

(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
11 décembre 2008 (11.12.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2008/149026 A2

(51) Classification internationale des brevets :
C10J 3/20 (2006.01) **C10J 3/22** (2006.01)
C10J 3/66 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2008/050866

(22) Date de dépôt international : 20 mai 2008 (20.05.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0703925 1 juin 2007 (01.06.2007) FR

(71) Déposant et

(72) Inventeur : BEHAR, Isaac [FR/FR]; 3 rue des Acacias,
F-75017 Paris (FR).

(74) Mandataire : PONTET ALLANO & ASSOCIES VER-
SAILLES (CPI); 6 avenue du Général de Gaulle, F-78000
Versailles (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MODULE, SYSTEM AND METHOD FOR PROCESSING HORIZONTAL FIXED BED BIOMASS

(54) Titre : MODULE, SYSTEME ET PROCEDE DE TRAITEMENT DE BIOMASSE A LIT FIXE HORIZONTAL

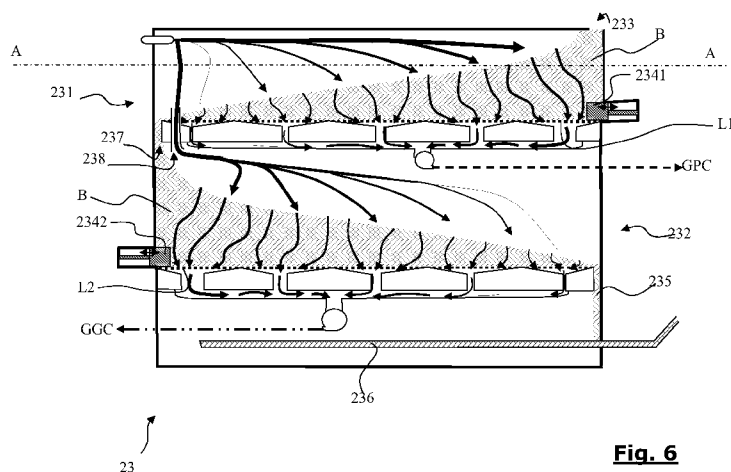


Fig. 6

(57) Abstract: The invention relates to a module for processing a mass and powdery and/or liquid biomass using a gaseous processing fluid on a substantially horizontal fluid bed, said module having an inlet opening for the biomass to be processed on said fixed bed and a biomass discharge opening after processing, characterised in that said processing module includes several so-called processing zones, said module further including: at least one means for injecting a processing gaseous flow into said module, said injection means being common to said processing zones; and, for each of said processing zones, means for extracting the charged processing gaseous flow obtained after the processing with a substantially constant loss of the charge extraction for all said processing zones. The invention also relates to a system and a method for the pyrolysis and gasification of a mass, powdery and liquid biomass that uses at least two modules of the invention in communication with each other.

(57) Abrégé : L'invention concerne un module de traitement de biomasse massique et pulvérulente et/ou liquide par un flux gazeux de traitement sur un lit fixe sensiblement horizontal, ledit module présentant une ouverture d'admission de la biomasse à traiter sur ledit lit fixe et une ouverture d'évacuation de la biomasse après traitement,

[Suite sur la page suivante]

WO 2008/149026 A2



NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport*

caractérisé en ce que ledit module de traitement comprend plusieurs zones, dites de traitement, ledit module comprenant en outre : au moins un moyen d'injection d'un flux gazeux de traitement dans ledit module, ledit moyen d'injection étant commun audites zones de traitement, et pour chacune desdites zones de traitement, des moyens d'extraction du flux gazeux de traitement chargé obtenu après traitement avec une perte de charge d'extraction sensiblement constante pour l'ensemble desdites zones de traitement. L'invention concerne également un système et un procédé de pyrolyse et de gazéification de la biomasse massique, pulvérulente et liquide mettant en œuvre au moins deux modules selon l'invention, communiquant entre eux.

« Module, système et procédé de traitement de biomasse
à lit fixe horizontal »

La présente invention concerne un module de traitement de la
5 biomasse à lit fixe horizontal. Elle concerne également un système de
pyrolyse et de gazéification de la biomasse à lit fixe horizontal mettant en
oeuvre au moins deux modules selon l'invention. Enfin, l'invention concerne
un procédé mis en oeuvre dans le système selon l'invention.

Le domaine de l'invention est le domaine du traitement de la
10 biomasse sur lit fixe sensiblement horizontal. L'invention s'applique plus
particulièrement à la pyrolyse et à la gazéification de la biomasse massique
dans un système à lit fixe horizontal.

Dans cette description :

- 15 - par « gazéification » on entend une transformation thermochimique
autothermique destinée à convertir un combustible solide ou liquide
en un combustible gazeux ;
- par « gaz de synthèse » ou « Gaz synthétique » on entend les gaz
générés par la « gazéification ». Ainsi, le flux gazeux de gazéification
chargé comprend des gaz de synthèse ;
- 20 - par « autothermique » on entend que l'énergie contenue dans le
combustible gazeux provient du combustible solide ou liquide et qu'on
n'a pas besoin, une fois la réaction de gazéification amorcée, d'avoir
recours à toute source d'énergie extérieure à celle disponible dans le
combustible solide ou liquide d'origine ;
- 25 - par « réaction exothermique », on entend une réaction qui dégage
de l'énergie et par « réaction endothermique » on entend une réaction
qui absorbe de l'énergie.
- par « craquage » on entend l'opération qui consiste à casser une
molécule organique complexe en éléments plus petits, ce qui entraîne
30 la formation d'hydrocarbures plus légers à partir d'hydrocarbures plus
lourds.
- par « gazéifieur » on entend un ensemble qui permet la
« gazéification » et qui comprend un « réacteur » permettant la

transformation d'un combustible solide ou liquide en un combustible gazeux.

- par « réacteur » on entend une enceinte qui permet des transformations thermochimiques.

5 - par « biomasse » on entend tous produits carbonés issus directement ou indirectement de la photosynthèse et notamment mais pas de manière limitative les végétaux, les animaux, les déchets organiques divers, dont les déchets ménagers, les boues d'épuration des eaux etc.;

10 - par « biomasse pulvérulente » on entend une biomasse qui se présente sous forme de poudre ou de particules suffisamment petites pour être déplacées par un courant d'air moyen ou par un vide réduit. A titre d'exemple non limitatif citons la sciure de bois, les farines, et de manière plus générale des biomasses à très faible densité et
15 notamment les fractions légères des tris sélectifs des ordures ménagères ;

- par « biomasse liquide » on entend une biomasse qui se présente sous une forme plus ou moins liquide. A titre d'exemple non limitatif citons les boues d'épuration des eaux qui, du fait de la forte teneur en
20 eau se présentent sous une forme liquide.

- par « vannes » on entend tout dispositif permettant de faire varier le débit d'une canalisation et donc la perte de charge en résultant, que la commande soit manuelle, électrique ou pneumatique

- par « Charbon » on entend un produit carboné, assimilable à du coke végétal obtenu par pyrolyse ;
25

- par « biomasse massique » on entend une biomasse relativement dense qui restera en place dans un circuit d'air ou dans une zone en dépression ; à titre d'exemple non limitatif citons des bûches de bois, ou des maxi copeaux, ou encore des produits densifiés à partir de
30 biomasse pulvérulente ;

- par « pci » on entend pouvoir calorifique inférieur du gaz de synthèse ;

- par « pcs » on entend pouvoir calorifique supérieur d'un gaz

- par « combustion » on entend un procédé qui consiste à transformer de la biomasse en chaleur avec formation de gaz oxydés non combustibles ;
- par « comburant » on désigne de l'air, air enrichi d'oxygène ou de l'oxygène ; on peut également intégrer dans le terme « comburant » la vapeur d'eau qui présente un caractère oxydant.

Le document FR 2 440 398 décrit un système de gazéification de la biomasse sur un lit fixe à grille horizontale, alimenté en continu à une extrémité par de la biomasse, le lit fixe à grille permettant la circulation du flux gazeux de traitement transversalement par rapport au sens de cheminement de la biomasse à travers deux ouvertures situées respectivement en amont d'une zone, ou module, de séchage-pyrolyse de la biomasse et en amont d'une zone, ou module, de gazéification de la biomasse, ces ouvertures étant connectées à deux aspirateurs séparés. Le premier aspirateur situé en amont est connecté à l'ouverture située dans le module amont de séchage-pyrolyse et réinjecte le flux gazeux de traitement de gaz chauds au niveau du talus de la biomasse à traiter au voisinage immédiat d'une canalisation de comburant, permettant ainsi une circulation forcée de gaz chaud au travers de la biomasse. L'ouverture située en amont de la zone de gazéification est connectée à un aspirateur qui récupère le flux gazeux de gazéification chargé, c'est-à-dire le flux gazeux servant au traitement de la biomasse chargé des composants qui se sont formés lors du traitement de la biomasse ou par réaction du flux gazeux de traitement avec au moins un composant de la biomasse. Par exemple, lors de la pyrolyse le flux gazeux de pyrolyse se charge de nombreux composés gazeux en des proportions pratiquement imprévisibles tels que :

- CO (monoxyde de carbone); gaz inflammable (sa combustion donne du dioxyde de carbone).
- H₂ (hydrogène); gaz inflammable (sa combustion donne de l'eau).
- CO₂ (dioxyde de carbone); seul gaz non inflammable, car saturé en oxygène, issu de la pyrolyse ;
- CH₄ (méthane); gaz inflammable, très présent dans le gaz naturel;

- CnHm (hydrocarbures légers), gaz inflammables (butane, propane etc.) présents uniquement à l'état de traces parmi les gaz tirés du gazogène,
- CyHw (hydrocarbures lourds entraînés par les gaz de pyrolyse (liqueur pyroligneuse, goudron).

En même temps la teneur en carbone de la biomasse croît constamment.

Le système décrit dans le document FR 2 440 398 présente un inconvénient qui est la difficulté de faire effectivement traverser toute la biomasse par le flux gazeux de traitement.

Pour remédier à cet inconvénient, le document FR 2 487 847 propose un système dans lequel une série de réacteurs séparés sont juxtaposés, de l'amont vers l'aval, chaque réacteur comportant un aspirateur dans la partie basse de chaque réacteur, injectant le flux gazeux ainsi récupéré dans le ciel de chaque réacteur séparé, le comburant étant séparément injecté dans chaque ciel de chaque réacteur séparé. Les dispositions prévues dans ce document conduiront à un système dont les réactions de séchage, de pyrolyse et de gazéification seront très difficiles à contrôler. En effet, la vitesse d'avancement de la biomasse est unique pour tous les réacteurs juxtaposés alors que la quantité de vapeur d'eau et la quantité de gaz de pyrolyse décroîtront de l'amont du système vers l'aval du système et il faudra également ajuster la quantité de comburant dans chaque réacteur juxtaposé, ce qui se traduira en outre par des températures différentes dans le ciel de chacun des réacteurs juxtaposés avec également un risque important d'une température insuffisante dans le ciel des réacteurs juxtaposés situés dans la zone aval du déplacement de la biomasse pour un craquage efficace des gaz de pyrolyse dont les goudrons, conduisant à une teneur élevée en goudron, ou par l'accroissement du risque de devoir injecter une quantité de comburant supérieure ou égale à la quantité stoechiométrique dans les réacteurs juxtaposés situés en aval par rapport au sens de déplacement de la biomasse, conduisant alors à la formation d'une quantité importante de CO₂, gaz non combustible. En plus de la complexité de contrôle des opérations, le système décrit dans ce document est complexe à réaliser et onéreux.

Un objectif de l'invention est de proposer un module, système et procédé de traitement de la biomasse avec une meilleure circulation du flux gazeux de traitement au travers de la biomasse à traiter, tout en restant moins complexe et moins onéreux que les systèmes de l'état de l'art.

5 L'invention propose ainsi un module de traitement de la biomasse par un flux gazeux de traitement sur un lit fixe sensiblement horizontal, ce module présentant une ouverture d'admission de la biomasse à traiter sur le lit fixe et une ouverture d'évacuation de la biomasse après traitement, caractérisé en ce que le module de traitement comprend plusieurs zones,
10 dites de traitement, ce module comprenant en outre :

- au moins un moyen d'injection d'un flux gazeux de traitement dans le module, le moyen d'injection étant commun aux zones de traitement, et
- pour chacune des zones de traitement, des moyens d'extraction
15 du flux gazeux de traitement chargé obtenu après traitement avec une perte de charge d'extraction sensiblement constante pour l'ensemble des zones de traitement.

