

(19)



(11)

EP 3 472 517 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

08.07.2020 Bulletin 2020/28

(51) Int Cl.:

F23G 7/10 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **17742471.0**

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/FR2017/051467

(22) Date de dépôt: **09.06.2017**

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2017/212189 (14.12.2017 Gazette 2017/50)

(54) **PROCEDE DE COMBUSTION**

VERBRENNUNGSVERFAHREN

COMBUSTION PROCESS

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **09.06.2016 FR 1655304**

(43) Date de publication de la demande:

24.04.2019 Bulletin 2019/17

(73) Titulaire: **Haffner Energy**

51300 Vitry Le Francois (FR)

(72) Inventeurs:

- **FERNANDEZ DE GRADO, Alain**
51300 LES RIVIERES HENRUEL (FR)
- **HAFFNER, Philippe**
51300 VITRY LE FRANCOIS (FR)

(74) Mandataire: **Oudin, Stéphane**

JurisPatent - Cabinet Guiu
10, rue Paul Thénard
21000 Dijon (FR)

(56) Documents cités:

EP-A1- 0 381 195 US-A- 5 769 009

EP 3 472 517 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

Domaine de l'invention

[0001] La présente invention concerne le domaine de la production de chaleur ou de cogénération (chaleur et électricité) par combustion de matière organique utilisée sous une forme solide ou liquide, cette matière pouvant être constituée de biomasse d'origine majoritairement végétale ou animale ou fossile comme par exemple des plastiques ou d'autres produits composés d'hydrocarbures.

[0002] L'invention concerne notamment un procédé de combustion et l'installation de combustion à partir de matière organique utilisant ledit procédé, particulièrement adaptés pour la production combinée de chaleur et d'électricité, autrement dit cogénération, à l'aide d'un cycle de Rankine ou équivalent, utilisant notamment une turbine à vapeur et un alternateur. Mais une production de chaleur seule peut aussi être assurée par l'invention, en vue de son utilisation par un réseau de chaleur à eau chaude ou vapeur, ou toute autre conversion de la chaleur en énergie mécanique ou en froid par exemple par un groupe par absorption.

Etat de la technique

[0003] La combustion de la matière organique est l'une des voies possibles pour sa valorisation énergétique, les autres voies principales étant la gazéification et la méthanisation.

[0004] La matière organique est toujours constituée majoritairement de molécules composées de Carbone C, d'Hydrogène H et d'Oxygène O, souvent combinée à de l'eau H₂O et à des éléments minéraux.

[0005] La réaction de combustion est assurée par une oxydation de la matière, fortement exothermique, le comburant étant traditionnellement de l'air en excès par rapport à l'équilibre stœchiométrique, de manière à prévenir les combustions incomplètes.

[0006] Idéalement les produits du procédé devraient être uniquement du dioxyde de carbone, de l'azote et de l'eau. Dans la réalité, en fonction de l'origine de la matière première entrant dans le procédé (ultérieurement appelée "entrants" dans la description de l'invention), de sa pureté et des conditions de réaction (pression, température, vitesse,...), des éléments obtenus par recombinaison chimique avec certains éléments, et notamment des éléments tels que le chlore, le soufre, etc ... apparaissent et sont des éléments indésirables pour leurs effets de corrosion, abrasion et encrassement des équipements. De plus, d'autres éléments comme les oxydes d'azote (NO_x), les dioxines et les furanes peuvent être produits durant les réactions, représentant un risque élevé pour la santé des populations environnantes.

