

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 899 596

②① N° d'enregistrement national : **06 02974**

⑤① Int Cl⁸ : C 10 J 3/00 (2006.01), C 10 L 5/44, F 02 B 43/10, 63/04, F 01 N 5/02, F 02 G 5/02, F 01 D 15/10, H 02 K 7/00

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 05.04.06.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 12.10.07 Bulletin 07/41.

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

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦① Demandeur(s) : *ENRIA Société par actions simplifiée* — FR.

⑦② Inventeur(s) : DAVERAT PHILIPPE et MILLET NICOLAS.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : REGIMBEAU.

⑤④ PROCÉDE DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE A PARTIR DE BIOMASSE.

⑤⑦ La présente invention concerne un procédé de production d'énergie électrique à partir de biomasse comprenant les étapes successives suivantes:

a) gazéification de la biomasse en présence d'air dans un réacteur, avantageusement à une température supérieure à 800°C, pour obtenir un gaz de synthèse,

b) refroidissement du gaz de synthèse à une température non inférieure à 300°C,

c) lavage du gaz de synthèse afin d'éliminer substantiellement les goudrons et/ou l'ammoniac,

d) injection du gaz lavé dans au moins un moteur à gaz couplé à un générateur électrique, permettant de produire de l'énergie électrique.

L'invention a également pour objet une installation de production d'énergie électrique à partir de biomasse, convenant à la mise en oeuvre dudit procédé.

FR 2 899 596 - A1



La présente invention concerne le domaine technique général de la valorisation
5 de la biomasse, notamment des déchets ou sous-produits végétaux et/ou animaux, afin
de produire de l'électricité et de la chaleur.

En particulier, la présente invention concerne un procédé de production
d'énergie électrique à partir de biomasse comprenant la gazéification de la biomasse
pour produire un gaz de synthèse, le traitement de ce gaz de synthèse, et l'injection du
10 gaz dans au moins un moteur à combustion interne couplé à un générateur électrique,
permettant de produire de l'énergie électrique. Le procédé selon la présente invention
permet en outre avantageusement de produire de l'énergie thermique. La présente
invention concerne également une installation de production d'énergie électrique à
partir de biomasse convenant à la mise en œuvre d'un tel procédé. L'installation selon
15 la présente invention permet en outre avantageusement de produire de l'énergie
thermique.

De nos jours, la diversification des ressources énergétiques représente un défi
pour la majorité des pays. Les réserves de pétrole et de gaz naturel s'amenuisent, et
nous risquons de manquer de ces ressources énergétiques fossiles dans un futur proche.

20 Par ailleurs, la majorité des pays occidentaux, dont la France, dispose de peu de
ressources fossiles pour produire de l'électricité, et la nécessité d'importer des énergies
fossiles représente ainsi un coût considérable pour ces pays, dans un contexte où le
prix du pétrole s'inscrit durablement à la hausse.

La volonté de développer des sources d'énergies respectueuses de
25 l'environnement, doublée du constant souci de l'efficacité économique, ont fait des
énergies renouvelables, une composante pleine et entière de la politique énergétique
française.

Contrairement aux énergies fossiles, telles que le pétrole, le gaz naturel, et le
charbon, qui augmentent la quantité de CO₂ de l'atmosphère et ont des effets
30 catastrophiques sur l'effet de serre, les énergies renouvelables contribuent au
développement énergétique durable, puisqu'elles n'émettent pas de gaz à effet de serre.

Le développement de sources d'énergies non fossiles renouvelables constitue ainsi un enjeu environnemental majeur.

La biomasse et les biocombustibles présentent le double avantage de constituer des combustibles et carburants de grande qualité, et de ne pas alourdir les rejets de gaz à effet de serre. En effet, la biomasse participe à la lutte contre le réchauffement climatique de la planète, dans la mesure où le CO₂ dégagé par la combustion des bioénergies est compensée par le CO₂ absorbé par les végétaux lors de leur croissance.

Par conséquent, il existait ainsi un besoin de mettre au point un nouveau procédé permettant de produire de l'électricité à partir de sources d'énergies renouvelables non fossiles. Par ailleurs, il existait également un besoin de valoriser la biomasse, en particulier les déchets et sous-produits, notamment les déchets verts.

La présente invention vient satisfaire ce besoin. La Demanderesse a ainsi découvert un nouveau procédé de production d'énergie électrique et d'énergie thermique à partir de biomasse par gazéification de ladite biomasse.

Par ailleurs, le procédé selon la présente invention permet le traitement et la valorisation de toutes sortes de biocombustibles, tels que les déchets végétaux, ne nécessitant pas une étape préalable d'extraction de composés particuliers des plantes ou d'isolation de parties spécifiques des plantes. Ainsi, toute la biomasse telle que la biomasse végétale peut être utilisée dans le cadre de la présente invention, et toute la masse des végétaux, y compris les sous-produits des plantes, tels que les tiges, les feuilles, les coques, les herbes, les aiguilles, ou encore la paille, qui sont en général rejetés, peut être valorisée énergétiquement dans le procédé selon la présente invention.

En outre, le procédé de production d'énergie électrique à partir de biomasse selon la présente invention est relativement peu coûteux, dans la mesure où les composés de départ sont de la biomasse telle que des déchets ou des sous-produits d'industries. Par ailleurs, le procédé selon la présente invention permet de contribuer à la diminution des importations d'énergies fossiles concourant à une économie significative en Tonnes Equivalent Pétrole (TEP).

Enfin, le procédé de production d'énergie électrique selon la présente invention, comprenant la gazéification de la biomasse pour obtenir un gaz de synthèse, le lavage du gaz, puis l'injection du gaz de synthèse dans au moins un moteur à gaz

couplé à un générateur électrique, est un procédé respectueux de l'environnement, puisqu'il contribue à la diminution des émissions des gaz à effet de serre. Aucun polluant atmosphérique n'est rejeté lors de l'étape de gazéification. En outre, il n'y a pas d'émission de CO₂ lors de la gazéification de la biomasse végétale et la production
5 de CO₂ par le moteur à gaz est compensée par la fixation du gaz carbonique lors de la période de croissance des végétaux du fait du phénomène de photosynthèse. Le bilan théorique sur le gaz carbonique produit est donc neutre. L'utilisation de la biomasse végétale comme source d'énergie rentre ainsi dans le cycle naturel du carbone. On considère ainsi la biomasse végétale comme une énergie renouvelable neutre vis-à-vis
10 de l'effet de serre.

La présente invention a ainsi pour objet un procédé de production d'énergie électrique à partir de biomasse comprenant les étapes successives suivantes :

- a) gazéification de la biomasse en présence d'air dans un réacteur, avantageusement
15 à une température supérieure à 800°C, pour obtenir un gaz de synthèse,
- b) refroidissement du gaz de synthèse à une température non inférieure à 300°C,
- c) lavage du gaz de synthèse afin d'éliminer substantiellement les goudrons et/ou l'ammoniac,
- d) injection du gaz lavé dans au moins un moteur à gaz couplé à un générateur
20 électrique, permettant de produire de l'énergie électrique.

Avantageusement selon la présente invention, la biomasse est au moins un déchet végétal, tel qu'un déchet agricole ou forestier, ou un sous-produit ou co-produit d'industries agro-alimentaires du type distilleries. En particulier, la biomasse peut contenir des marcs de raisins et/ou des plaquettes forestières, ou encore des écorces.

25 Dans un mode de réalisation particulier de la présente invention, le procédé comprend en outre une étape de séchage de la biomasse afin d'obtenir un taux d'humidité massique inférieur à 25% sur masse totale, préalablement à l'étape de gazéification a) de la biomasse.

Selon une caractéristique particulière de la présente invention, le procédé
30 comprend en outre une étape de broyage et/ou de calibrage de la biomasse, préalablement à l'étape de gazéification a) de la biomasse.

Avantageusement selon la présente invention, de la vapeur d'eau est en outre injectée dans le réacteur de gazéification a) de la biomasse afin d'augmenter le rendement de gazéification.