Le module selon l'invention comprend des zones de traitement homogènes comprenant chacune des moyens d'extraction du flux gazeux de
20 traitement chargé. Le flux gazeux de traitement est extrait avec une perte de charge sensiblement constante pour toutes les sections, permettant ainsi au flux gazeux de traitement de traverser effectivement toute la biomasse de manière uniforme et sensiblement indépendamment des différences d'épaisseur de la biomasse tout le long du lit fixe.

25 Par ailleurs, le module selon l'invention comprend des moyens d'injection du flux gazeux de traitement communs à toutes les zones de traitement permettant ainsi de s'affranchir de différences de composition du flux gazeux de traitement chargé extrait au niveau de chacune des zones de traitement et de la complexité de contrôle des différentes opérations
30 pouvant avoir lieu dans le module. En effet, les différentes parties du flux gazeux de traitement extraites au niveau de chacune des zones de traitement sont ensuite réunies et recyclées ensemble pour être réinjectées dans le ciel du module de traitement par des moyens d'injection communs à toutes les zones de traitement.

Avantageusement, les moyens d'extraction du flux gazeux de traitement chargé d'une zone de traitement comprennent :

- 5 - au moins une ouverture d'extraction aménagée sous le lit fixe horizontal, ce lit fixe horizontal étant composé par exemple d'une grille perméable au flux gazeux de traitement chargé, et
- au moins un moyen d'aspiration dudit flux gazeux de traitement chargé au travers de ladite ouverture.

10 Selon un mode de réalisation, les moyens d'aspiration du flux gazeux de traitement chargé peuvent être communs à toutes les zones de traitement et la taille de chacune des ouvertures d'extraction de chacune des zones de traitement est sensiblement proportionnelle à l'épaisseur de la biomasse présente au niveau de la zone de traitement de manière que la perte de charge d'extraction est sensiblement constante pour toutes les zones de traitement.

15 Selon un autre mode de réalisation, les moyens d'aspiration du flux gazeux de traitement chargé peuvent être communs à toutes les zones de traitement et la taille de chacune des ouvertures d'extraction de chacune des zones de traitement étant sensiblement constante, au moins un organe de régulation d'aspiration est disposé au niveau de chacune des ouvertures

20 d'extraction de manière que la perte de charge est sensiblement constante au niveau de toutes les zones de traitement. Un tel organe de régulation peut, par exemple, comprendre une vanne disposée au niveau de l'ouverture d'extraction et agencée pour réguler l'aspiration de flux gazeux de traitement chargé. Ainsi, la régulation de chaque vanne de chaque

25 ouverture de chaque zone de traitement en fonction de l'épaisseur de biomasse présente au niveau de chacune des zones de traitement, permet d'avoir une extraction du flux gazeux de traitement avec une perte de charge constante et entraînant une traversée effective de toute la biomasse par le flux gazeux de traitement.

30 Le module peut avantageusement comprendre des moyens de mesure de l'épaisseur de la biomasse présente sur le lit horizontal au niveau de chaque zone de traitement et de contrôle de chacune des vannes en fonction de l'épaisseur de biomasse mesurée.

Selon encore un autre mode de réalisation, la taille de toutes les ouvertures d'extraction de toutes les zones de traitement peut être sensiblement constante. Chacune des ouvertures d'extraction de chacune des zones de traitement peut comprendre un moyen d'aspiration ajusté de manière que la perte de charge d'extraction est sensiblement constante au niveau de toutes les zones de traitement. Un aspirateur peut être placé au niveau de chacune des ouvertures d'extraction de chacune des zones de traitement, l'aspiration de chacune étant réglée en fonction de l'épaisseur de biomasse présente sur le lit fixe au niveau de chacune des zones de traitement.

Par ailleurs, le module selon l'invention peut comprendre un dispositif pour faire avancer la biomasse sur ledit lit fixe horizontal, de l'ouverture d'admission vers l'ouverture d'évacuation.

Suivant un autre aspect de l'invention, il est proposé un système de traitement de biomasse sur lit fixe sensiblement horizontal, ce système comprenant :

- une ouverture d'admission de ladite biomasse à traiter sur ledit lit fixe horizontal ;
- un réacteur unique de traitement de la biomasse, comprenant un premier et un deuxième module de traitement de la biomasse, tel que décrit ci-dessus, communiquant entre eux :
 - le premier module, dit de pyrolyse, réalisant une pyrolyse de la biomasse admise par l'ouverture d'admission par un flux gazeux de pyrolyse et comprenant des premiers moyens d'extraction du flux gazeux de pyrolyse chargé, et
 - le deuxième module, dit de gazéification, réalisant une gazéification de ladite biomasse provenant du module de pyrolyse par un flux gazeux de gazéification et comprenant des deuxièmes moyens d'extraction du flux gazeux de gazéification chargé ; et
- une ouverture d'évacuation de résidus de la gazéification de la biomasse.

Par flux gazeux de pyrolyse chargé on entend le flux gazeux de traitement servant à la pyrolyse de la biomasse chargé des composants

gazeux liquides et solides qui se sont formés lors de la pyrolyse de la biomasse dans le module de pyrolyse.

Par flux gazeux de gazéification chargé on entend le flux gazeux de traitement servant à la gazéification de la biomasse chargé des composants gazeux qui se sont formés lors de la gazéification de la biomasse dans le module de gazéification et éventuellement de particules solides entraînées par le flux de gazéification.

Le système selon l'invention peut en outre comprendre un circuit d'amené du flux gazeux de pyrolyse chargé dans le ciel du réacteur, où le flux gazeux de pyrolyse chargé est partiellement oxydé en présence de comburant pour obtenir le flux gazeux de traitement de la biomasse. Le comburant peut être injecté dans le ciel du réacteur par des moyens d'injection. Ces moyens d'injection peuvent par exemple comprendre des buses d'injection réglable permettant de varier la quantité de comburant injecté dans le ciel du réacteur.

Par ailleurs, le circuit d'amené des gaz de pyrolyse chargé peut comprendre un dispositif d'entraînement, par effet venturi, de la biomasse pulvérulente dans le ciel du réacteur, ladite biomasse pulvérulente se trouvant dans un réservoir ou un module dont elle est extraite par la dépression créée par un dispositif venturi, avec, si besoin était, une mise en suspension partielle de la biomasse pulvérulente, mécaniquement, ou autrement.

Dans un autre mode de réalisation, la biomasse pulvérulente peut être fluidisée à température ambiante ou à haute température avant d'être extraite par effet venturi. Avantageusement, la biomasse pulvérulente injectée dans le ciel du réacteur est ensuite pyrolysée et gazéifiée. Ainsi le système selon l'invention permet de réaliser, la pyrolyse et la gazéification de la biomasse pulvérulente, en même temps que la pyrolyse et la gazéification de la biomasse massique. La biomasse pulvérulente pyrolysée peut alors réagir avec la biomasse massique présente sur le lit fixe horizontal permettant ainsi d'épurer les composants gazeux qui apparaissent lors de la pyrolyse et la gazéification de la biomasse pulvérulente.

Le système selon l'invention peut avantageusement comprendre des moyens permettant de maintenir la biomasse pulvérulente sous la forme

d'un lit fluidisé. Ces moyens peuvent comprendre des moyens mécaniques. La biomasse peut aussi être maintenue en lit fluidisé par injection d'un flux gazeux dans le réservoir de biomasse pulvérulente.

Dans un mode de réalisation particulier, le flux gazeux injecté dans le
5 réservoir de biomasse pulvérulente peut être une partie des gaz de pyrolyse chargé. Dans ce cas la biomasse pulvérulente est en partie pyrolysée et gazéifiée dans le réservoir dans lequel elle se trouve.

Dans un autre mode de réalisation particulier, il est possible de traiter
de la biomasse liquide, simultanément avec la biomasse massique en
10 ajoutant en amont un module de séchage de la biomasse liquide, le système selon l'invention comprenant en outre un module comprenant des moyens d'atomisation de la biomasse liquide sous forme de fines gouttelettes traitées par un flux gazeux chaud permettant l'évaporation quasi instantanée du liquide sans pour autant que la biomasse n'atteigne 250°C
15 pour éviter d'entraîner une opération de pyrolyse, par la conjonction de l'apport de chaleur par le gaz chaud, et la réaction endothermique de l'évaporation du liquide, permettant ainsi l'élimination du liquide, qui peut être de l'eau, la pyrolyse de la biomasse pulvérulente sèche, obtenue par séchage de la biomasse liquide, se faisant dans le ciel du réacteur.

20 Avantageusement, le système selon l'invention peut comprendre au moins un échangeur thermique prévu pour récupérer, au moins en partie, l'énergie thermique de flux gazeux de gazéification chargé et/ou du flux gazeux de pyrolyse chargé. Au moins une partie de cette énergie thermique peut être utilisée pour chauffer un flux gazeux de séchage utilisé pour
25 sécher la biomasse solide, ou la biomasse pulvérulente, ou la biomasse liquide dans des modules de séchage disposés en amont du réacteur, avant l'introduction de la biomasse dans le réacteur de traitement.

Par ailleurs le système selon l'invention peut comprendre des moyens de séparation d'au moins un composant gazeux, dit gaz de synthèse,
30 présent dans le flux gazeux de gazéification chargé extrait du module de gazéification.

Dans une mode de réalisation particulier du système selon l'invention le module de pyrolyse et le module de gazéification sont superposés. Le module de pyrolyse est disposé au dessus du module de gazéification. Dans

le module de gazéification la biomasse a un sens de circulation opposé au sens de circulation de la biomasse dans le module de pyrolyse. Dans ce mode de réalisation particulier, le système comprend en outre au moins un ouverture de passage permettant au flux gazeux de traitement de passer du module de pyrolyse dans le module de gazéification.

Suivant encore un autre aspect de l'invention il est proposé un procédé de traitement de biomasse sur lit fixe sensiblement horizontal, avec un flux gazeux de traitement. Ce procédé comprend les étapes suivantes :

- 10 - pyrolyse de la biomasse dans un module, dit de pyrolyse, par le flux gazeux de traitement ;
 - gazéification de la biomasse dans un module, dit de gazéification, par le flux gazeux de traitement,
- les modules de pyrolyse et de gazéification étant en communication entre eux et disposés dans un réacteur unique, chacun des modules comprenant plusieurs zones, dites de traitement, le procédé comprenant en outre
- 15 - une injection du flux gazeux de traitement dans le ciel des modules, l'injection étant commune aux zones de traitement de chacun de modules,
 - 20 - une extraction du flux gazeux de pyrolyse chargé, cette extraction étant réalisée avec une perte de charge sensiblement constante pour chacune des zones de traitement du module de pyrolyse, et
 - une extraction du flux gazeux de gazéification chargé, cette extraction étant réalisée avec une perte de charge sensiblement
 - 25 constante pour chacune des zones de traitement du module de gazéification.

Le procédé selon l'invention comprend en outre une introduction de la biomasse sur le lit fixe horizontale et une extraction des résidus de la biomasse après gazéification.

- 30 Avantageusement, le procédé selon l'invention comprend en outre une injection du flux gazeux de pyrolyse chargé dans le ciel du réacteur, où ledit flux gazeux de pyrolyse chargé est oxydé de manière ménagée en présence de comburant pour obtenir le flux gazeux de traitement. Le comburant peut

être de l'air de l'air enrichi en oxygène ou de l'oxygène, ou encore de la vapeur d'eau et injecté directement dans le ciel du réacteur.

Avantageusement, le procédé selon l'invention comprend une injection de biomasse pulvérulente dans le ciel du réacteur, cette biomasse pulvérulente étant entraînée par le flux gazeux de pyrolyse chargé, par effet venturi. La biomasse injectée dans le ciel du réacteur est ensuite pyrolysée et gazéifiée dans le ciel du réacteur. La biomasse massique se trouvant sur le lit fixe horizontal permet d'épurer les gaz de pyrolyse et de gazéification de la biomasse pulvérulente.

La biomasse pulvérulente peut se trouver sous la forme d'un lit fluidisé dans un réservoir connecté au circuit d'amené du flux gazeux de pyrolyse chargé.

La biomasse liquide peut être préalablement transformée en biomasse pulvérulente par atomisation de la biomasse liquide sous forme de fines gouttelettes dans un module de séchage, les gouttelettes de biomasse liquides étant traitées par un flux gazeux chaud permettant l'évaporation rapide du liquide. La biomasse pulvérulente obtenue est ensuite injectée dans le ciel du réacteur pour y être pyrolysée et/ou gazéifiée.