[0007] Selon l'état de l'art actuel des procédés de combustion de matière organique, la production de chaleur et/ou électricité fait, de manière classique, appel à trois

principales technologies de foyers permettant d'assurer la combustion :

- Dans un procédé de chaudière à grille, qui comprend notamment les grilles à gradin, les spreader stockers, les grilles rotatives, les entrants sont introduits au-dessus d'une grille en mouvement, dans la partie basse d'une enceinte, dans laquelle elle subit une combustion en même temps qu'elle se déplace sous l'effet des mouvements de la grille. Du comburant, tel que de l'air ou de l'oxygène, est introduit dans l'enceinte afin de permettre la combustion de la matière organique et ainsi générer des fumées très chaudes (en général plus de 800°C). Les fumées produites sont habituellement extraites en partie haute, après avoir traversé un foyer tapissé de nappes de tubes sous pression, dites membranes, dans lesquelles circulent de l'eau à vaporiser, ou de la vapeur à surchauffer. Ensuite, les fumées traversent en général une série d'échangeurs dénommés surchauffeurs destinés à surchauffer la vapeur. En dernier lieu, les fumées, encore assez chaudes, circulent dans des circuits complémentaires, dénommés vaporisateurs et économiseurs, et transmettent encore de la chaleur au circuit d'eau ou vapeur, à l'aide d'échangeurs travaillant à diverses températures, jusqu'à des températures en général comprises entre 180 et 130°C.

- Dans un procédé de chaudière à lit fluidisé, les entrants sont préalablement broyés et calibrés puis introduits dans un réacteur où s'agit une masse de particules à plus de 500°C telles que, par exemple, du sable, de l'olivine, de la dolomite ou du laitier de haut-fourneau. Les entrants, attaqués par un front de combustion rapide, subissent alors une oxydation en quelques fractions de secondes. Pour les installations de grande dimension dites à lit fluidisé circulant, d'une puissance généralement supérieure à 25 MW, une séparation centrifuge des gaz produits d'avec les particules volantes est réalisée. Ces dernières sont alors recirculées en partie basse vers le réacteur afin d'être réutilisées dans le foyer, entraînant avec lui la plupart des particules de matière organique non brûlées. Les gaz produits sont collectés en une seule sortie principale placée en position haute, et le circuit emprunté par les fumées est alors similaire à celui d'un foyer à grilles tel que décrit supra.

[0008] Dans un foyer dit à pulvérisation, de la matière pulvérulente est injectée à grande vitesse, ce qui permet une combustion quasiment instantanée se rapprochant de la combustion d'un combustible gazeux, sans toutefois pouvoir apporter la même homogénéité des gradients thermiques.

[0009] Ces solutions traditionnelles présentent notamment les défauts suivants :

- Les réactions de combustion, qui ont lieu dans une même enceinte, ne permettent pas de maîtriser précisément les températures et les compositions chimiques des réactifs en présence dans les différentes zones du réacteur. Il apparaît notamment des points chauds (généralement à plus de 1200°C) et localisés, ce qui peut provoquer la production de NOx de combustion (oxydes d'azote), un des polluants atmosphériques les plus nocifs pour la santé.
- Dans le cas de la combustion par lit fluidisé circulant, qui procède instantanément à l'opération de combustion, les fumées produites sont de meilleure qualité. Toutefois, l'installation est complexe, exige des variables d'ajustement de procédé sensibles et se révèle énergivore en auxiliaires électriques, car il faut assurer la fluidisation d'éléments sableux lourds. Les particules en mouvement, généralement du sable, sont elles-mêmes très sensibles à des interactions physico-chimiques avec certains éléments alcalins contenus dans les cendres, ce qui provoque avec certains entrants, notamment ceux chargés en potassium, des phénomènes de frittage du lit, ce qui compromet la fluidité des particules jusqu'à déclencher l'arrêt de l'installation.

[0010] EP0381195 divulgue un procédé de combustion selon le préambule de la revendication 1.

Description de l'invention

[0011] La présente invention a pour but de pallier les inconvénients de l'état de la technique en proposant un procédé économique capable de produire de la chaleur et/ou de l'électricité et émettant des fumées moins nocives pour l'environnement. De plus, ce procédé permet d'améliorer le rendement énergétique global ainsi que la durée de vie des équipements, notamment les échangeurs thermiques.