5 Dans un exemple de réalisation particulier de la présente invention, la gazéification a) de la biomasse est réalisée sous agitation afin d'éviter la stagnation des cendres dans le réacteur de gazéification.

Selon une caractéristique particulière de la présente invention, le refroidissement b) du gaz de synthèse est réalisé par passage dudit gaz dans un récupérateur thermique contenant un fluide thermique, tel que de l'huile thermique.
10 Avantageusement, ledit récupérateur thermique est couplé à un vaporiseur permettant de produire de la vapeur d'eau, ladite vapeur d'eau étant ensuite avantageusement utilisée pour entraîner une turbine à vapeur afin de produire de l'énergie électrique.

Dans un exemple de réalisation particulier, le procédé selon l'invention permet de produire de l'énergie thermique sous forme d'eau chaude ou de vapeur d'eau lors de
15 l'étape de refroidissement b) du gaz de synthèse à l'aide du récupérateur thermique. Dans ce cas, la vapeur d'eau n'est pas valorisée dans une turbine à vapeur.

Selon un mode de réalisation particulier de la présente invention, au moins une partie des cendres et poussières entraînées dans le gaz de synthèse sont séparées du gaz par passage dans au moins un cyclone, en aval de la gazéification a) de la biomasse,
20 préalablement à l'étape de lavage c) du gaz de synthèse.

Avantageusement selon la présente invention, le procédé comprend en outre au moins une étape de compression du gaz de synthèse en aval de la gazéification a) de la biomasse, avantageusement préalablement et/ou postérieurement à l'étape de lavage c) du gaz de synthèse.

25 Dans un exemple de réalisation particulier de la présente invention, le lavage c) du gaz de synthèse est réalisé dans au moins un laveur à liquide organique par pulvérisation de liquide organique à contre-courant, afin d'épurer le gaz par piégeage des goudrons lourds et/ou légers dans le liquide organique.

Le liquide organique est typiquement choisi en fonction des goudrons produits
30 selon le type de biomasse. Avantageusement, ce liquide organique spécifique peut être qualifié d'huile de synthèse.

De manière avantageuse selon la présente invention, l'épuration des goudrons lourds est réalisée dans un premier étage de laveur à liquide organique par piégeage des goudrons lourds dans ce liquide organique, puis les goudrons lourds sont séparés du liquide organique, par exemple par centrifugation, avant d'être réinjectés comme combustibles dans le réacteur de gazéification.

De manière encore plus avantageuse selon la présente invention, l'épuration des goudrons légers est réalisée dans un deuxième étage de laveur à liquide organique par piégeage des goudrons légers dans ce liquide organique, ce liquide organique étant identique ou différent du liquide organique utilisé pour épurer les goudrons lourds, puis les goudrons légers sont séparés du liquide organique dans un séparateur air/liquide organique par injection d'air chaud à contre-courant, et l'air chaud chargé en goudrons légers est ensuite réinjecté dans la zone d'oxydation du réacteur de gazéification.

Avantageusement selon la présente invention, le lavage c) du gaz de synthèse est réalisé dans au moins un laveur à eau par pulvérisation d'eau à contre-courant, afin d'épurer le gaz par piégeage de l'ammoniac dans l'eau, avantageusement postérieurement au lavage du gaz des goudrons lourds et/ou légers.

De manière encore plus avantageuse selon la présente invention, l'ammoniac est séparé de l'eau dans un séparateur air/eau par injection d'air chaud à contre-courant, et l'air chaud chargé en ammoniac est ensuite réinjecté dans le réacteur de gazéification.

Dans un exemple de réalisation particulier de la présente invention, suite à l'étape de lavage c) du gaz de synthèse, et préalablement à son injection d) dans le moteur à gaz, ledit gaz présente un pouvoir calorifique inférieur compris entre 4 et 7 MJ/Nm³, est à une pression comprise entre 60 et 100 mbar, et à une température comprise entre 40 et 80°C, avantageusement entre 40 et 60°C.

Dans un mode de réalisation particulier de la présente invention, suite à l'injection d) du gaz dans le moteur à gaz, l'énergie des gaz d'échappement issus de la combustion dans ledit moteur à gaz est récupérée afin d'alimenter une chaudière pour produire de la vapeur d'eau, ladite vapeur d'eau étant ensuite avantageusement utilisée pour entraîner une turbine couplée à un générateur afin de produire de l'énergie électrique. Dans un exemple de réalisation particulier, l'énergie des gaz

d'échappement issus de la combustion dans ledit moteur à gaz peut également être récupérée sous forme d'énergie thermique.

La présente invention a également pour objet une installation de production
5 d'énergie électrique à partir de biomasse comprenant associés en série :

- un réacteur (1) de gazéification de la biomasse contenant des moyens d'injection d'air, permettant d'obtenir un gaz de synthèse,
- un dispositif de refroidissement (2) du gaz de synthèse,
- un dispositif de lavage (3) du gaz de synthèse afin d'éliminer substantiellement les
10 goudrons et/ou l'ammoniac, et
- au moins un moteur à gaz (4) couplé à un générateur électrique, permettant de produire de l'énergie électrique.

Cette installation convient à la mise en œuvre du procédé selon la présente invention.

15 Avantageusement selon la présente invention, l'installation contient en outre un moyen de séchage (5) de la biomasse, tel qu'un séchoir basse température, en amont du réacteur (1) de gazéification de la biomasse.

Selon une caractéristique particulière, l'installation selon la présente invention contient en outre un moyen de broyage et/ou un moyen de calibrage de la biomasse, en
20 amont du réacteur (1) de gazéification de la biomasse.

Dans un exemple de réalisation particulier de la présente invention, le réacteur (1) de gazéification de la biomasse est un gazogène à lit mobile non fluidisé, contenant des moyens d'injection d'air à contre-courant.

Avantageusement selon la présente invention, le réacteur (1) de gazéification
25 de la biomasse contient en outre des moyens d'injection de vapeur d'eau.

Dans un mode de réalisation particulier de la présente invention, le réacteur (1) de gazéification de la biomasse contient, dans sa partie inférieure, au moins un moyen d'agitation, tel qu'un bras agitateur rotatif muni de déflecteurs.

Dans le cadre de la présente invention, le dispositif de refroidissement (2) du
30 gaz de synthèse est typiquement un récupérateur thermique contenant un fluide thermique, tel que de l'huile thermique, ledit récupérateur thermique étant avantageusement couplé à un vaporiseur permettant de produire de la vapeur d'eau,

ledit vaporiseur étant lui-même avantageusement couplé à une turbine à vapeur (6) afin de produire de l'énergie électrique.

Dans un exemple de réalisation particulier, l'installation selon la présente invention contient en outre au moins un cyclone (7), en aval du réacteur (1) de
5 gazéification de la biomasse.

Selon une caractéristique particulière, l'installation selon la présente invention contient en outre au moins un dispositif de compression (8) du gaz de synthèse en aval du réacteur (1) de gazéification de la biomasse, avantageusement en amont et/ou en aval du dispositif de lavage (3) du gaz de synthèse.

10 Avantageusement selon la présente invention, le dispositif de lavage (3) du gaz de synthèse contient au moins un moyen de lavage des goudrons (3a), tel qu'un laveur à liquide organique, afin d'extraire les goudrons du gaz de synthèse. Avantageusement, le liquide organique est de l'huile de synthèse. Typiquement, le dispositif de lavage du gaz de synthèse (3) contient deux laveurs à liquide organique (3a) associés en série, en
15 particulier un premier laveur à liquide organique pour piéger les goudrons lourds dans le liquide organique, suivi d'un deuxième laveur à liquide organique pour piéger les goudrons légers dans le liquide organique.

De manière encore plus avantageuse selon la présente invention, le dispositif de lavage du gaz de synthèse contient en outre, en sortie de dérivation du premier laveur à
20 liquide organique (3a), un moyen de séparation des goudrons lourds du liquide organique, ainsi que des moyens de recirculation des goudrons lourds récupérés à la sortie du moyen de séparation vers le réacteur (1) de gazéification.