Le procédé selon l'invention peut en outre comprendre au moins un échange thermique pour récupérer, au moins en partie, l'énergie thermique du flux gazeux de gazéification chargé. Au moins une partie de cette énergie thermique peut ensuite être utilisée pour le séchage de la biomasse massique lors d'une étape de séchage préalable à la pyrolyse et/ou le séchage de la biomasse liquide et sa transformation en biomasse pulvérulente.

Enfin, le procédé selon l'invention peut comprendre une étape de séparation d'au moins un composant gazeux dans le flux gazeux de gazéification chargé.

D'autres avantages et caractéristiques apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'un mode de réalisation nullement limitatif, et des dessins annexés sur lesquels

- la figure 1 est une représentation schématique d'un premier mode de réalisation du module selon l'invention ;

- la figure 2 est une représentation schématique d'un deuxième mode de réalisation du module selon l'invention ;
- la figure 3 est une représentation schématique d'un troisième mode de réalisation du module selon l'invention ;
- 5 - la figure 4 est une représentation schématique d'un système de traitement de la biomasse massique, pulvérulente et liquide selon l'invention ;
- la figure 5 est une représentation d'un premier mode de réalisation d'un réacteur mis en œuvre dans le système selon l'invention ;
- 10 - la figure 6 est une représentation schématique d'un deuxième mode de réalisation d'un système selon l'invention ;
- la figure 7 est une représentation schématique du système de la figure 6 selon une vue de dessus en coupe ;
- 15 - la figure 8 est une représentation schématique du principe d'entraînement de la biomasse pulvérulente par le flux gazeux de pyrolyse chargé ;
- la figure 9 est une représentation schématique d'un module de pyrolyse/gazéification très rapide de la biomasse pulvérulente fluidisée par le gaz de pyrolyse chargé et entraîné par
- 20 dépression par le flux gazeux de pyrolyse chargé ; et
- la figure 10 est une représentation schématique d'un module de séchage de la biomasse liquide pour obtenir de la biomasse pulvérulente.

25 Les figures 1 à 3 sont trois représentations schématiques de trois modes de réalisation d'un module 10 de traitement de biomasse massique. Les modules 10 représentés sur les figures 1 à 3 comprennent un lit L fixe sensiblement horizontal recevant la biomasse B à traiter par une ouverture d'admission 11. Les résidus après traitement de la biomasse B sont évacués

30 hors du module 10 par une ouverture d'évacuation 12. Chaque module 10 comprend un moyen d'injection 13 du flux gazeux de traitement dans le ciel du module 10. Le module 10 présente plusieurs zones de traitement 14 de la biomasse B qui présente une épaisseur décroissante de l'ouverture d'admission 11 vers l'ouverture d'évacuation 12. Chacune des zones de

traitement 13 présente une ouverture 15 d'extraction du flux gazeux de traitement chargé qui débouche sur une canalisation unique commune à toutes les ouvertures d'extraction 15 de toutes les zones de traitement 13.

Les moyens d'injection 13 du flux gazeux de traitement sont
5 communs à toutes les zones de traitement 14 permettant ainsi de s'affranchir de différences de composition du flux gazeux de traitement chargé extrait au niveau de chacune des zones de traitement 14 et de la complexité de contrôle des différentes opérations pouvant avoir lieu dans le module. Les différentes parties du flux gazeux de traitement extraites au
10 niveau de chacune des zones de traitement 14 sont ensuite réunies et recyclées ensemble pour, par exemple, être réinjecté dans le ciel du module de traitement 10 par les moyens d'injection communs 13 à toutes les zones de traitement 14.

Selon le premier mode de réalisation, représenté en figure 1, chaque
15 zone de traitement 14 comprend une ouverture d'extraction 15. La taille de chacune des ouvertures d'extraction 15 de chacune des zones de traitement 14 est sensiblement constante. Le module 10 comprend des moyens d'aspiration 17 du flux gazeux de traitement chargé communs à toutes les zones de traitement 14. Au niveau de chaque ouverture d'extraction 15 est
20 disposée une vanne 16 dont l'ouverture est proportionnelle à l'épaisseur de la biomasse présente au niveau de la zone de traitement 14 correspondante, de façon que la perte de charge est constante pour toutes les ouvertures d'évacuation 15 du module 10. Ainsi, l'ouverture des vannes 16 décroît de l'ouverture d'admission 11 jusqu'à l'ouverture d'évacuation 12
25 proportionnellement à l'épaisseur de la biomasse présente sur le lit L.

Selon un deuxième mode de réalisation, représenté en figure 2, le module comprend des moyens d'aspiration 17 du flux gazeux de traitement chargé communs à toutes les zones de traitement 14. Cependant, dans ce
30 deuxième mode de réalisation, la taille de chacune des ouvertures d'extraction 15 est proportionnelle à l'épaisseur de la biomasse présente au niveau de la zone de traitement 14 correspondante de manière que la perte de charge d'extraction est sensiblement constante pour toutes les zones de traitement 14. Par exemple au niveau de la zone de traitement 14 se trouvant à proximité de l'ouverture d'admission 11, la taille de l'ouverture

d'extraction 15 est grande car l'épaisseur de la biomasse au niveau de cette zone est grande alors que au niveau de la zone de traitement 14 se trouvant à proximité de l'ouverture d'évacuation 12, la taille de l'ouverture d'extraction 15 est petite car l'épaisseur de la biomasse au niveau de cette zone est faible. Ainsi la taille des ouvertures d'extraction 15 décroît de l'ouverture d'admission 11 vers l'ouverture d'évacuation 12 car l'épaisseur de la biomasse décroît de l'ouverture d'admission vers l'ouverture d'évacuation.

Selon le troisième mode de réalisation, représenté en figure 3, le module 10 comprend des ouvertures d'extraction 15 dont la taille est sensiblement constante pour toutes les zones de traitement 14. Chaque ouverture 15 de chaque zone de traitement 14 comprend un moyen d'aspiration 18 dont l'aspiration est réglée proportionnellement à l'épaisseur de la biomasse présente sur le lit L au niveau de cette zone de traitement 14, de manière que la perte de charge d'extraction est sensiblement constante pour toutes les zones de traitement 14 du module de traitement 10.

Quel que soit le mode de réalisation, le module 10 comprend en outre des moyens 19 pour faire avancer la biomasse de l'ouverture d'admission 11 vers l'ouverture d'évacuation 12. Ces moyens 19 ont un mouvement de va et vient symbolisé par la double flèche à une fréquence prédéterminée et réglable permettant de pousser la biomasse vers l'ouverture d'évacuation.

Le flux gazeux de traitement est injecté dans la ciel du module 10 du côté de l'ouverture d'évacuation 12 vers le côté de l'ouverture d'admission 11.

Un module de traitement de la biomasse selon l'invention, sur lit horizontal fixe, présente les avantages suivants :

- traitement uniforme de la biomasse quelle que soit la hauteur de la biomasse présente sur le lit fixe dans les différentes zones,
- traitement de la biomasse par un flux gazeux sensiblement de même composition quelle que soit la zone de traitement.

Nous allons maintenant décrire un système selon l'invention mettant en oeuvre deux modules de traitement selon l'invention dans le cas particulier d'une pyrolyse et d'une gazéification de la biomasse.

Pour pouvoir apprécier les avantages de l'invention dans le cas particulier de la gazéification de la biomasse, il est indispensable de bien comprendre les réactions exothermiques et endothermiques qui interviennent simultanément et/ou successivement dans la gazéification
5 quand la température du bois augmente progressivement, le bois étant considéré comme exemple non limitatif de la biomasse.

Il est légitime d'opposer les procédés de combustion qui consistent à transformer de la biomasse en chaleur avec formation de gaz oxydés non combustibles, et les procédés de gazéification qui consistent à transformer
10 l'énergie comprise dans un solide ou un liquide en un gaz combustible et donc non entièrement oxydé.

La gazéification est un procédé complexe qui suppose une oxydation incomplète de la biomasse et donc l'apport d'une quantité insuffisante d'oxygène par rapport à la quantité stoechiométrique nécessaire pour
15 transformer tout le carbone disponible dans la biomasse en dioxyde de carbone (CO₂), et l'hydrogène en eau (H₂O).

La gazéification est un procédé thermochimique de conversion d'un combustible solide ou liquide en un combustible gazeux. Il s'agit dès lors d'une combustion incomplète car elle doit aboutir à des gaz combustibles.

20 Elle a lieu en quatre étapes.

a) Séchage

Il s'agit d'évaporer l'humidité. Celle-ci diminue en effet le pouvoir calorifique du bois.

b) Pyrolyse

25 C'est la première des étapes qui a lieu à l'intérieur du réacteur. C'est, aussi généralement l'étape limitante en temps de nombreux procédés de gazéification.

Au cours de la pyrolyse, le bois se décompose par la chaleur et donne un "coke végétal" qu'on peut appeler charbon de bois ou « charbon ». Il est
30 très riche en carbone et contient également de l'hydrogène. Il est exempt d'oxygène, qui s'est échappé sous forme de CO, de H₂O (eau) et de CO₂.

En même temps que se forme ce "char", apparaissent de l'eau, sous forme de vapeur d'eau, ainsi que plusieurs gaz en des proportions pratiquement imprévisibles:

- CO (monoxyde de carbone); gaz inflammable (sa combustion donne du dioxyde de carbone.
 - H₂ (hydrogène); gaz inflammable (sa combustion donne de l'eau).
 - CO₂ (dioxyde de carbone); seul gaz non inflammable, car saturé en oxygène, issu de la pyrolyse ;
 - CH₄ (méthane); gaz inflammable, très présent dans le gaz naturel;
 - C_nH_m (hydrocarbures légers), gaz inflammables (butane, propane etc.) présents uniquement à l'état de traces parmi les gaz tirés du gazogène
 - C_yH_w (hydrocarbures lourds) entraînés par les gaz de pyrolyse
- Tous ces gaz sont issus du bois, dont la teneur en carbone croît constamment.

La pyrolyse est endothermique et elle consomme donc de l'énergie, du moins tant que la température est inférieure à 250°C ; au-delà de 400°C., la pyrolyse ressemble de plus en plus à une combustion et elle dégage plus de chaleur qu'elle n'en consomme ; entre 250°C et 400°C un équilibre a lieu entre les réactions endothermiques et les réactions exothermiques.

Au cours de la pyrolyse il se forme également des hydrocarbures lourds sous forme de liquides pyroligneux ou de goudrons.

20 c) Oxydation - combustion

En présence d'oxygène (air), celui-ci réagit avec le carbone à partir de 400°C et déclenche une réaction de combustion. La chaleur nécessaire à la pyrolyse vient de la combustion du carbone contenu dans la biomasse, qui est produit intermédiairement par la pyrolyse. Ceci suppose qu'au départ, lors du démarrage du gazogène, un apport d'énergie extérieure soit effectué qui ne sera plus nécessaire, une fois les réactions complexes de gazéification initiées. L'étape d'oxydation peut également servir à la destruction par « craquage » des molécules complexes qui forment les goudrons.

L'oxydation de carbone en CO₂ dégage une forte quantité d'énergie ; l'oxydation incomplète de carbone en CO dégage également de l'énergie, mais en quantité moindre.

d) Réduction

En chimie, on appelle réduction toute réaction qui mène vers des composés plus pauvres en oxygène. C'est la dernière étape du processus

complexe de gazéification qui aboutit à la formation de gaz combustibles. Cette opération est endothermique.

Pour résumer, la gazéification, d'un point de vue purement scientifique, se décrit, dans sa phase ultime comme une réaction
5 hétérogène, c'est-à-dire une réaction de surface entre le carbone (C) contenu dans le solide et un gaz réactant qui peut être de la vapeur d'eau (H₂O) ou du dioxyde de carbone (CO₂) conformément aux réactions (1) et (2) ci-dessous.



Ces deux réactions se produisent au niveau de la surface réactive de la particule, surface qui varie entre la surface extérieure de la particule et la surface totale des pores de la particule en fonction des propriétés de diffusion au coeur du solide et des cinétiques chimiques. Elles sont lentes,
15 comparées à l'oxydation totale ou partielle par l'oxygène lors de la combustion : réaction (3) et (4) qui apportent l'énergie nécessaire.