[0012] Ainsi, la présente invention concerne un procédé de combustion de matière organique, remarquable en ce qu'il comprend une étape consistant à mélanger un média de transfert composé de particules solides indépendantes, avec de la matière organique et à faire circuler ledit mélange dans une enceinte et en ce que ledit mélange est soumis à une combustion à l'aide d'un comburant introduit à l'intérieur de ladite enceinte et en ce que ledit mélange remplit la totalité de la section horizontale de l'enceinte sur tout ou partie de la hauteur de ladite enceinte. Préférentiellement, ledit mélange remplit la totalité de la section horizontale de l'enceinte sur toute la hauteur de ladite enceinte.

[0013] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, ledit mélange circule verticalement de haut en bas sous l'effet de son propre poids.

[0014] Ceci permet aussi de favoriser l'interaction des gaz et du mélange du média de transfert avec la matière organique.

[0015] Par le terme « sous l'effet de son propre poids »

on entend indiquer que ledit mélange se déplace en tout ou partie sous l'effet de la gravité et préférentiellement uniquement sous l'effet de la gravité.

[0016] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, ledit mélange est soumis à des étapes de combustion successives dans des zones différentes de ladite enceinte.

[0017] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les fumées de combustion produites sont en tout ou partie réinjectées à l'intérieur de ladite enceinte.

[0018] Dans le cadre de la présente invention, le terme « amont » et « aval » sont utilisés en référence au sens de circulation dudit mélange.

[0019] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, ledit média de transfert traverse, à l'intérieur de ladite enceinte, plusieurs zones d'action de fluides successives.

[0020] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le procédé comprend une étape supplémentaire consistant à séparer ledit média de transfert de la matière minérale obtenue après combustion et en ce que ledit média de transfert ainsi obtenu est ensuite réutilisé dans un procédé, selon l'invention.

[0021] La présente invention concerne également un dispositif pour la combustion d'une matière organique selon un procédé selon l'invention, comprenant une enceinte de combustion comprenant une entrée de ladite matière organique, au moins une entrée de comburant reliée à une source de comburant, une sortie de matière minérale résiduelle et une sortie de fumée de combustion, remarquable en ce que des particules solides indépendantes formant un média de transfert mobile entassé sont placées dans ladite enceinte et en ce que ledit média de transfert remplit la totalité de la section horizontale de l'enceinte sur tout ou partie de la hauteur de ladite enceinte et en ce qu'une entrée de média de transfert est placée à une extrémité de ladite enceinte et en ce qu'une sortie de média de transfert est placée à l'autre extrémité de ladite enceinte et en ce qu'un moyen de transfert du média de transfert est intercalé entre la sortie de média de transfert et l'entrée de média de transfert assurant la circulation en boucle du média de transfert.

[0022] Dans le cadre de la présente invention, le terme « entassé » entend signifier que ledit média de transfert mobile remplit la totalité de la section horizontale de l'enceinte sur tout ou partie de la hauteur de ladite enceinte. Préférentiellement, ledit mélange remplit la totalité de la section horizontale de l'enceinte sur toute la hauteur de ladite enceinte.

[0023] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, ladite enceinte de combustion, comprend plusieurs entrées de comburant étagées les unes par rapport aux autres, chacune étant reliée à une source de comburant commune ou séparée.

[0024] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, un moyen de régulation du débit de comburant est associé à au moins une des entrées de comburant.

[0025] Selon un mode de réalisation préféré de l'inven-

tion, ledit dispositif comprend en outre au moins un échangeur de chaleur étanche placé à l'intérieur de ladite enceinte, au contact dudit média de transfert, et raccordé à une entrée et à une sortie de fluide, assurant l'augmentation de l'enthalpie dudit fluide.