De manière particulièrement avantageuse selon la présente invention, le dispositif de lavage du gaz de synthèse contient en outre, en sortie de dérivation du
25 deuxième laveur à liquide organique (3a), un séparateur air/liquide organique contenant des moyens d'injection d'air chaud à contre-courant pour séparer les goudrons légers du liquide organique, ainsi que des moyens de recirculation de l'air chaud chargé en goudrons légers récupéré à la sortie du séparateur air/liquide organique vers le réacteur (1) de gazéification.

30 Dans un mode de réalisation particulier de la présente invention, le dispositif de lavage (3) du gaz de synthèse contient au moins un moyen d'élimination de

l'ammoniac (3b), tel qu'un laveur à eau, permettant d'épurer le gaz par piégeage de l'ammoniac dans l'eau.

Dans ce mode de réalisation, le dispositif de lavage du gaz de synthèse contient en outre avantageusement, en sortie de dérivation du laveur à eau (3b), un séparateur
5 air/eau contenant des moyens d'injection d'air chaud à contre-courant pour séparer l'ammoniac de l'eau, ainsi que des moyens de recirculation de l'air chaud chargé en ammoniac récupéré à la sortie du séparateur air/eau vers le réacteur (1) de gazéification.

Selon une caractéristique particulière de la présente invention, l'installation
10 contient en outre, en sortie du moteur à gaz (4), des moyens de récupération des gaz d'échappement issus de la combustion dans ledit moteur à gaz afin d'alimenter une chaudière pour produire de la vapeur d'eau, et l'installation contient en outre, en sortie de la chaudière, une turbine (6) couplée à un générateur afin de produire de l'énergie électrique.

15

Divers objets et avantages de la présente invention deviendront apparents pour l'homme du métier par le biais de références au dessin illustratif suivant :

la figure 1 est une vue schématique d'une installation de production d'énergie électrique à partir de biomasse comprenant associés en série :

- 20 - un moyen de séchage (5) de la biomasse,
- un réacteur de gazéification (1) de la biomasse partiellement séchée, permettant d'obtenir un gaz de synthèse,
- un dispositif de refroidissement (2) du gaz de synthèse, ledit dispositif (2) étant couplé en parallèle à une turbine vapeur (6),
- 25 - un cyclone (7) afin de séparer du gaz de synthèse une partie des cendres et poussières entraînées dans le gaz,
- un premier surpresseur (8) afin de comprimer le gaz de synthèse préalablement au lavage du gaz,
- un dispositif de lavage (3) du gaz de synthèse afin d'extraire du gaz les goudrons
- 30 et l'ammoniac, ledit dispositif (3) contenant en série un moyen de lavage des goudrons (3a) puis un moyen de lavage de l'ammoniac (3b),

- un deuxième surpresseur (8) afin de comprimer le gaz de synthèse suite au lavage du gaz, et
 - un moteur à gaz (4) couplé à un générateur électrique, permettant de produire de l'énergie électrique, ledit moteur à gaz (4) étant par ailleurs couplé en parallèle à une
- 5 turbine vapeur (6).

L'installation comporte par ailleurs une torchère (9), en sortie de dérivation des deux surpresseurs (8), afin de brûler épisodiquement l'excédent du gaz de synthèse si nécessaire, et de réguler ainsi le flux de gaz avant son entrée dans le moteur à gaz.

- Avantageusement, la chaleur produite par le circuit eau chaude et l'énergie
- 10 résiduelle des fumées du moteur sont utilisées pour le séchage de la biomasse.

Le procédé selon la présente invention permet de produire de l'énergie électrique par gazéification de la biomasse.

- Par le terme de « biomasse », on entend au sens de la présente invention toute
- 15 matière organique biodégradable issue d'un processus naturel, susceptible d'une valorisation énergétique. La biomasse peut être d'origine végétale, animale, ou peut être produite par l'activité humaine.

La biomasse peut notamment être :

- le bois, par exemple sous forme de bûches, granulés et plaquettes;
- 20 - les sous-produits du bois qui recouvrent l'ensemble des déchets produits par l'exploitation forestière (branchage, écorces, sciures...), par les scieries (sciures, plaquettes...), par les industries de transformation du bois (menuiseries, fabricants de meubles, parquets) et par les fabricants de panneaux, ainsi que les emballages tels que les palettes;
- 25 - les sous-produits de l'industrie, tels les boues issues de la pâte à papier (liqueur noire) et les déchets des industries agroalimentaires (marcs de raisin et de café, pulpes et pépins de raisin etc.);
- les produits issus de l'agriculture traditionnelle (céréales, oléagineux), résidus tels que la paille, la balle de riz, la bagasse (résidus ligneux de la canne à sucre) et les
- 30 nouvelles plantations à vocation énergétique telles que les taillis à courte rotation (saules, miscanthus, etc.);

- les déchets organiques tels que les déchets urbains comprenant les boues d'épuration, les ordures ménagères, et les déchets en provenance de l'agriculture tels que les effluents agricoles; ou
- les déchets issus de l'élevage comme les fumiers, litières, crottins, lisiers, etc...

5 Typiquement, la biomasse dans le cadre de l'invention est un déchet ou un sous-produit végétal, pouvant se décomposer, notamment un déchet agricole ou forestier, tel que les feuilles, les tiges, les gousses, les cosses ou les coques, les écorces, les aiguilles, la paille, les herbes, et leurs mélanges. On peut utiliser en particulier des marcs de raisins, des plaquettes forestières, ou leurs mélanges.

10 A titre d'exemple, on peut ainsi utiliser toutes les plantes agricoles, et en particulier tous les restes ou sous-produits de ces plantes, notamment les racines telles que les racines d'endives, les déchets de lin, les noyaux de fruits, la bagasse, etc.....

 A titre d'exemple, on peut aussi utiliser des lisiers de porcs, de la farine animale, ou encore des composts, tels que des boues de stations d'épuration mélangés
15 avec des déchets verts.

 Différents types de déchets peuvent être utilisés dans le procédé selon la présente invention.

 Avantageusement selon la présente invention, la biomasse est séchée
20 préalablement à l'étape de gazéification a) de la biomasse. Généralement, l'ensemble des produits biomasse ont naturellement une humidité d'environ 35 à 55% sur matière totale, par exemple de l'ordre de 40% sur matière totale.

 Typiquement, la biomasse est séchée afin d'obtenir un taux d'humidité
massique inférieur à 25% sur matière totale, avantageusement inférieur à 20% sur
25 matière totale, avant d'être introduite dans le réacteur (1) de gazéification.

 Le séchage est avantageusement réalisé par injection d'air chaud.

 Dans un mode de réalisation particulier de la présente invention, le séchage de la biomasse est réalisé à basse température, soit à une température inférieure à 100°C, en particulier d'environ 80 à 95°C, dans un séchoir basse température.

30 Par exemple, le séchoir contient un tapis micro-perforé qui transporte le produit depuis le silo d'alimentation jusqu'au point d'évacuation du produit. De l'air chaud est

avantageusement injecté sur le tapis micro-perforé, plaquant ainsi le produit à sécher sur le tapis, et évitant par conséquent les envois en fin de séchage.

L'air chaud est typiquement généré par le passage d'air ambiant provenant d'un échangeur air/eau situé de préférence en partie haute du séchoir. Un ventilateur permet
5 généralement de faire circuler cet air à l'intérieur du séchoir.

De manière particulièrement avantageuse selon la présente invention, on utilise l'eau chaude et/ou les fumées récupérées des moteurs à gaz (4) afin d'apporter l'énergie nécessaire pour réchauffer l'air qui va servir au séchage de la biomasse.

L'air saturé en eau peut ensuite être rejeté par une gaine d'évacuation
10 (cheminée) en partie haute du séchoir.

Un système de régulation peut être utilisé afin de suivre et d'adapter l'allure de fonctionnement du séchoir pour garantir en permanence un taux d'humidité constant en sortie, soit de l'ordre de 20% ou 25% d'humidité sur matière totale.