Le taux de conversion du carbone solide en gaz et la composition de
20 ces derniers sont déterminés par :

- a. Les constantes d'équilibres des diverses réactions mises en oeuvre
- b. Les vitesses de ces réactions.
- c. La composition du mélange de comburant

25 Sur le plan industriel l'objectif du procédé de gazéification mis en oeuvre dans le système selon l'invention est de favoriser les réactions (1) et (2) qui vont produire un mélange de gaz combustibles, mais pour ce faire, il faut au préalable ou simultanément générer les éléments nécessaires à ces deux réactions, à savoir : le carbone très réactif, les réactants (CO₂ et H₂O)
30 ainsi qu'une quantité importante d'énergie produite par oxydation d'une fraction de carbone compris dans la biomasse à gazéifier.

Ces trois composantes (énergie, CO₂, H₂O) du procédé de gazéification qui, globalement correspond à une combustion incomplète, sont produites par :

- 5 • les réactions de pyrolyse qui permettent la production très rapidement de composés hydrocarbonés gazeux, dès l'échauffement du combustible dans le réacteur, même en l'absence d'oxygène,
- les réactions d'oxydation, homogène (phase gaz) et hétérogène (phase solide) plus ou moins complètes et qui interviennent en présence d'oxygène comme c'est classiquement le cas en combustion.

10 La figure 4 est une représentation schématique d'un système 20 de traitement de biomasse massique, pulvérulente et/ou liquide. Le système 20 comprend un module 21/22 de séchage de la biomasse massique par un flux gazeux de séchage GS. Un module 25 de transformation de la biomasse liquide BL en biomasse pulvérulente BP. La biomasse massique
15 séchée, ou en cours de séchage, est amenée par des moyens d'alimentation 22 dans le réacteur 23 où elle est pyrolysée et gazéifiée. Ce réacteur sera détaillé plus bas.

 Le flux gazeux de pyrolyse chargé GPC est ensuite épuré par des moyens d'épuration 24 pour éliminer les résidus présents dans ce gaz. Après
20 épuration, le flux gazeux de pyrolyse chargé est injecté dans le ciel du réacteur 23 pour y être oxydé de manière ménagée en présence d'un comburant C qui peut notamment être de l'air, et générer les flux gazeux de pyrolyse et de gazéification de la biomasse B. La biomasse pulvérulente, contenue dans un réservoir 26, est entraînée par effet venturi créé par le
25 flux gazeux de pyrolyse chargé GPC circulant dans le circuit d'amené. Ainsi, la biomasse pulvérulente, entraînée par le flux gazeux de pyrolyse chargé GPC est injectée en même temps que le flux gazeux de pyrolyse chargé GPC dans le ciel du réacteur 23, où a lieu la gazéification de la biomasse pulvérulente. La biomasse massique présente sur le lit fixe horizontal peut
30 ainsi réagir avec la biomasse pulvérulente pyrolysée et permettre ainsi d'épurer les composants gazeux qui apparaissent lors de la pyrolyse et la gazéification de la biomasse pulvérulente.

Ainsi le réacteur permet de réaliser la gazéification combinée de la biomasse massique présente dans le réacteur et de la biomasse pulvérulente entraînée par le flux gazeux de pyrolyse chargé GPC.

5 La biomasse liquide BL est d'abord transformée en biomasse pulvérulente BP dans le module 25 par dispersion de la biomasse liquide BL sous forme de fines gouttelettes traitées par un flux gazeux chaud permettant l'évaporation rapide du liquide.

10 Le flux gazeux de gazéification chargé GGC extrait du module de gazéification est épuré par des moyens d'épuration 27 pour éliminer les résidus, puis entre dans un échangeur thermique 28 pour échanger au moins une partie de son énergie thermique avec un flux gazeux de séchage GS, servant au séchage de la biomasse massique dans le module de séchage 21/22 et ainsi qu'à la transformation de biomasse liquide BL en biomasse pulvérulente BP dans le module 25. Le flux gazeux de séchage GS
15 peut par exemple être de l'air ou tout autre flux gazeux généralement utilisé pour le séchage de la biomasse. Le flux gazeux de gazéification chargé GGC ayant échangé une partie de son énergie thermique avec le flux gazeux de séchage GS entre ensuite dans un module de séparation 29 réalisant la séparation des gaz de synthèse GS1, GS2, GS3 présents dans le flux gazeux
20 de gazéification chargé. Les gaz de synthèse GS1, GS2, GS3 sont par exemple respectivement de l'hydrogène du CO, et du CO2.

Les moyens d'épuration 24 et 27 sont des moyens d'épuration de type cyclone, manches ou autres.

25 Pour amorcer la pyrolyse de la biomasse, il est nécessaire d'apporter de l'énergie sous forme de gaz combustible G. Le ciel du réacteur 23 doit comporter une canalisation connectée à une source extérieure de gaz. Le gaz combustible G sera brûlé dans le ciel du réacteur et l'air contenu dans le réacteur s'échauffera progressivement et passera transversalement à travers la biomasse à traiter grâce aux ouvertures d'extraction situées dans
30 la partie basse des modules 231 et 232. Au fur et à mesure, la réaction de pyrolyse se développera, entretenue par la combustion du gaz apporté, jusqu'à ce que la biomasse ait atteint une température suffisante pour que la pyrolyse s'auto entretienne. Il est alors possible de fermer la canalisation

apportant le gaz extérieur G et entretenir la pyrolyse et la gazéification uniquement par l'énergie produite par l'oxydation des gaz de pyrolyse.

La zone d'oxydation doit donc comprendre au moins un brûleur pour brûler le gaz d'amorçage de la pyrolyse avec apport de comburant
5 (notamment air ou oxygène ou air enrichi d'oxygène) et un deuxième brûleur pour brûler les gaz de pyrolyse, à moins d'utiliser un seul brûleur capable de brûler le gaz d'apport et les gaz de pyrolyse présents dans le flux gazeux de pyrolyse chargé, en fermant la canalisation d'apport de gaz quand
10 l'apport de gaz de pyrolyse est suffisant pour entretenir la réaction et en l'ouvrant de manière automatique au cas où la flamme de combustion des gaz de pyrolyse s'éteignait pour quelque raisons, ou en prévoyant une veilleuse à cet effet alimentée par un gaz d'apport.

Pour éviter un refroidissement du circuit de gaz de pyrolyse, il est possible de faire passer le comburant dans le ciel du réacteur pour le
15 réchauffer, juste avant d'être injecté dans le brûleur.

La figure 5 présente un premier mode de réalisation d'un réacteur 23 mis en œuvre dans le système selon l'invention.

Dans le mode de réalisation représenté en figure 5, le réacteur 23 comprend deux modules 231 et 232, selon l'invention, qui sont agencés l'un
20 derrière l'autre. Les deux modules 231 et 232 communiquent entre eux de manière que la biomasse B dans le réacteur passe du module 231 au module 232. Il n'y a pas de paroi entre les modules 231 et 232.

Le module 231 est le module de pyrolyse et réalise la pyrolyse de la biomasse introduite dans le réacteur par une ouverture d'admission 233.
25 Cette ouverture d'admission 233 est aussi l'ouverture d'admission de la biomasse B dans le module de pyrolyse 231. Le module de pyrolyse 231 présente plusieurs zones de traitement, chacune des zones de traitement comprenant une ouverture d'extraction des gaz de pyrolyse (ou du flux gazeux de pyrolyse chargé). La taille de ces ouvertures d'extraction est
30 proportionnelle à l'épaisseur de biomasse présente dans les zones de traitement correspondantes. Le module de pyrolyse 231 comprend un aspirateur commun à toutes les ouvertures d'extraction et permettant d'extraire le flux gazeux de pyrolyse chargé GPC.

Le module 232 est le module de gazéification et réalise la gazéification de la biomasse provenant du module de pyrolyse 231. Les résidus de gazéification sont évacués hors du module de gazéification par une ouverture d'évacuation 235. Ces résidus sont accueillis dans un réceptacle 236 qui évacue les résidus hors du réacteur. Le module de gazéification 232 présente plusieurs zones de traitement, chacune des zones de traitement comprenant une ouverture d'extraction des gaz de gazéification (ou du flux gazeux de gazéification chargé). La taille de ces ouvertures d'extraction est proportionnelle à l'épaisseur de biomasse présente dans les zones de traitement correspondantes. Le module de gazéification 232 comprend un aspirateur commun à toutes les ouvertures d'extraction et permettant d'extraire le flux gazeux de gazéification chargé GGC.

Dans le premier mode de réalisation les moyens 234 permettant de faire avancer la biomasse sont communs aux modules de pyrolyse 231 et aux modules de gazéification 232, ainsi que le lit fixe L.

La figure 6 est une représentation d'un deuxième mode de réalisation du réacteur 23 mis en œuvre dans le système selon l'invention. Dans le mode de réalisation représenté en figure 6, le réacteur 23 comprend deux modules 231 et 232, selon l'invention, qui sont agencés l'un au dessus de l'autre. Les deux modules 231 et 232 communiquent entre eux par deux ouvertures : l'ouverture de passage 237 permettant le passage de la biomasse pyrolysée de module de pyrolyse 231 au module de gazéification 232, et l'ouverture de passage 238 permettant au flux gazeux de traitement de passer du module de pyrolyse 231 dans le module de gazéification 232.

Dans le mode de réalisation représenté en figure 6, la biomasse est pyrolysée dans le module 231 sur le lit L1. Elle est poussée le long du lit L1 par des moyens 2341. En bout du lit L1, la biomasse passe par gravitation dans le module 232 de gazéification au travers de l'ouverture de passage 237. La biomasse est ensuite gazéifiée dans le module 232 de gazéification. Le flux gazeux de traitement injecté dans le ciel du module 231 de pyrolyse passe dans le module 232 de gazéification par au moins une ouverture de passage 238. La biomasse est poussée tout le long du lit L2, dans le module 232 de gazéification, par des moyens 2342. Les résidus tombent par gravité dans le réceptacle 236 et sont évacués.

La figure 7 donne une représentation schématique selon une vue de dessus du système représenté en figure 6, en coupe selon l'axe AA. Tel qu'on le constate, les ouvertures de passage 238 reliant les ciels du module de pyrolyse et le ciel du module de gazéification n'empêchent nullement le passage longitudinal de la biomasse sur le lit fixe L1 du module de pyrolyse 231 avant de tomber par gravité sur le lit fixe L2 du module de gazéification 232 au travers de l'ouverture de passage 237.

Quel que soit le mode de réalisation, les moyens pour faire avancer la biomasse le long du ou des lits fixe(s) sont des moyens du type poussoir animé d'un mouvement de va et vient. D'autres systèmes permettant l'avancement de la biomasse peuvent être substitués au poussoir animé d'un va et vient, par exemple, à titre non limitatif, des racleurs ou encore des bandes transporteuses. de plus, l'avancement des résidus, tels que les cendres, récupérées dans le réceptacle 236 est réalisé par une vis sans fin ou par tout dispositif équivalent.

Pour des raisons de sécurité, il est nécessaire que le réacteur fonctionne constamment en dépression. Pour ce faire, la vitesse relative d'aspiration de l'aspirateur de chacun des modules de pyrolyse et de gazéification est réglée en fonction du volume de gaz correspondant au volume de gaz injecté (comburant) + le volume de gaz généré par la biomasse.

Des dispositifs, non représentés, de mesure de la température et de pilotage en fonction des températures relevées seront disposés en différentes zones de l'ensemble réacteur et alimentation de la biomasse. A titre d'exemple non limitatif des dispositifs de mesure des températures seront placés dans le ciel du réacteur, tout au long de la grille L1 de pyrolyse et de la grille L2 de gazéification. Ces mesures peuvent servir à piloter notamment et de manière non limitative, la vitesse de circulation du flux gazeux de traitement, la quantité de comburant injecté par unité de temps, la vitesse de déplacement de la biomasse dans le module de pyrolyse, la vitesse d'injection de la biomasse pulvérulente, la vitesse d'avancement de la biomasse dans le module de gazéification, l'objectif étant de piloter ces différents paramètres en vue d'obtenir la puissance maximale du réacteur.

En dehors du réacteur, des dispositifs de mesure de la température de la biomasse dans le dispositif d'alimentation et de séchage permettront de régler la vitesse de circulation de l'air véhiculant l'énergie thermique récupérée de manière notamment à maintenir la température de la biomasse au dessous de 250°C pour éviter d'enclencher une opération de pyrolyse.

Des dispositifs de prélèvement et d'analyse chimique seront, à titre d'exemples non limitatifs, situés au niveau du circuit du flux gazeux de pyrolyse chargé et du flux gazeux de gazéification comprenant les gaz de synthèse et serviront à piloter les autres paramètres décrits.