[0026] Dans le cadre de la présente invention, le terme « zone » ou « zone d'action » entend désigner une partie du volume intérieur de l'enceinte dans laquelle va circuler un entassement de particules individuelles solides caloporteuses, appelé média de transfert et dans laquelle ledit média de transfert remplit une fonction spécifique en interaction avec un ou plusieurs fluides, tel que de l'air, des fumées de combustion, de la vapeur, ...

[0027] Ces zones peuvent être délimitées structurellement dans le cas où un fluide va circuler entre son entrée et sa sortie, dans un échangeur de chaleur étanche placé à l'intérieur de l'enceinte. Alternativement, une zone peut être définie par la position de l'entrée et de la sortie du fluide. Par exemple, une entrée et une sortie de fluide placées de part et d'autre de l'enceinte vont définir une zone qui correspond à la partie de l'enceinte disposée entre ladite entrée et ladite sortie. Afin d'éviter que deux zones d'actions ne se superposent, l'homme du métier est à même de déterminer la position idéale de chaque entrée et de chaque sortie, notamment en fonction de la nature physico-chimique du fluide, de sa vitesse de circulation et des pertes de charges.

Avantages de l'invention

[0028] Un des avantages de l'invention est que la grande inertie thermique du média de transfert mobile, associée à sa conductivité et à sa diffusivité thermique élevées, permettent de limiter les fluctuations de température dans la zone de combustion. Le gradient de température est beaucoup plus stable, malgré les variations inévitables de siccité ou de capacité calorifique de la matière organique à oxyder.

[0029] Un autre avantage est que la capacité thermique du média de transfert mobile peut être définie de manière à ce que le transfert d'enthalpie se fasse aux températures requises pour contrôler parfaitement la transformation de la matière organique. De plus, cette inertie permet un faible pincement thermique et améliore la performance de l'échange thermique entre les fluides et les matières en jeu.

[0030] Le procédé selon l'invention présente les caractéristiques et ou les avantages suivants :

- Le média caloporteur, qui est contenu dans l'enceinte, est mobile et non fixe, à la différence des garnissages fixes qui apportent certes une grande surface d'échange thermique mais qui ne peuvent aisément extraire de l'enceinte afin de procéder à leur nettoyage.
- Cette mobilité permet de transporter de l'énergie captée par le média depuis une zone de l'enceinte vers une autre zone de l'enceinte, voire vers une

autre enceinte.

- Le média a pour fonction de capter l'enthalpie disponible dans l'enceinte pour la restituer ensuite. Certaines solutions connues de l'homme de l'art disposent d'un four extérieur (à gaz, électrique, ...) dans lequel le média, par exemple sous forme de boulets, circule, de sorte qu'il est chauffé par la combustion ayant lieu dans le four extérieur. Ensuite, le média est introduit dans une enceinte dans laquelle l'enthalpie apportée par le média caloporteur est valorisée. L'enthalpie échangée provient donc d'un carburant et d'un dispositif extérieur, tel une chaudière à gaz. Selon l'invention, la fonction du média est de récupérer de l'énergie habituellement perdue par la partie aval du procédé, et non de consommer du carburant pour apporter une énergie extérieure qui ne peut que dégrader le bilan énergétique du procédé, alors que ce carburant pourrait être valorisé à l'extérieur de l'invention.