Avantageusement, l'air en sortie n'est pas odorant : en effet, la température
15 étant basse et le débit d'air important, aucune combustion de la biomasse n'est réalisée lors du séchage, et les rejets sont très dilués (dilution des COV en sortie du séchoir).

Les produits séchés transitent ensuite généralement vers un silo tampon en attendant d'être transformés en gaz de synthèse dans le gazéificateur. L'acheminement de la biomasse séchée vers le silo de stockage tampon peut être réalisé par un
20 convoyeur mécanique.

Avant séchage, la biomasse peut être broyée si nécessaire, notamment lorsque la biomasse contient des plaquettes ou des écorces de végétaux. Généralement, le broyage est réalisé afin de calibrer la biomasse. Les particules broyées ont typiquement
25 une granulométrie inférieure à 1 cm^3 .

Suite au séchage, la biomasse est avantageusement pesée par une unité de dosage, afin d'alimenter de façon constante le réacteur (1) de gazéification.

Typiquement, le produit est acheminé de façon continue vers le réacteur (1) de gazéification, par exemple par l'intermédiaire d'une vis d'alimentation à vitesse
30 variable et d'un élévateur à godets. Une dernière vis d'alimentation apporte avantageusement le combustible au coeur du réacteur (1).

Lors de l'étape de gazéification a), la biomasse qui est un combustible solide est convertie en gaz de synthèse.

Au sein du réacteur (1), la gazéification s'effectue typiquement dans une ambiance pauvre en O_2 . L'admission des produits et l'évacuation des cendres sont
5 réalisées généralement en continu. Ainsi, le gaz de synthèse produit est en général aspiré et évacué en permanence.

Avantageusement selon la présente invention, la gazéification a) de la biomasse est réalisée à une température de sortie des gaz supérieure à $700^{\circ}C$, encore plus
avantageusement à une température supérieure à $800^{\circ}C$, encore plus avantageusement
10 à une température supérieure à $850^{\circ}C$, encore plus avantageusement à une température supérieure à $900^{\circ}C$, en particulier à une température supérieure à $950^{\circ}C$. La température du lit de biomasse peut quant à elle atteindre et dépasser $1100^{\circ}C$.

Le réacteur (1) de gazéification, que l'on peut encore appeler gazogène, fonctionne avantageusement sous une faible dépression, ce qui permet de limiter tout
15 risque de fuite vers l'extérieur. La pression dans le réacteur (1) est typiquement de l'ordre de -10 à -5 mbar. Cette dépression est de préférence maintenue par un ventilateur surpresseur (8) placé après le réacteur (1) de gazéification. Ce ventilateur est typiquement mu par un moteur à fréquence variable.

Lors d'un démarrage à froid, la mise en température du réacteur (1) peut se
20 faire grâce à un brûleur à gaz, que l'on vient installer de préférence au bas du réacteur pour la durée de la phase de réchauffage du foyer. Le brûleur est équipé de son système d'allumage et de détection de flamme et fonctionne généralement au gaz propane. Il permet de chauffer le réacteur jusqu'à une température nécessaire et suffisante (température d'auto inflammation de l'ordre de $500^{\circ}C$) pour que la
25 gazéification puisse commencer seule.

La gazéification a) de la biomasse est une combustion de la biomasse, s'effectuant par admission contrôlée d'air dans le réacteur (1). Le débit d'air injecté est typiquement de l'ordre de 1,5 à 2,5 par rapport au débit de biomasse à 20% sur masse
totale (MT). Par exemple, le débit d'air injecté est de l'ordre du double du débit de
30 biomasse à 20% sur masse totale (MT).

La gazéification est avantageusement contrôlée par la température de gazéification dans le réacteur (1). Cette température de gazéification est

avantageusement ajustée en régulant la quantité d'air introduite de préférence par un ventilateur d'air d'alimentation situé en partie basse du réacteur (1).

En fonction de la taille du gazéificateur, plusieurs arrivées d'air peuvent être prévues afin de répartir de manière homogène l'injection d'air. Des vannes à réglage manuel peuvent être installées sur chaque point d'injection d'air.

La température de gazéification permet d'atteindre un stade de "craquage" des chaînes carbonées pour générer un gaz contenant principalement de l'azote, du CO₂, du monoxyde de carbone, de l'hydrogène, du méthane, etc. Ce gaz pauvre, dit de synthèse, est à faible valeur énergétique, mais est compatible avec l'utilisation d'un moteur à combustion interne. Par ailleurs, le gaz de synthèse est avantageusement dépourvu de dioxines et furanes.

Avantageusement, lors de la gazéification dans le réacteur (1), le temps de résidence de la biomasse dans le lit mobile à une température typiquement supérieure à 1050°C, et en particulier de l'ordre de 1100°C, est supérieur à 10 secondes, typiquement de l'ordre de 10 à 15 secondes, et le temps de résidence du gaz de synthèse est en général supérieur à 3 secondes, typiquement de l'ordre de 3,5 secondes.

Le réacteur (1) de gazéification est par exemple un réacteur vertical, de l'ordre de 15 à 20 m. Le réacteur (1) de gazéification est avantageusement un gazogène à lit mobile non fluidisé de hauteur constante, contenant des moyens d'injection d'air à contre-courant. La biomasse est typiquement introduite en partie médiane et centrale du réacteur (1) de gazéification, alors que l'injection d'air est réalisée en partie basse du réacteur (1).

Le réacteur (1) de gazéification est avantageusement équipé d'un agitateur, de préférence dans sa partie inférieure. Il permet de mélanger le produit, maintenir un lit de combustibles de hauteur constante (environ une vingtaine de centimètres), et convoie les cendres vers le ou les points bas de récupération de cendres en fond de réacteur (1).

La vitesse de rotation de l'agitateur ainsi que la vitesse d'élimination de cendres peut influencer sur le rendement du gazéificateur. Cet agitateur est donc typiquement alimenté par un moteur à vitesse variable. Le mode de fonctionnement peut être automatique ou manuel.

De manière particulièrement avantageuse selon la présente invention, le réacteur (1) de gazéification contient, dans sa partie inférieure, un bras agitateur rotatif muni de déflecteurs. Les déflecteurs sont avantageusement disposés le long du bras. Un déplacement lent et régulier du lit de cendres du centre vers la périphérie du gazogène évite ainsi la stagnation de ces cendres, leur agglomération et donc leur vitrification.

Ce mode de réalisation est particulièrement adapté lorsque la biomasse contient des marcs de raisins. En effet, le marc de raisins contient une part non négligeable de potassium (environ 2 %), contrairement à d'autres combustibles tels que le bois qui en contiennent beaucoup moins. Cette part de potassium affecte de manière négative les cendres qui ont une forte tendance à se vitrifier (prise en masse avec formation de verre). Cette vitrification perturbe les flux aérauliques en bloquant les arrivées d'air et dégradent donc le fonctionnement du gazogène. L'utilisation d'un bras agitateur rotatif muni de déflecteurs dans le gazogène permet donc d'éviter la vitrification des cendres.

Avantageusement selon la présente invention, on injecte de la vapeur dans le réacteur (1) lors de l'étape de gazéification a) de la biomasse. La Demanderesse a découvert que l'injection de vapeur d'eau dans le réacteur (1) de gazéification, en particulier dans l'air d'admission, avait tendance à « craquer » les derniers % de carbone contenus dans les cendres, et d'améliorer ainsi significativement le rendement de gazéification.

Sans ajout de vapeur d'eau dans le réacteur (1) de gazéification, le rendement du gazogène est typiquement de l'ordre de 60 à 75%, par exemple aux environs de 70%.

Avec ajout de vapeur d'eau dans le réacteur (1) de gazéification, le rendement du gazogène est typiquement de l'ordre de 70 à 80%, en particulier de l'ordre de 75 à 80%, par exemple aux environs de 77%.