Le mode de réalisation représenté en figure 6 est le mode préféré. Dans ce mode préféré sont représentés les trois étage de circulation de la biomasse correspondant respectivement à la pyrolyse, à la gazéification et à l'extraction des cendres, chaque étage occupant toute la longueur du réacteur et changeant de direction à chaque étage ; c'est la variante qui devrait conduire à la puissance maximale à encombrement et coût relativement constant.

Le système selon l'invention permet un gain significatif de puissance, à coût et encombrement relativement constant. Le recyclage des gaz de pyrolyse dans un ciel unique élimine l'inconvénient majeur du système décrit dans le document FR 2 487 847. Enfin, l'utilisation du circuit de réinjection des gaz de pyrolyse dans le ciel du réacteur pour permettre une pyrolyse rapide de la biomasse pulvérulente en même temps que la pyrolyse de la biomasse massique circulant horizontalement, permet d'augmenter encore la puissance du réacteur à coût et encombrement pratiquement constant.

Il en va de même de la possibilité de transformer de la biomasse liquide en biomasse pulvérulente qui est alors transformée en même temps que la biomasse massique.

La figure 8 est une représentation du premier principe d'entraînement de la biomasse pulvérulente BP par le flux gazeux de pyrolyse chargé GPC. Le réservoir 26 de biomasse pulvérulente BP présente une ouverture d'alimentation 261 en biomasse pulvérulente BP et une ouverture 262 connectée au circuit de flux gazeux de pyrolyse chargé GPC dans lequel le flux gazeux de pyrolyse chargé GPC circule à vitesse importante. Ce circuit

présente un étranglement 264 se trouvant en amont et à proximité de l'ouverture 262 du réservoir 26 de biomasse pulvérulente BP. Le passage du flux gazeux de pyrolyse chargé GPC par cet étranglement crée un effet venturi entraînant la biomasse pulvérulente BP dans le circuit de flux gazeux de pyrolyse chargé et permettant ainsi d'extraire la biomasse pulvérulente BP du réservoir 26. Dans le cas où l'effet venturi n'est pas suffisant pour entraîner la biomasse pulvérulente, le réservoir 26 peut comprendre des moyens mécaniques 263 permettant de mettre en suspension et de maintenir en suspension la biomasse pulvérulente BP dans le réservoir 26.

10 Dans ce mode de réalisation la pyrolyse et la gazéification de la biomasse pulvérulente se fait dans le ciel du réacteur 23.

La figure 9 est un deuxième principe d'entraînement de la biomasse pulvérulente BP par le flux gazeux de pyrolyse chargé GPC. Le réservoir 26 de biomasse pulvérulente BP présente une ouverture d'alimentation 261 en biomasse pulvérulente BP et une ouverture 262 connectée au circuit de flux gazeux de pyrolyse chargé GPC dans lequel le flux gazeux de pyrolyse chargé GPC circule à vitesse importante. Ce circuit présente un étranglement 264 se trouvant en amont et à proximité de l'ouverture 262 du réservoir 26 de biomasse pulvérulente BP. Le passage du flux gazeux de pyrolyse chargé GPC par cet étranglement crée un effet venturi entraînant la biomasse pulvérulente BP dans le circuit de flux gazeux de pyrolyse chargé.

20 Le réservoir 26 présente en outre une ouverture 265. Dans ce mode de réalisation, cette ouverture 265 est reliée au circuit de flux gazeux de pyrolyse chargé GPC et une partie du flux gazeux de pyrolyse chargé GPC passe par cette ouverture et entre dans le réservoir 26. La vitesse du flux gazeux de pyrolyse chargé GPC contribue à la création et au maintien d'un lit fluidisé de biomasse pulvérulente. De plus, le flux gazeux de pyrolyse chargé GPC entrant dans le réservoir étant chaud, la pyrolyse et la gazéification de la biomasse se fait au moins en partie dans le réservoir 26.

30 Les résidus de la pyrolyse/gazéification de la biomasse pulvérulente BP sont entraînés et injectés dans le ciel du réacteur 23 par le flux gazeux de pyrolyse chargé GPC.

La figure 10 est une représentation schématique du module de séchage de la biomasse liquide BL pour obtenir de la biomasse pulvérulente

BP. Dans cet exemple, la biomasse liquide BL se trouve dans un réservoir 250. La biomasse liquide BL se trouvant dans le bas de ce réservoir est pulvérisée dans le haut du réservoir 250, par toute méthode d'atomisation d'un liquide, sous formes de fines gouttelettes par une ouverture 251. Le
5 réservoir 250 comprend en outre une ouverture 252 d'arrivée d'un flux gazeux chaud de séchage GS qui est projeté vers les fines gouttelettes de biomasse liquide BL. La rencontre des fines gouttelettes de biomasse liquide BL et du flux gazeux de séchage GS réalise l'évaporation quasi instantanée du liquide, en libérant une biomasse pulvérulente BP et de la vapeur d'eau
10 H₂O. Le mélange biomasse pulvérulente BP et vapeur d'eau H₂O est alors envoyé par une ouverture 254 vers un cyclone 255 réalisant la séparation de la biomasse pulvérulente BP et de la vapeur d'eau H₂O. La transformation de la biomasse liquide en biomasse pulvérulente peut comprendre plusieurs modules similaires au réservoir 250, en parallèle et le parachèvement du
15 séchage de la biomasse pulvérulente peut être obtenu par plusieurs modules similaires au cyclone 255 opérant en série permettant tout à la fois de sécher la biomasse pulvérulente et de la séparer de la vapeur d'eau ainsi générée.

L'augmentation significative de puissance du système selon
20 l'invention, par rapport à l'état de l'art antérieur, à coût et encombrement relativement constant, est obtenue par la mise en œuvre :

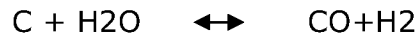
- d'un module de séchage extérieure au réacteur par récupération de calories disponibles dans les gaz de gazéification,
- des moyens d'extraction des gaz de pyrolyse et de gazéification chargé compensant la variation de perte de charge en fonction de la
25 hauteur de la biomasse,
- des moyens d'injection de biomasse pulvérulente dans le ciel du réacteur en utilisant le circuit de circulation du flux gazeux de pyrolyse chargé,
- 30 • d'un traitement de la biomasse massique à étages, la biomasse changeant de sens
- d'un traitement de séchage de la biomasse liquide permettant de la transformer en biomasse pulvérulente par récupération de calories disponibles dans les gaz de gazéification

Les avantages du système selon l'invention ainsi que du procédé mis en œuvre dans le système selon l'invention, apparaissent aussi en analysant les différents paramètres sur lesquels il est possible d'agir pour optimiser les réactions et augmenter la puissance du gazogène, à encombrement et coût
5 sensiblement constant par rapport aux réacteurs conformes à l'état de l'art antérieur.

Faisant référence aux différentes modalités préférées de l'invention, on constate que :

- 10 a) En récupérant les calories du gaz de gazéification et en s'en servant pour sécher la biomasse en dehors du réacteur unique de pyrolyse/gazéification,
- on augmente d'autant la zone de pyrolyse, par la réduction de la zone de séchage au sein du réacteur, ce qui permet d'accélérer la vitesse de passage de la biomasse,
 - 15 • on réduit la quantité de vapeur d'eau qui est toujours en excès dans la biomasse, dont l'évaporation est endothermique, ce qui évite de devoir compenser la perte d'énergie par une plus grande consommation du carbone contenu dans la biomasse et permet d'augmenter le pci du gaz de synthèse,
 - 20 • en réduisant la quantité de vapeur d'eau dans le gaz de gazéification chargé, on augmente automatiquement le pci par volume de gaz, la vapeur d'eau n'étant pas combustible.
- b) En mettant en œuvre un dispositif compensateur de la variation de perte de charge en fonction de la hauteur de biomasse on augmente
25 la zone réactive de la biomasse,
- c) En remplaçant la grille (le lit fixe) unique de séchage, pyrolyse et gazéification dont la longueur totale correspond à la longueur du réacteur par deux grilles (lits) superposées, tel que représenté en figure 6, couvrant chacune la longueur totale du réacteur il est
30 pratiquement possible de doubler la vitesse d'alimentation de la biomasse, avec un excédent de coût faible par rapport à une grille unique.
- d) En disposant d'une grille séparée pour la gazéification, sous la grille de pyrolyse, cela permet de réduire la largeur de la grille de

gazéification pour augmenter la hauteur de la matière réductrice et augmenter les réactions



- 5 e) En disposant de deux systèmes d'avancement de la biomasse dans le module de pyrolyse d'une part et dans le module de gazéification d'autre part, il est possible d'ajuster les vitesses relatives pour optimiser les réactions
- 10 f) En disposant d'un emplacement unique dans le ciel du réacteur pour l'apport du comburant, pour l'injection des gaz de pyrolyse et pour l'injection de la biomasse pulvérulente, entraînée dans le réacteur par un effet venturi, on délimite la zone d'oxydation dans une zone unique, qui permet d'obtenir une température moyenne optimale d'oxydation ménagée et d'obtenir simultanément l'apport d'énergie
- 15 complémentaire par la biomasse pulvérulente, permettant une accélération de la vitesse de circulation du gaz de pyrolyse et en conséquence une accélération de la pyrolyse.
- 20 g) En ajoutant un dispositif permettant de traiter la biomasse pulvérulente on augmente d'autant la puissance produite par la seule biomasse massique sans modification significative de l'encombrement et du coût du réacteur.
- 25 h) En traitant dans un même réacteur une biomasse pulvérulente et une biomasse massique cela permet d'utiliser la biomasse massique pour épurer les gaz de pyrolyse de la biomasse pulvérulente, que l'on retrouverait après gazéification de la biomasse pulvérulente si l'on opérait avec un réacteur dédié à la seule biomasse pulvérulente fonctionnant alors en lit fluidisé.
- 30 i) En transformant la biomasse liquide, en biomasse pulvérulente, et en la gazéifiant en même temps que la biomasse massique par récupération des calories du gaz de gazéification disponible pour évaporer le liquide préalablement atomisé en fines gouttelettes, on augmente encore la puissance du réacteur et on élargit la nature des biomasses gazéifiables.

En outre, le système objet de l'invention permet de moduler la puissance du réacteur en réduisant la puissance par rapport à la puissance maximale possible pour un encombrement et un coût donné, ce qui pourrait être utile si le besoin en énergie diminuait périodiquement par exemple en week-end.

Les éléments disponibles pour réduire la puissance de l'installation sont de manière non limitative :

- l'arrêt de la gazéification de la biomasse pulvérulente, pour ne conserver que la biomasse massique,
- la réduction du moyen d'aspiration avec simultanément la réduction de l'alimentation en biomasse et la réduction de l'apport de comburant.

Bien entendu l'invention n'est pas limitée aux exemples et modes de réalisation que nous venons de décrire.

REVENDEICATIONS

1) Module de traitement de biomasse (B) par un flux gazeux de
5 traitement sur un lit fixe (L) sensiblement horizontal, ledit module
présentant une ouverture d'admission (11) de la biomasse (B) à traiter sur
ledit lit fixe (L) et une ouverture d'évacuation (12) de la biomasse (B)
après traitement, caractérisé en ce que ledit module de traitement
10 comprend plusieurs zones (14), dites de traitement, ledit module
comprenant en outre :

- au moins un moyen d'injection (13) d'un flux gazeux de
traitement dans ledit module, ledit moyen d'injection (13) étant
commun audites zones de traitement (14), et
- des moyens d'extraction (15, 16, 17) du flux gazeux de
15 traitement chargé obtenu après traitement,
lesdits moyens d'extraction réalisant, au niveau de chacune desdites zones
de traitement (14), une régulation de l'extraction dudit flux chargé en
fonction de l'épaisseur de biomasse au niveau de ladite zone, de sorte que
ladite extraction est réalisée avec une perte de charge sensiblement
20 constante pour l'ensemble desdites zones de traitement (14).

2) Module selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens
d'extraction (15, 16, 17) du flux gazeux de traitement chargé d'une zone
de traitement (14) comprennent :

- 25 -au moins une ouverture d'extraction (15) aménagée sous le lit
fixe horizontal (L), et
- au moins un moyen d'aspiration (17) dudit flux gazeux de
traitement chargé au travers de ladite ouverture (15).

30 3) Module selon la revendication 2, caractérisé en ce que les moyens
d'aspiration (17) du flux gazeux de traitement chargé sont communs aux
zones de traitement (14) et la taille de chacune des ouvertures
d'extraction (15) de chacune des zones de traitement (14) est
sensiblement proportionnelle à l'épaisseur de la biomasse (B) présente au

niveau de ladite zone de traitement (14) de manière que la perte de charge d'extraction est sensiblement constante pour toutes les zones de traitement (14).

