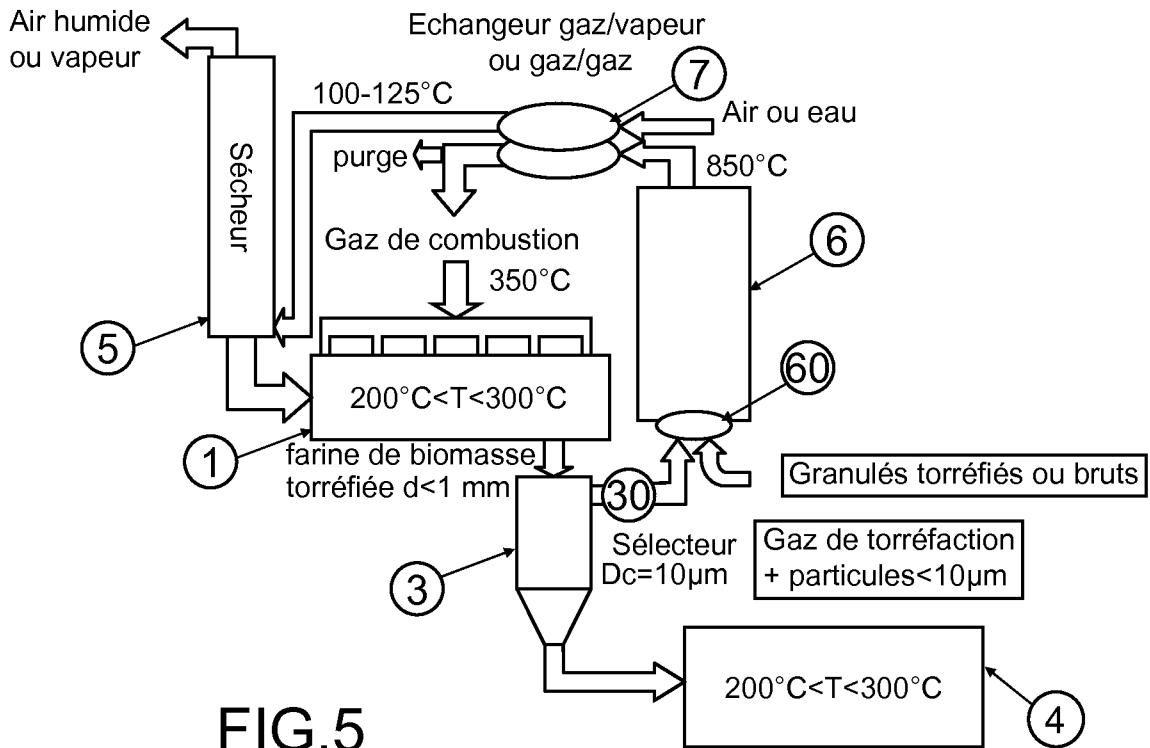


FIG.5