Le réacteur (1) de gazéification génère essentiellement le gaz de synthèse, qui est de préférence évacué par une gaine placée en partie supérieure du réacteur et connectée au dispositif de lavage du gaz. Le réacteur ne possède avantageusement pas de cheminée au sens rejet d'échappement. La température du gaz en sortie du réacteur est typiquement d'environ 700 à 1000°C, par exemple de l'ordre de 850°C.

En sortie de réacteur (1), le gaz de synthèse contient principalement du monoxyde de carbone, du dioxyde de carbone, du méthane, de l'hydrogène et de l'azote. Avantageusement selon l'invention, le gaz de synthèse est dépourvu de dioxines et de furanes. Typiquement, le gaz de synthèse contient (% en volume) : 10 à 20% de CO, par exemple de l'ordre de 15% de CO, 10 à 20% de CO₂, par exemple de l'ordre de 15% de CO₂, 2 à 8% de CH₄, par exemple de l'ordre de 5% de CH₄, 5 à 15% de H₂, par exemple de l'ordre de 10% de H₂, et 45 à 55% de N₂, par exemple de l'ordre de 50% de N₂. La composition dépend typiquement de la quantité de vapeur injectée.

Dans un exemple de réalisation particulier de la présente invention, le gaz de synthèse a la composition suivante (% en volume) :

- Méthane (CH₄) : 4,26%
- Ethane (C₂H₆) : 0,21 %
- Propane (C₃H₈) : 0,03 %
- Butane (C₄H₁₀) : 0,03 %
- Pentane (C₅H₁₂) : 0,01 %
- Ethylène (C₂H₄) : 1,11 %
- Propylène/Propène (C₃H₆) : 0,13 %
- Benzène (C₆H₆) : 0,13 %
- Dioxyde de Carbone (CO₂) : 12,05 %
- Monoxyde de carbone (CO) : 14,07 %
- Hydrogène (H₂) : 4,25 %
- Azote (N₂) : 48,57 %
- Vapeur d'eau (H₂O) : 14,74%
- Dioxyde de soufre (SO₂) : 0,06%
- Ammoniac : 0,35 %

Le gaz est aussi chargé en goudrons qui seront éliminés lors des phases de lavage.

Les cendres collectées en fond de gazogène (1) sont avantageusement refroidies puis transportées, par exemple dans un convoyeur fermé, jusqu'à un silo de stockage des cendres de fond. Ces cendres peuvent ensuite être valorisées en épandage agricole ou pour la réalisation d'amendements agricoles.

Suite à la gazéification a) de la biomasse, le gaz de synthèse obtenu est soumis à une étape de refroidissement b), typiquement à l'aide d'un échangeur thermique (2). Lors du refroidissement b), le gaz traverse avantageusement un récupérateur thermique (2), type tubes de fumées à contre-courant. Ce récupérateur (2) permet de refroidir le gaz de synthèse jusqu'à une température supérieure à 300°C, avantageusement supérieure à environ 320°C, en particulier supérieure à environ 350°C, par exemple à l'aide d'un fluide thermique tel que de l'huile thermique. La température du gaz de synthèse suite au refroidissement b) ne doit pas être trop basse, afin d'éviter que les goudrons ne se déposent et colmatent les conduites de circulation.

Avantageusement, le dispositif de refroidissement (2) du gaz de synthèse est spécifique au gaz produit. Il s'agit typiquement d'un dispositif vertical, dans lequel le gaz passe du haut vers le bas, et le fluide thermique du bas vers le haut.

Des capteurs de température permettent de contrôler la température de l'huile thermique dans le récupérateur et en sortie de ce récupérateur.

De manière particulièrement avantageuse selon la présente invention, le dispositif de refroidissement (2) du gaz de synthèse est couplé à un vaporiseur pour produire de la vapeur entraînant une turbine à vapeur (6), permettant de produire de l'énergie électrique. Le dispositif de refroidissement (2) du gaz de synthèse peut permettre également de produire de l'énergie thermique sous forme d'eau chaude ou de vapeur d'eau.

Selon une caractéristique particulière de la présente invention, au moins une partie des cendres et poussières entraînées dans le gaz de synthèse sont séparées du gaz par passage dans au moins un cyclone (7), en aval de la gazéification a) de la biomasse, préalablement à l'étape de lavage c) du gaz de synthèse.

Par exemple, suite au refroidissement b) et/ou préalablement au refroidissement b), le gaz de synthèse passe à travers un cyclone (7) pour lui retirer les poussières fines contenues dans le gaz.

Le gaz de synthèse est ensuite avantageusement comprimé, préalablement à l'étape de lavage c). Typiquement après avoir traversé le cyclone (7), le gaz est aspiré par un premier surpresseur (8), permettant de maintenir le gazéificateur (1) en légère

dépression (de l'ordre de -5 mbar), et donc d'aspirer le gaz à travers le récupérateur thermique (2) et le cyclone (7).

En sortie du surpresseur (8), le gaz est comprimé entre environ 50 et 75 mbar, avantageusement entre 60 et 70 mbar, au-dessus de la pression atmosphérique, afin de
5 fonctionner en légère surpression dans le système de lavage (3) du gaz.

Le gaz, avantageusement comprimé, est ensuite lavé afin d'éliminer substantiellement les goudrons et/ou l'ammoniac. La teneur en goudrons à l'entrée du lavage est typiquement de 25 g/Nm³ et est réduite à 100 mg/Nm³ en sortie du lavage. La teneur en ammoniac à l'entrée du laveur est typiquement de 4000 à 5000 mg/Nm³
10 et est réduite à 40-50 mg/Nm³ en sortie.

Le lavage c) du gaz comporte avantageusement une première étape d'extraction des goudrons dans au moins un dispositif de lavage des goudrons (3a). Le lavage des goudrons est typiquement réalisée dans au moins un laveur à huile par pulvérisation d'huile de synthèse (liquide organique) à contre-courant. Pour des raisons de
15 simplification, l'huile de synthèse sera qualifiée d'huile ci-dessous.

Selon une caractéristique particulière de la présente invention, les goudrons lourds sont tout d'abord éliminés dans un premier étage de laveur à huile (scrubber), typiquement à une température de l'ordre de 300 à 350°C. Le laveur à huile (scrubber) est typiquement alimenté en huile à partir d'un petit réservoir de stockage tampon.
20 Dans ce laveur à huile, de préférence vertical, le gaz entre en partie basse et circule de bas en haut, tandis que l'huile est pulvérisée à travers des buses, à contre-courant, en partie haute de la colonne. Le gaz de synthèse est ainsi épuré de la majeure partie des goudrons lourds qui se retrouvent piégés dans l'huile.

L'huile chargée en goudrons lourds est ensuite envoyée vers un moyen de
25 séparation des goudrons lourds de l'huile, ce moyen de séparation étant relié à la sortie de dérivation du laveur à huile. Le moyen de séparation des goudrons lourds de l'huile peut par exemple être une centrifugeuse. L'huile est ensuite en général réinjectée dans le réservoir de stockage tampon.

Les goudrons récupérés, quant à eux, sont avantageusement réinjectés comme
30 combustibles dans le réacteur (1) de gazéification afin d'y être brûlés totalement.

Suite au lavage des goudrons lourds, on procède avantageusement au lavage des goudrons légers. Le gaz de synthèse est ainsi transféré dans un deuxième laveur à

huile (scrubber), placé en aval du premier laveur à huile qui a été utilisé pour épurer les goudrons lourds. De la même façon que dans le premier laveur à huile, un liquide organique (huile de synthèse) est pulvérisé à contre courant dans ce deuxième laveur à huile afin d'extraire les goudrons légers du gaz. L'huile peut être identique ou
5 différente de l'huile utilisée pour épurer les goudrons lourds.

Suite au passage dans ce deuxième laveur à huile, le gaz de synthèse est ainsi épuré de la majeure partie des goudrons légers qui se retrouvent piégés dans l'huile.