5

4) Module selon la revendication 2, caractérisé en ce que les moyens d'aspiration (17) du flux gazeux de traitement chargé sont communs à toutes les zones de traitement (14) et la taille de chacune des ouvertures d'extraction (15) de chacune des zones de traitement (14) étant sensiblement constante, et au moins un organe de régulation (16) d'aspiration étant disposé au niveau de chacune desdites ouvertures d'extraction (15) de manière que la perte de charge est sensiblement constante au niveau de toutes les zones de traitement (14).

5) Module selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'organe de régulation (16) est une vanne disposée au niveau de l'ouverture d'extraction (15) et agencée pour réguler l'aspiration de flux gazeux de traitement chargé.

6) Module selon la revendication 2, caractérisé en ce que la taille des ouvertures d'extraction (15) est sensiblement constante, chacune des ouvertures d'extraction (15) de chacune des zones de traitement (14) comprenant un moyen d'aspiration (16) ajusté de manière que la perte de charge d'extraction est sensiblement constante au niveau de toutes les zones de traitement (14).

7) Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le lit fixe (L) sensiblement horizontal est perméable au flux gazeux de traitement chargé.

30

8) Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif (19) prévu pour faire avancer la biomasse (B) sur ledit lit fixe horizontal (L) de l'ouverture d'admission (11) vers l'ouverture d'évacuation (12).

35

9) Système de traitement de biomasse sur lit fixe sensiblement horizontal, ledit système comprenant :

- 5 - une ouverture d'admission (233) de ladite biomasse (B) à traiter sur ledit lit fixe horizontal (L, L1),
- un réacteur (23) unique de traitement de la biomasse, comprenant un premier et un deuxième modules (231, 232) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, communiquant entre eux :
 - 10 ▪ ledit premier module (231), dit de pyrolyse, réalisant une pyrolyse de ladite biomasse (B) admise par ladite ouverture d'admission (233) par un flux gazeux de traitement et comprenant des premiers moyens d'extraction du flux gazeux de pyrolyse chargé,
 - 15 ▪ ledit deuxième module (232), dit de gazéification, réalisant une gazéification de ladite biomasse (B) provenant dudit premier module (231) par ledit flux gazeux de traitement et comprenant des deuxièmes moyens d'extraction du flux gazeux de gazéification chargé,
 - 20 - une ouverture d'évacuation (235) de résidus de la gazéification de la biomasse.

10) Système selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un circuit d'amené du flux gazeux de pyrolyse chargé (GPC) dans le ciel du réacteur (23), où ledit flux gazeux de pyrolyse chargé (GPC) est oxydé en présence de comburant (C) pour obtenir le flux gazeux de traitement de la biomasse.

11) Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que le circuit d'amené du flux gazeux de pyrolyse chargé (GPC) dans le ciel du réacteur (23) comprend un dispositif d'entraînement (264), par effet venturi, de biomasse pulvérulente (BP) dans le ciel du réacteur (23).

12) Système selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens permettant de maintenir la biomasse pulvérulente (BP) sous la forme d'un lit fluidisé.

13)Système selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens d'injection d'un comburant dans le ciel du réacteur (23).

5

14)Système selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un échangeur thermique (28) prévu pour récupérer, au moins en partie, l'énergie thermique du flux gazeux de gazéification chargé (GGC).

10

15)Système selon l'une quelconque des revendications 10 à 14, caractérisé en ce qu'il comprend un module de séchage (21,22) de la biomasse (B), disposé en amont du réacteur (23).

15

16)Système selon l'une quelconque des revendications 10 à 15, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de séparation (29) d'au moins un composant gazeux dans le flux gazeux de gazéification chargé (GGC).

20

17)Système selon l'une quelconque des revendications 10 à 16, caractérisé en ce qu'il comprend un module de séchage (25) de biomasse liquide (BL), ledit module de séchage (25) de la biomasse liquide (BL) comprend des moyens de d'atomisation, dans ledit module, de la biomasse liquide (BL) sous forme de fines gouttelettes traitées par un flux gazeux de séchage (GS), ledit séchage produisant de la biomasse pulvérulente (BP) pulvérisée dans le ciel du réacteur (23) pour y être pyrolysée et gazéifiée.

25

18)Système selon l'une quelconque des revendications 10 à 17, caractérisé en ce que le module de pyrolyse (231) et le module de gazéification (232) sont superposés, ledit module de pyrolyse (231) étant disposé au dessus dudit module de gazéification (232), dans ledit module de gazéification (232) la biomasse (B) ayant un sens de circulation opposé au sens de circulation de ladite biomasse (B) dans le module de pyrolyse, ledit système comprenant en outre au moins un ouverture de passage

30

35

(238) permettant au flux gazeux de traitement de passer du module de pyrolyse (231) dans le module de gazéification (232)

- 5 19) Procédé de gazéification de biomasse sur lit fixe sensiblement horizontal, par un flux gazeux de traitement, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :
- pyrolyse de la biomasse dans un module, dit de pyrolyse, par ledit flux gazeux de traitement ;
 - 10 - gazéification de la biomasse dans un module, dit de gazéification, par ledit flux gazeux de traitement,
- lesdits modules de pyrolyse et de gazéification étant en communication entre eux et disposés dans un réacteur unique, chacun desdits modules comprenant plusieurs zones (14), dites de traitement, ledit procédé
- 15 comprenant en outre
- une injection dudit flux gazeux de traitement dans le ciel desdits modules, ladite injection étant commune audites zones de traitement de chacun desdits modules,
 - au niveau de chacune desdites zones de traitement, une extraction
 - 20 du flux gazeux de pyrolyse chargé en fonction de l'épaisseur de biomasse présente au niveau de ladite zone, de sorte que ladite extraction est réalisée avec une perte de charge sensiblement constante pour l'ensemble desdites zones de traitement (14), et
 - une extraction du flux gazeux de gazéification chargé, ladite
 - 25 extraction étant réalisée avec une perte de charge sensiblement constante pour chacune desdites zones de traitement dudit module de gazéification.

- 20) Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce qu'il comprend en
- 30 outre une introduction de la biomasse sur le lit fixe horizontale et une extraction des résidus de la gazéification.

21) Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 ou 20, caractérisé en ce qu'il comprend une injection du flux gazeux de pyrolyse

chargé (GPC) dans le ciel du réacteur (23), où ledit flux gazeux de pyrolyse chargé (GPC) est oxydé en présence de comburant (C) pour obtenir le flux gazeux de traitement.

5

22) Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une injection de biomasse pulvérulente dans le ciel du réacteur, ladite biomasse pulvérulente étant entraînée par le flux gazeux de pyrolyse chargé (GPC), par effet venturi.

10

23) Procédé selon la revendication 22, caractérisé en ce qu'il comprend une gazéification de la biomasse pulvérulente dans le ciel du réacteur (23).

24) Procédé selon l'une quelconque des revendications 22 ou 23, caractérisé en ce la biomasse pulvérulente (BP) se trouve sous la forme d'un lit fluidisé.

15

25) Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 24, caractérisé en ce qu'il comprend en outre injection d'un comburant dans le ciel du réacteur (23).

20

26) Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 25, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un échange thermique pour récupérer, au moins en partie, l'énergie thermique du flux gazeux de gazéification chargé (GGC).

25

27) Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 26, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de séchage de la biomasse (B) avant l'étape de pyrolyse.

30

28) Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 27, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de séchage d'une biomasse liquide (BL) dans un module de séchage (25), ladite biomasse liquide (BL) étant atomisée dans ledit module de séchage (25) sous forme de fines gouttelettes traitées par un flux gazeux de séchage (GS), ledit séchage

35

produisant de la biomasse pulvérulente (BP) pulvérisée dans le ciel du réacteur pour y être pyrolysée et gazéifiée.

- 5 29) Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 à 28, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de séparation d'au moins un composant gazeux (GS1, GS2, GS3) présent dans le flux gazeux de gazéification chargé (GGC).

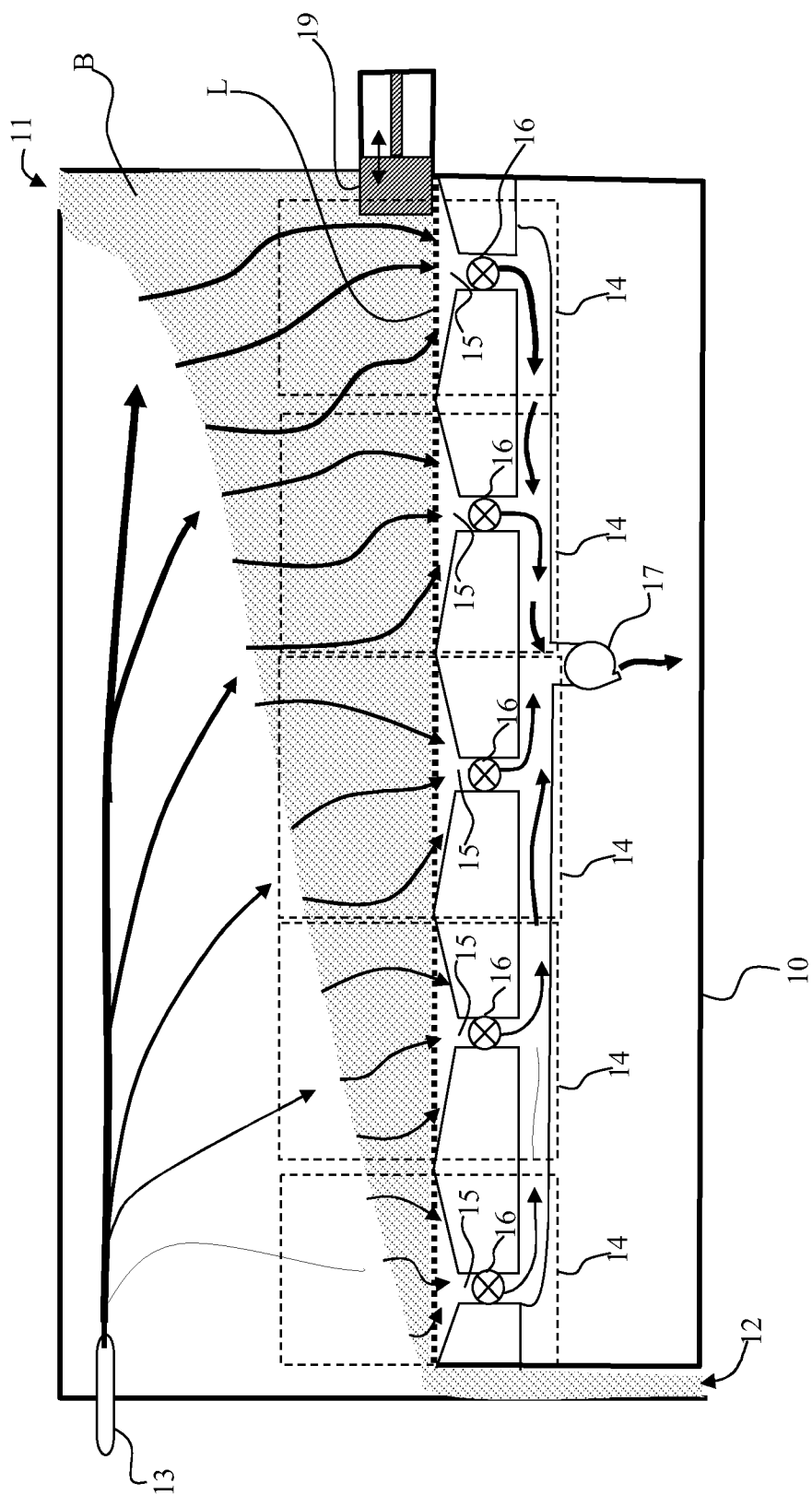


Fig. 1

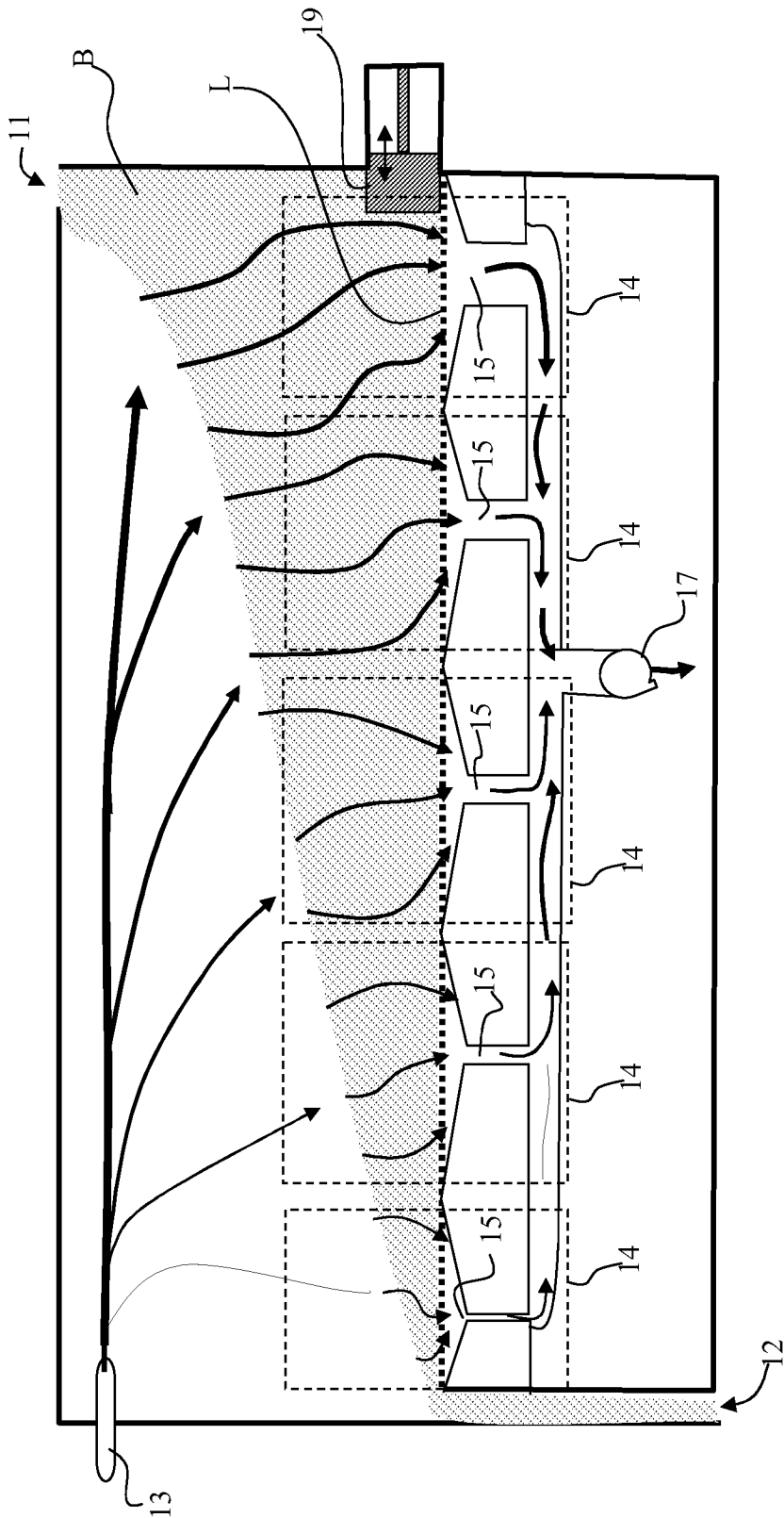


Fig. 2

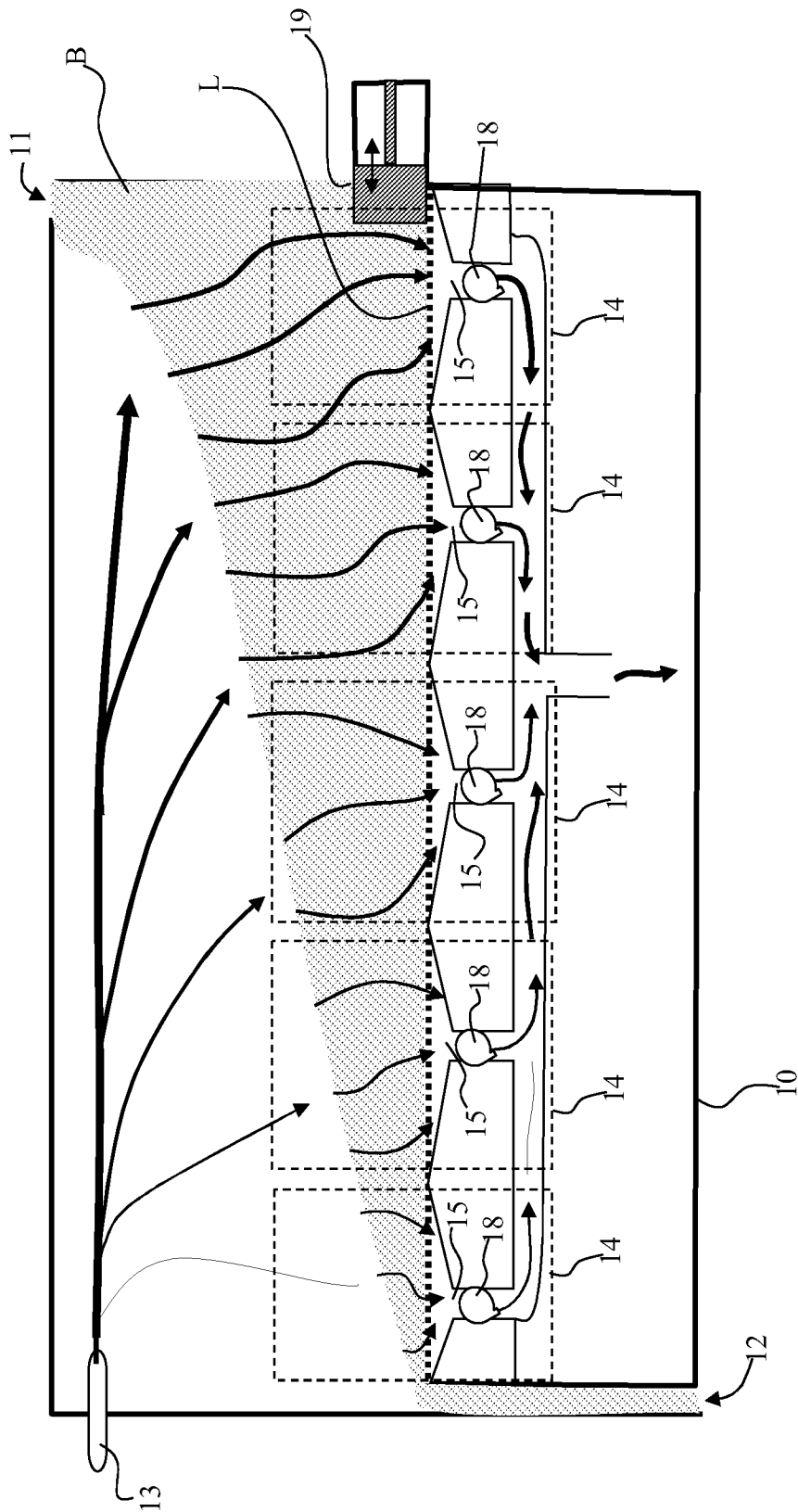


Fig. 3

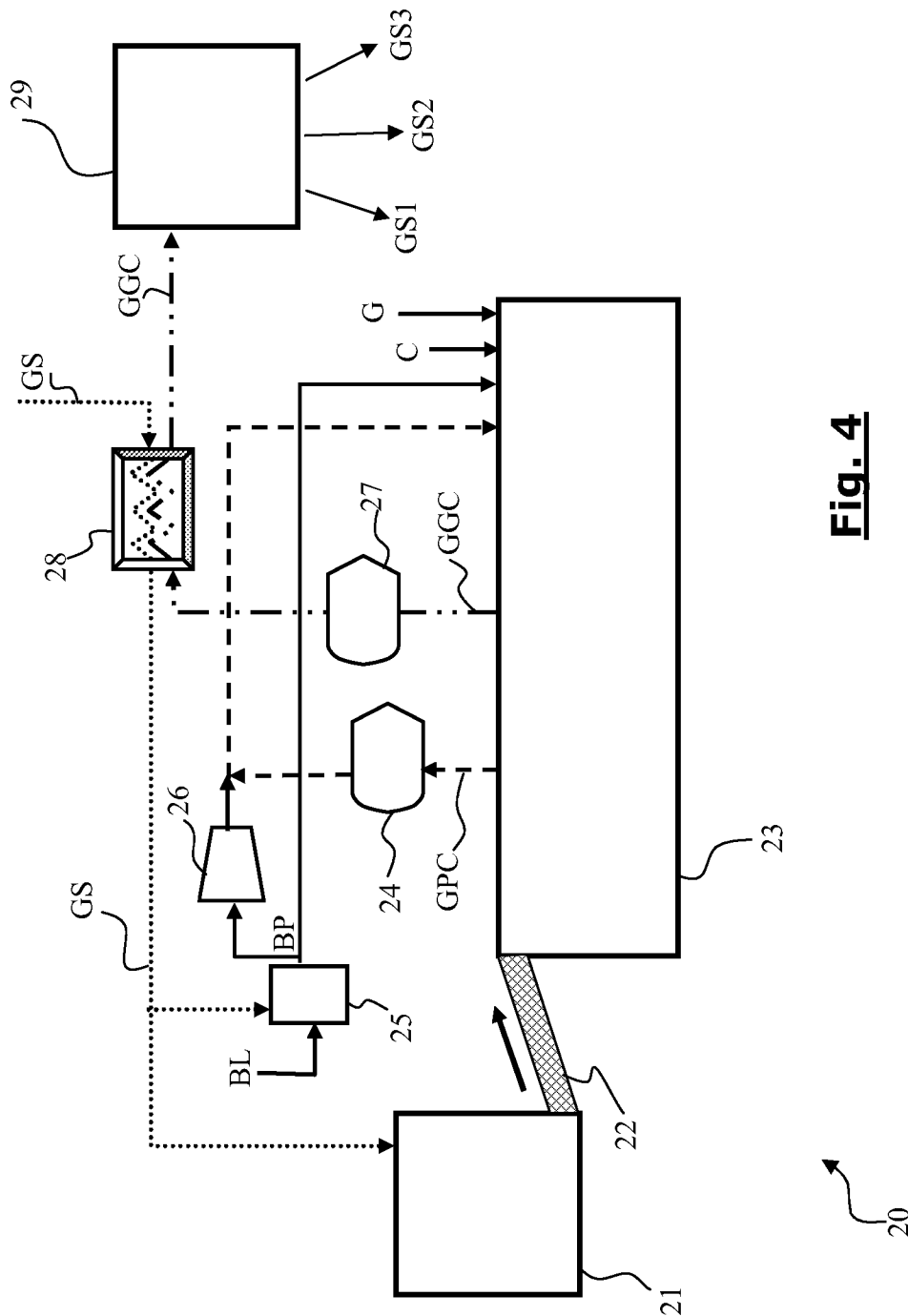


Fig. 4

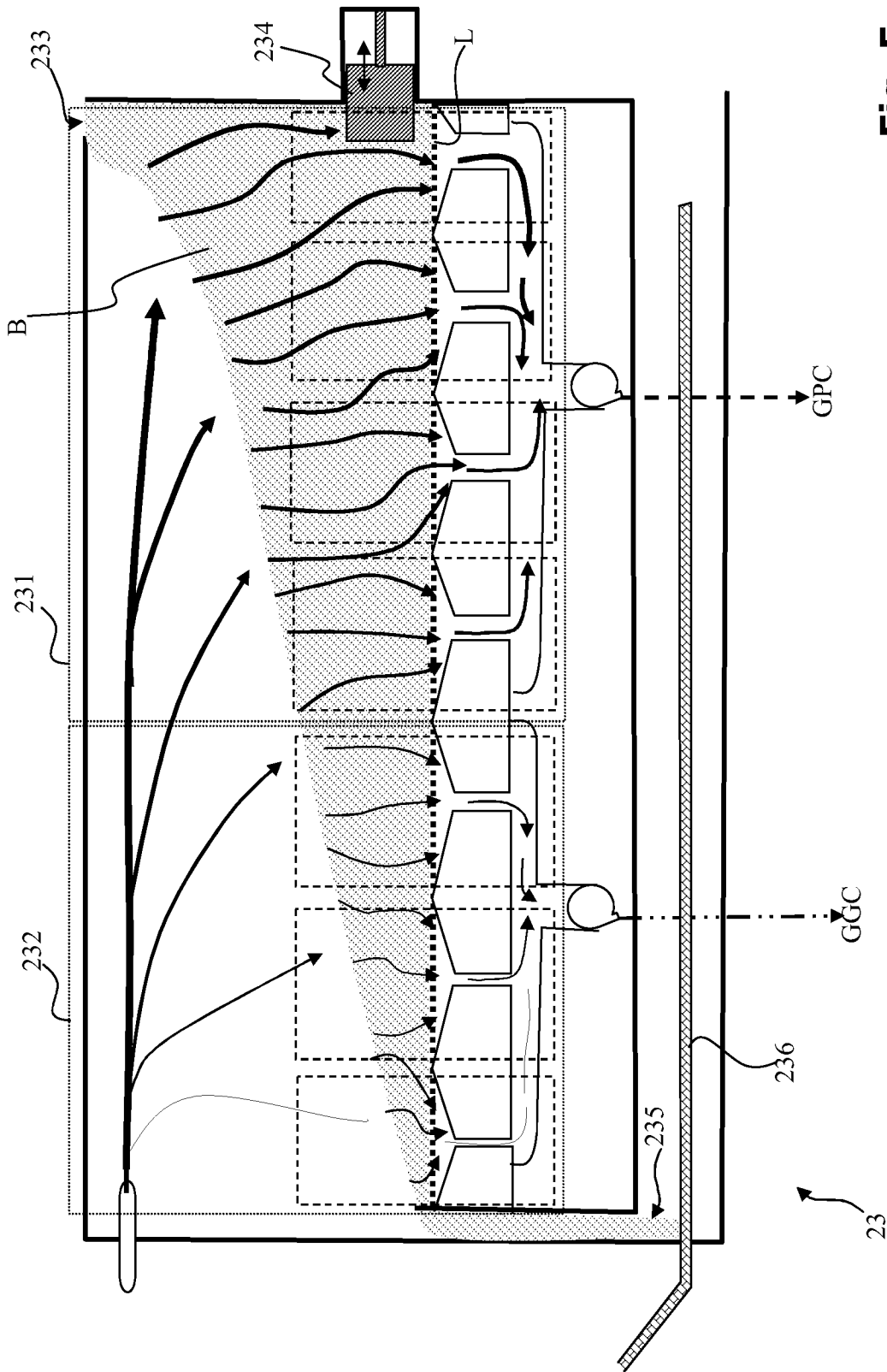


Fig. 5