L'huile chargée en goudrons légers est ensuite envoyée vers un moyen de séparation des goudrons légers de l'huile, ce moyen de séparation étant relié à la sortie
10 de dérivation du deuxième laveur à huile. Le moyen de séparation des goudrons légers de l'huile est typiquement un séparateur air/huile (stripper air/huile), dans lequel est injecté de l'air chaud à contre-courant. L'air chaud est typiquement injecté dans ce séparateur air/huile à une température de l'ordre de 160 à 200°C, en particulier à une température comprise entre 180°C et 190°C.

15 L'air chaud est de préférence injecté en partie basse du séparateur air/huile, tandis que l'huile est injectée en partie haute. Les goudrons sont alors transférés dans l'air, et l'huile propre peut alors être renvoyée dans le deuxième étage de laveur à huile. La colonne du séparateur air/huile est avantageusement remplie d'un garnissage permettant d'augmenter au maximum la surface d'échange.

20 L'air chaud chargé en goudrons légers peut ensuite être réinjecté dans le réacteur de gazéification (1) en tant qu'air de combustion.

Le gaz épuré des goudrons est ensuite avantageusement dirigé vers un système de lavage (3b) afin d'éliminer une grande partie du NH_3 (ammoniac).

25 Préalablement à l'introduction du gaz dans le dispositif de lavage de l'ammoniac (3b), le gaz est avantageusement refroidi jusqu'à une température de l'ordre de 20 à 30°C, par exemple aux environs de 25°C, par exemple dans un condenseur à double étage. Les condensats chargés en NH_3 peuvent ensuite être envoyés dans un séparateur air/eau (stripper à air/eau), pour un prétraitement de cette
30 eau de déconcentration.

Dans un mode de réalisation particulier de la présente invention, le dispositif de lavage de l'ammoniac (3b) est un dispositif de lavage à l'eau, tel qu'un laveur à eau

(scrubber à eau), par pulvérisation d'eau à contre-courant. Le principe du lavage à l'eau consiste à faire absorber l'ammoniac (NH_3) contenu dans le gaz par de l'eau.

Comme dans le laveur à huile (scrubber), l'huile étant ici remplacée par de l'eau, le gaz circule avantageusement de bas en haut dans le laveur à eau, tandis que l'eau est pulvérisée à contre-courant. La colonne du laveur à eau est avantageusement équipée d'un garnissage (petits éléments disposés en structure ordonnée) qui permet une meilleure absorption du NH_3 par l'eau : le gaz est alors obligé d'emprunter des trajets sinueux, et entre donc plus en contact avec l'eau (augmentation de la surface d'échange).

Typiquement, le système de lavage à l'eau (3b) permet de diminuer la concentration en NH_3 dans le gaz d'environ 4000 - 5000 mg/Nm^3 de gaz à 25 mg/Nm^3 de gaz.

Suite au passage dans ce laveur à eau (3b), le gaz de synthèse est ainsi épuré de la majeure partie de l'ammoniac qui se retrouve piégé dans l'eau. Ainsi, en sortie du laveur à eau (3b), le gaz propre peut alors être envoyé vers la centrale de production d'énergie, encore appelée centrale de cogénération, pour l'alimentation des moteurs à gaz (4). Préalablement à l'injection d) du gaz dans les moteurs à gaz (4), le gaz est comprimé à l'aide d'un surpresseur (8) à une pression supérieure à la pression atmosphérique, typiquement à une pression comprise entre 50 et 140 mbar, avantageusement comprise entre 60 et 100 mbar.

L'eau chargée en ammoniac est ensuite envoyée vers un moyen de séparation de l'ammoniac et de l'eau, ce moyen de séparation étant relié à la sortie de dérivation du laveur à eau. Le moyen de séparation de l'ammoniac de l'eau est typiquement un séparateur air/eau (stripper air/eau), dans lequel est injecté de l'air chaud à contre-courant. L'air chaud est typiquement injecté dans ce séparateur air/eau à une température de l'ordre de 30 à 70°C, en particulier à une température comprise entre 35°C et 55°C.

L'air chaud est de préférence injecté en partie basse du séparateur air/eau, tandis que l'eau est injectée en partie haute. L'ammoniac dissous dans l'eau est capté par l'air chaud, l'air chaud provoquant une chute de la pression partielle du NH_3 et permettant ainsi son dégazage. La colonne du séparateur air/eau est avantageusement

remplie d'un garnissage poreux, permettant d'augmenter au maximum la surface d'échange.

L'air chaud contenant le NH_3 sort ensuite par le haut de colonne du séparateur air/eau avant d'être réinjecté dans le réacteur de gazéification (1) en tant qu'air de combustion.

De manière particulièrement avantageuse selon la présente invention, l'air chaud chargé en ammoniac est d'abord envoyé en partie basse du séparateur air/huile (stripper air/huile) qui est alors utilisé pour séparer les goudrons légers de l'huile. Puis, l'air chaud chargé en ammoniac et en goudrons légers est réinjecté dans le réacteur de gazéification (1).

L'eau propre récupérée en bas de colonne du séparateur air/eau est avantageusement refroidie, puis réutilisée dans le laveur à eau (scrubber à eau).

Préalablement au lavage c) du gaz de synthèse, de préférence en sortie du premier surpresseur (8), un système de dérivation (by-pass) est installé notamment pour la phase de démarrage de l'installation. Sur ce système de dérivation, une torchère (9) permet de brûler épisodiquement l'excédent du gaz de synthèse si nécessaire.

Lors de la montée en température et en puissance (0 à 100%) du gazéificateur (1), les premiers gaz produits sont avantageusement brûlés en torchère tant que le gazéificateur n'a pas atteint 70% de charge, le système de lavage (3) ne pouvant fonctionner correctement qu'à partir de cette charge. Ce by-pass est aussi utilisé en cas de dysfonctionnement du système de lavage (3) ou du deuxième surpresseur (8).

Suite au système de lavage (3) du gaz de synthèse, de préférence en sortie du deuxième surpresseur (8), un deuxième système de dérivation (by-pass) est installé notamment en cas d'arrêt partiel ou total de l'unité de cogénération (arrêt des moteurs). En effet, l'inertie du système de gazéification est telle que le système ne peut répondre instantanément. Le gaz produit en excès est alors brûlé en torchère, ce qui permet de réguler ainsi le flux de gaz avant son entrée dans le moteur à gaz (4).

Une conduite de dérivation (by-pass) est ainsi de préférence reliée à la sortie de dérivation de chacun des deux surpresseurs (8) qui sont avantageusement en amont et en aval du dispositif de lavage (3a, 3b) du gaz (Cf. Figure 1).

La torchère (9) est un dispositif de brûlage de gaz utilisé très épisodiquement, solution temporaire nécessaire dans les phases de démarrage ou pour palier le manque de réactivité du gazogène (1) lors d'un arrêt d'urgence ou lors de variations brutales de la charge des moteurs (4).

5

Suite au lavage c) du gaz de synthèse, et préalablement à son injection d) dans le moteur à gaz (4), ledit gaz présente un pouvoir calorifique inférieur (PCI) compris entre 4 et 10 MJ/Nm³, avantageusement compris entre 4 et 6 MJ/Nm³.

Ensuite, l'injection du gaz lavé dans au moins un moteur à gaz (4) couplé à un
10 générateur électrique permet de produire de l'énergie électrique. A titre d'exemple, 1kg/h de biomasse séchée à 20% d'humidité sur la masse totale permet de produire 1kWh d'électricité.

Typiquement, le rendement du moteur à gaz (4) est de l'ordre de 32 à 38%, notamment de l'ordre de 33 à 36%.

15 Typiquement, le rendement des turbines à vapeur (6) est de l'ordre de 21 à 27%, par exemple de l'ordre de 24 à 25%.

Typiquement, le rendement global du procédé (énergie électrique et thermique) est de l'ordre de 75 à 85%, par exemple de l'ordre de 80% avec turbine.

De préférence, l'installation selon la présente invention contient plusieurs
20 moteurs à gaz (4). Selon une caractéristique particulière de la présente invention, de l'eau glycolée circule en circuit fermé dans les canalisations, afin de refroidir les moteurs à gaz (4).