6/8

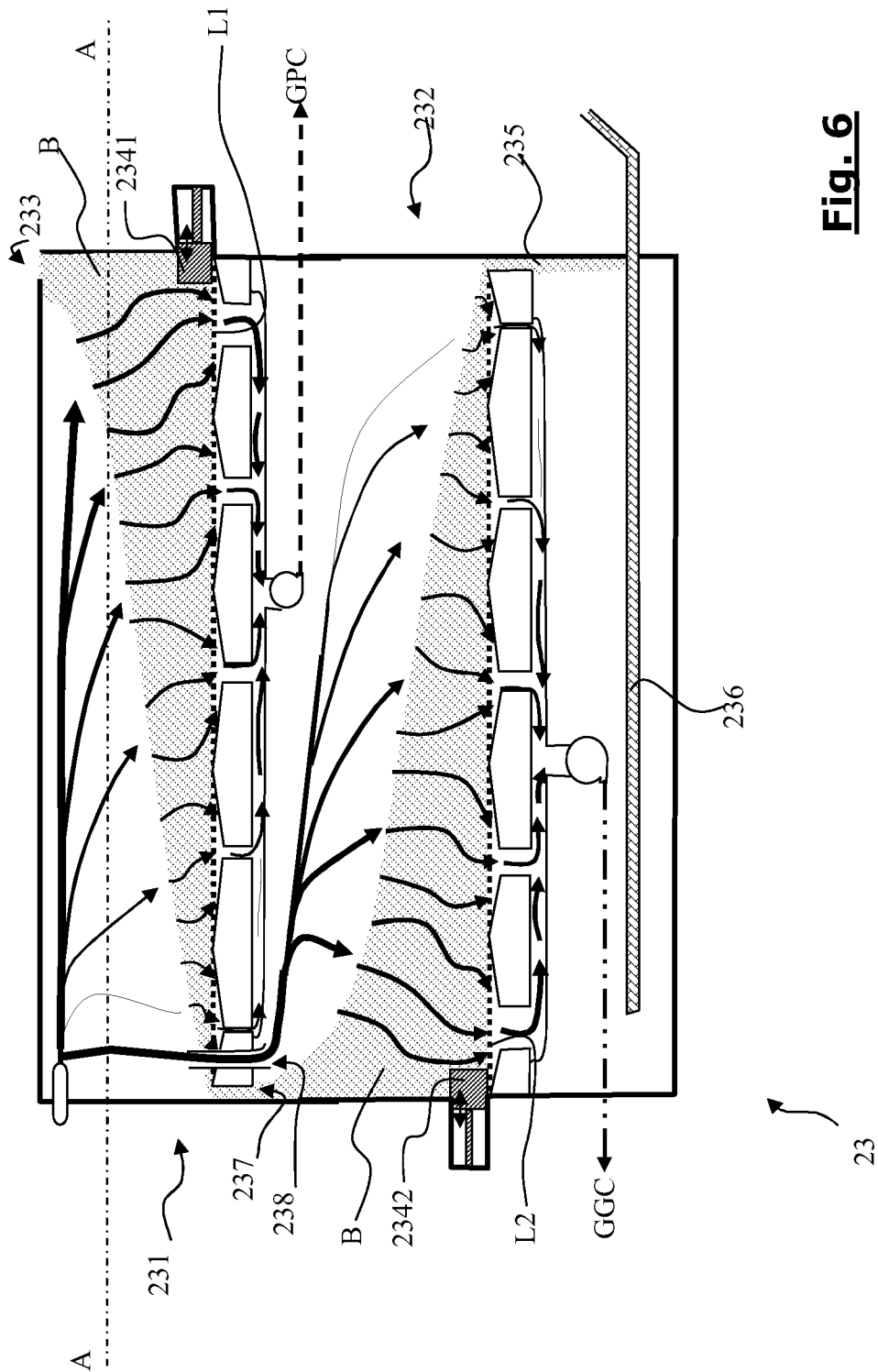


Fig. 6

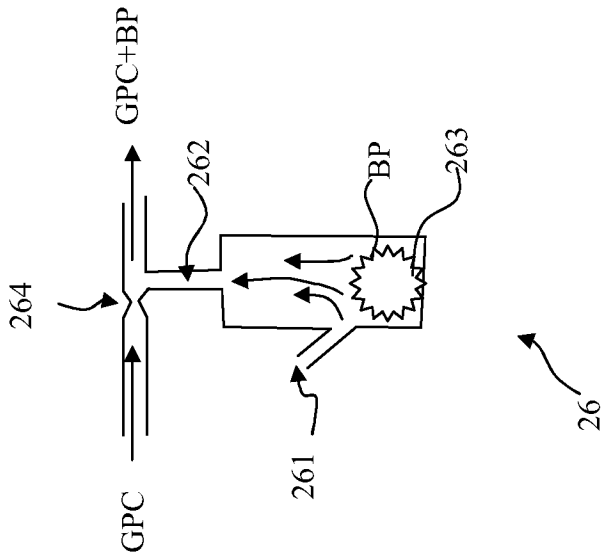


Fig. 8

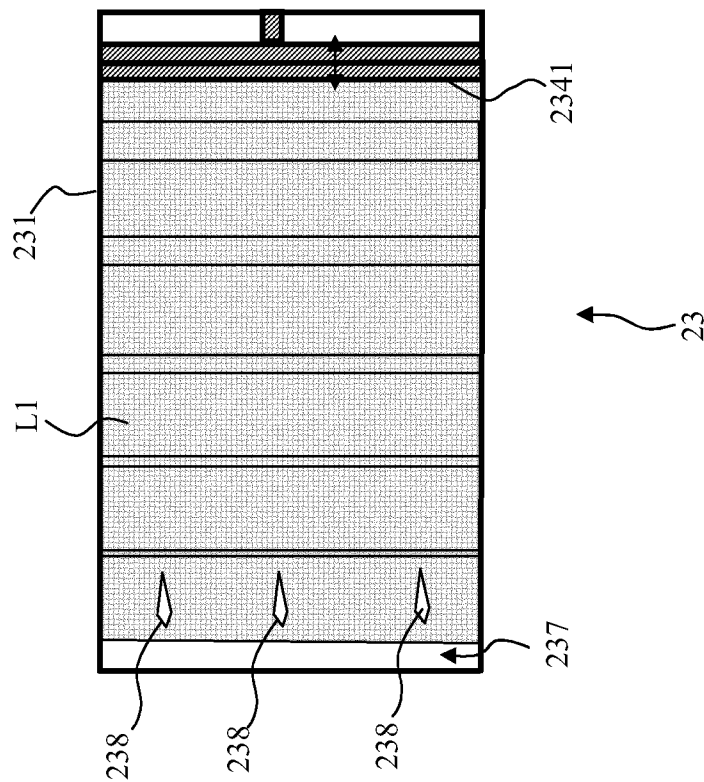


Fig. 7

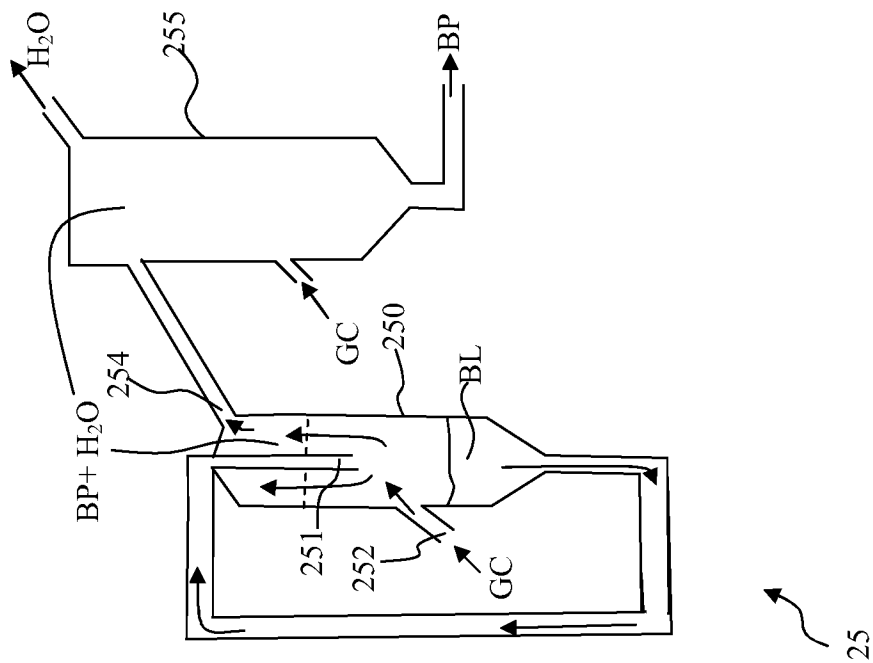


Fig. 10

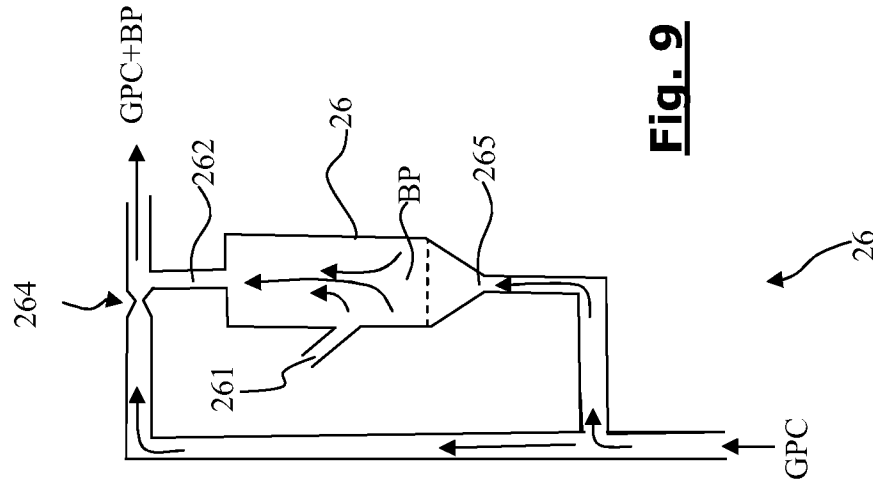


Fig. 9