De manière particulièrement avantageuse selon la présente invention, suite à l'injection d) du gaz dans le moteur à gaz (4), les gaz d'échappement issus de la
25 combustion dans ledit moteur à gaz sont récupérés afin d'alimenter une chaudière pour produire de la vapeur d'eau, ladite vapeur d'eau étant ensuite avantageusement utilisée pour entraîner une turbine (6) couplée à un générateur afin de produire de l'énergie électrique.

30

REVENDICATIONS

5

1. Procédé de production d'énergie électrique à partir de biomasse comprenant les étapes successives suivantes :

- a) gazéification de la biomasse en présence d'air dans un réacteur, avantageusement à une température supérieure à 800°C, pour obtenir un gaz de synthèse,
- 10 b) refroidissement du gaz de synthèse à une température non inférieure à 300°C,
- c) lavage du gaz de synthèse afin d'éliminer substantiellement les goudrons et/ou l'ammoniac, et
- d) injection du gaz lavé dans au moins un moteur à gaz couplé à un générateur électrique, permettant de produire de l'énergie électrique.

- 15 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la biomasse est au moins un déchet végétal, tel qu'un déchet agricole ou forestier, en particulier des marcs de raisins et/ou des plaquettes forestières.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de séchage de la biomasse afin d'obtenir un taux d'humidité massique inférieur à 25% sur masse totale, préalablement à l'étape de gazéification a) de la biomasse.
- 20

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de broyage et/ou de calibrage de la biomasse, préalablement à l'étape de gazéification a) de la biomasse.

- 25 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que de la vapeur d'eau est en outre injectée dans le réacteur de gazéification a) de la biomasse afin d'augmenter le rendement de gazéification.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la gazéification a) de la biomasse est réalisée sous agitation afin d'éviter la stagnation des cendres dans le réacteur de gazéification.
- 30

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le refroidissement b) du gaz de synthèse est réalisé par passage dudit gaz

dans un récupérateur thermique contenant un fluide thermique, tel que de l'huile thermique, ledit récupérateur thermique étant avantageusement couplé à un vaporiseur permettant de produire de la vapeur d'eau, ladite vapeur d'eau étant ensuite avantageusement utilisée pour entraîner une turbine à vapeur afin de produire de l'énergie électrique.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une partie des cendres entraînées dans le gaz de synthèse sont séparées du gaz par passage dans au moins un cyclone, en aval de la gazéification a) de la biomasse, préalablement à l'étape de lavage c) du gaz de synthèse.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre au moins une étape de compression du gaz de synthèse en aval de la gazéification a) de la biomasse, avantageusement préalablement et/ou postérieurement à l'étape de lavage c) du gaz de synthèse.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le lavage c) du gaz de synthèse est réalisé dans au moins un laveur à liquide organique par pulvérisation de liquide organique à contre-courant, afin d'épurer le gaz par piégeage des goudrons lourds et/ou légers dans le liquide organique.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que l'épuration des goudrons lourds est réalisée dans un premier étage de laveur à liquide organique par piégeage des goudrons lourds dans ce liquide organique, puis les goudrons lourds sont séparés du liquide organique avant d'être réinjectés comme combustibles dans le réacteur de gazéification.

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que l'épuration des goudrons légers est réalisée dans un deuxième étage de laveur à liquide organique par piégeage des goudrons légers dans ce liquide organique, ce liquide organique étant identique ou différent du liquide organique utilisé pour épurer les goudrons lourds, puis les goudrons légers sont séparés du liquide organique dans un séparateur air/liquide organique par injection d'air chaud à contre-courant, et l'air chaud chargé en goudrons légers est ensuite réinjecté dans le réacteur de gazéification.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le lavage c) du gaz de synthèse est réalisé dans au moins un laveur à eau par pulvérisation d'eau à contre-courant, afin d'épurer le gaz par piégeage de l'ammoniac

dans l'eau, avantageusement postérieurement au lavage du gaz des goudrons lourds et/ou légers.

14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que l'ammoniac est séparé de l'eau dans un séparateur air/eau par injection d'air chaud à contre-courant, et
5 l'air chaud chargé en ammoniac est ensuite réinjecté dans le réacteur de gazéification.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, suite à l'étape de lavage c) du gaz de synthèse, et préalablement à son injection d) dans le moteur à gaz, ledit gaz présente un pouvoir calorifique inférieur compris entre 4 et 7 MJ/Nm³, est à une pression comprise entre 60 et 100 mbar, et à
10 une température comprise entre 40 et 80°C.

16. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, suite à l'injection d) du gaz dans le moteur à gaz, l'énergie des gaz d'échappement issus de la combustion dans ledit moteur à gaz est récupérée afin d'alimenter une chaudière pour produire de la vapeur d'eau, ladite vapeur d'eau étant
15 ensuite avantageusement utilisée pour entraîner une turbine couplée à un générateur afin de produire de l'énergie électrique.

17. Installation de production d'énergie électrique à partir de biomasse comprenant associés en série :

- un réacteur (1) de gazéification de la biomasse contenant des moyens d'injection
20 d'air, permettant d'obtenir un gaz de synthèse,
- un dispositif de refroidissement (2) du gaz de synthèse,
- un dispositif de lavage (3) du gaz de synthèse afin d'éliminer substantiellement les goudrons et/ou l'ammoniac, et
- au moins un moteur à gaz (4) couplé à un générateur électrique, permettant de
25 produire de l'énergie électrique.

18. Installation selon la revendication 17, caractérisée en ce qu'elle contient en outre un moyen de séchage (5) de la biomasse, tel qu'un séchoir basse température, en amont du réacteur (1) de gazéification de la biomasse.

19. Installation selon la revendication 17 ou 18, caractérisée en ce qu'elle
30 contient en outre un moyen de broyage et/ou un moyen de calibrage de la biomasse, en amont du réacteur (1) de gazéification de la biomasse.

20. Installation selon l'une quelconque des revendications 17 à 19, caractérisée en ce que le réacteur (1) de gazéification de la biomasse est un gazogène à lit mobile, contenant des moyens d'injection d'air à contre-courant.

21. Installation selon l'une quelconque des revendications 17 à 20, caractérisée en ce que le réacteur (1) de gazéification de la biomasse contient en outre des moyens d'injection de vapeur d'eau.

22. Installation selon l'une quelconque des revendications 17 à 21, caractérisée en ce que le réacteur (1) de gazéification de la biomasse contient, dans sa partie inférieure, au moins un moyen d'agitation, tel qu'un bras agitateur rotatif muni de déflecteurs.

23. Installation selon l'une quelconque des revendications 17 à 22, caractérisée en ce que le dispositif de refroidissement (2) du gaz de synthèse est un récupérateur thermique contenant un fluide thermique, tel que de l'huile thermique, ledit récupérateur thermique étant avantageusement couplé à un vaporiseur permettant de produire de la vapeur d'eau, ledit vaporiseur étant lui-même avantageusement couplé à une turbine à vapeur (6) afin de produire de l'énergie électrique.

24. Installation selon l'une quelconque des revendications 17 à 23, caractérisée en ce qu'elle contient en outre au moins un cyclone (7), en aval du réacteur (1) de gazéification de la biomasse.

25. Installation selon l'une quelconque des revendications 17 à 24, caractérisée en ce qu'elle contient en outre au moins un dispositif de compression (8) du gaz de synthèse, en aval du réacteur (1) de gazéification de la biomasse, avantageusement en amont et/ou en aval du dispositif de lavage (3) du gaz de synthèse.

26. Installation selon l'une quelconque des revendications 17 à 25, caractérisée en ce que le dispositif de lavage (3) du gaz de synthèse contient au moins un laveur à liquide organique (3a), avantageusement deux laveurs à liquide organique en série, en particulier un premier laveur à liquide organique pour piéger les goudrons lourds dans le liquide organique, suivi d'un deuxième laveur à liquide organique pour piéger les goudrons légers dans le liquide organique.

27. Installation selon la revendication 26, caractérisée en ce que le dispositif de lavage (3) du gaz de synthèse contient en outre, en sortie du premier laveur à liquide organique (3a), un moyen de séparation des goudrons lourds du liquide organique,

ainsi que des moyens de recirculation des goudrons lourds récupérés à la sortie du moyen de séparation vers le réacteur (1) de gazéification.

28. Installation selon la revendication 26 ou 27, caractérisée en ce que le dispositif de lavage (3) du gaz de synthèse contient en outre, en sortie du deuxième
5 laveur à liquide organique (3a), un séparateur air/liquide organique contenant des moyens d'injection d'air chaud à contre-courant pour séparer les goudrons légers du liquide organique, ainsi que des moyens de recirculation de l'air chaud chargé en goudrons légers récupéré à la sortie du séparateur air/liquide organique vers le réacteur (1) de gazéification.

10 29. Installation selon l'une quelconque des revendications 17 à 28, caractérisée en ce que le dispositif de lavage (3) du gaz de synthèse contient au moins un laveur à eau (3b) permettant d'épurer le gaz par piégeage de l'ammoniac dans l'eau.

30. Installation selon la revendication 29, caractérisée en ce que le dispositif de lavage (3) du gaz de synthèse contient en outre, en sortie du laveur à eau (3b), un
15 séparateur air/eau contenant des moyens d'injection d'air chaud à contre-courant pour séparer l'ammoniac de l'eau, ainsi que des moyens de recirculation de l'air chaud chargé en ammoniac récupéré à la sortie du séparateur air/eau vers le réacteur (1) de gazéification.

31. Installation selon l'une quelconque des revendications 17 à 30, caractérisée
20 en ce qu'elle contient en outre, en sortie du moteur à gaz (4), des moyens de récupération des gaz d'échappement issus de la combustion dans ledit moteur à gaz afin d'alimenter une chaudière pour produire de la vapeur d'eau, et en ce qu'elle contient en outre, en sortie de la chaudière, une turbine (6) couplée à un générateur afin de produire de l'énergie électrique.

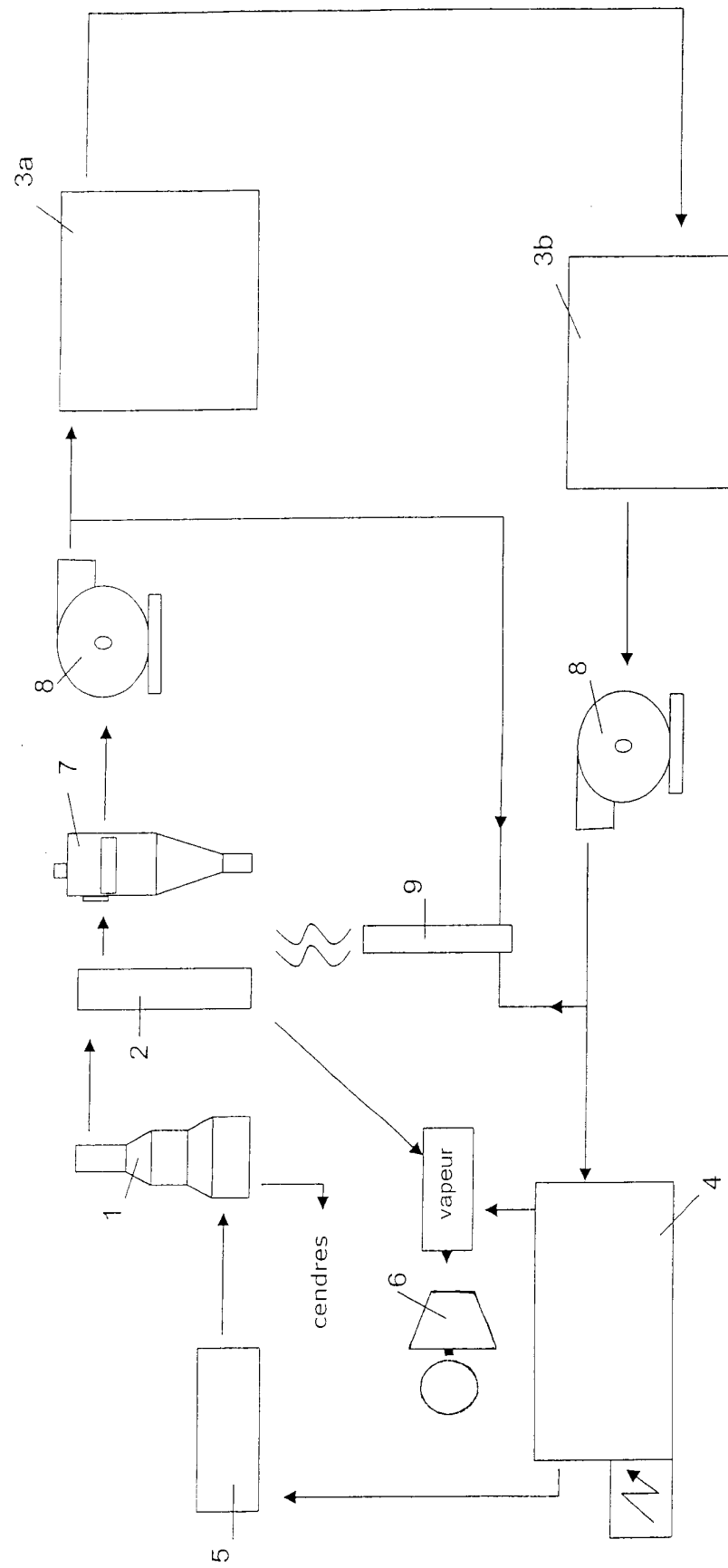


Fig. 1



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 677596
FR 0602974

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	DE 101 49 649 A1 (BU BIOENERGIE & UMWELTECHNIK [CH]) 24 avril 2003 (2003-04-24) * abrégé; figures * * colonne 5, alinéa 19 * * colonne 6, alinéa 26 * -----	1-31	H02K7/1/8 C10L5/4/4 C10J3/0/0 C10J3/2/0 F02B43//10 F02B63//04 F01N5/0/2 F02G5/0/2 F01D15//10 DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) C10J
A	DE 100 47 787 A1 (VER ENERGIEWERKE AG [DE]) 28 mars 2002 (2002-03-28) * abrégé; figures * * colonne 7 *	1,17	
A	DE 100 57 116 A1 (EBU GMBH ENERGIEBUERO UMWELTE [DE]) 20 juin 2002 (2002-06-20) * abrégé; figures * * colonne 2, ligne 36 - ligne 51 * -----	1,17	
A	WO 2005/021474 A (PEARSON TECHNOLOGIES INC [US]; PEARSON STANLEY R [US]) 10 mars 2005 (2005-03-10) * abrégé; figures * * page 9, ligne 23 - ligne 27 * * page 10, ligne 24 - ligne 25 * * page 11, ligne 4 - ligne 7 * * page 11, ligne 16 - ligne 25 *	1,17	
A	US 2005/051500 A1 (PRICE CHARLES E [US] ET AL) 10 mars 2005 (2005-03-10) * abrégé; figures * * alinéa [0005] * -----	1,17	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
7 décembre 2006		Lapeyrere, Jean	
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 0602974 FA 677596**

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 **07-12-2006**

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
DE 10149649 A1	24-04-2003	WO 03033623 A1 EP 1436366 A1	24-04-2003 14-07-2004
DE 10047787 A1	28-03-2002	AUCUN	
DE 10057116 A1	20-06-2002	AUCUN	
WO 2005021474 A	10-03-2005	AU 2004268959 A1 AU 2004268967 A1 BR PI0413814 A BR PI0413817 A CA 2535721 A1 CA 2535888 A1 EP 1660420 A2 EP 1663923 A1 MX PA06002020 A MX PA06002021 A WO 2005021421 A2	10-03-2005 10-03-2005 17-10-2006 17-10-2006 10-03-2005 10-03-2005 31-05-2006 07-06-2006 31-08-2006 31-08-2006 10-03-2005
US 2005051500 A1	10-03-2005	AUCUN	