- La fonction d'échanges thermiques, notamment entre le média et un gaz (air, syngaz ou vapeur) est prépondérante.
- Le média est déplacé de façon essentiellement verticale ce qui autorise un remplissage maximal et homogène de l'enceinte du réacteur, à la différence des tambours horizontaux tournants ou des systèmes avec vis de transfert horizontale. Cela permet ainsi d'éviter les problèmes récurrents de stratification et de mélange peu homogène des matières présentant des différences de densité importantes. Cela permet aussi de garantir un écoulement des fluides homogène dans le média, car il s'avère que dans un média disposé de façon non essentiellement verticale, les particules de média se décollent de la paroi supérieure de l'enceinte et libèrent ainsi un espace dans lequel un écoulement préférentiel de fluide apparaît, au détriment de la performance de l'invention.
- De plus, cette disposition verticale facilite la mise en mouvement des particules par la simple gravité, notamment à des températures élevées qui perturbent l'utilisation de pièces mécaniques comme par exemple une vis d'Archimède.
- L'invention utilise un média qui comporte des espaces de porosité calibrée, à la différence des sables que l'on trouve, par exemple, dans les systèmes de chaudière ou de gazéification à lit fluidisé qui exigent l'emploi d'un gaz de fluidisation injecté à haute pression, source d'usure précoce et de consommation d'énergie. Ainsi, selon l'invention, le média pèse de tout son poids sur les particules organiques qui y sont mélangées, de sorte qu'un effet de compression, de broyage, d'effritement s'effectue, ainsi qu'un contact mécanique favorisant la rapidité des échanges thermiques.
- Préférentiellement, le procédé selon l'invention met en œuvre un écoulement contrôlé d'un fluide à travers le média, en minimisant le risque d'apparition

de circuit préférentiel d'écoulement qui court-circuiterait une partie de l'enceinte et réduirait grandement l'intérêt de l'invention. Ainsi, une enceinte dans laquelle le média serait disposé selon une couche verticale prise entre deux tôles de guidage perforées et qui serait traversé de façon globalement horizontale par un gaz circulant depuis une des tôles de guidage vers l'autre, ne permettrait pas de parvenir au rendement du procédé selon l'invention. En effet, si le lit de média vertical qui s'écoule entre les deux tôles de guidage n'est pas parfaitement homogène en porosité, un écoulement préférentiel du fluide pourrait apparaître dans une partie locale du média et tout le reste du média ne serait plus actif pour échanger de l'enthalpie avec le fluide circulant dans l'enceinte. Dans le procédé selon l'invention, ce risque est limité en assurant une circulation du fluide caloporteur le long de la dimension la plus longue du média, soit, de façon préférée, le long de la hauteur dans le cas d'un média placé par entassement dans une enceinte verticale. Cet écoulement vertical peut notamment être assuré par l'utilisation d'une enceinte à tôle pleine remplie de média et disposant d'une entrée et d'une sortie de fluide placées en position haute et basse, ou inversement, de la zone utile du média. Comme le média se déplace de façon essentiellement verticale, les gaz qui le traversent (par ex le gaz comburant ou les fumées produites par la combustion) circulent aussi de façon essentiellement verticale et afin d'éviter les court-circuit il faut une perte de charge égale sur le chemin des gaz, donc une porosité homogène assurée par un remplissage complet d'au moins une partie de l'enceinte sur toute la section transversale à l'écoulement des gaz, dite section horizontale.

[0031] Un autre avantage est que la vitesse de déplacement du média de transfert peut être ajustée en temps réel en fonction de la puissance de combustion requise, permettant ainsi d'ajuster, par exemple, les paramètres des procédés périphériques permettant de récupérer l'énergie émise lors de la combustion telle que, par exemple, la recirculation de fumées qui stabilisent la température du foyer, l'apport d'air primaire ou secondaire comme comburant ou encore la circulation de fluides dans les divers échangeurs assurant la production de vapeur.

[0032] Un autre avantage est que le média caloporteur mobile peut être mis en mouvement lentement, par exemple à une vitesse de déplacement des particules de moins de 0,1 m/s, ce qui est bien moins énergivore qu'un mouvement de fluidisation à sable dans un foyer de combustion à lit fluidisé. En effet, la seule énergie significative consommée pour le mouvement dudit média caloporteur mobile est l'énergie de son transfert du bas vers le haut par un moyen de levage tel qu'un élévateur à godet.

[0033] Un autre avantage est que l'échange d'enthalpie s'effectue dans une même enceinte, évitant ainsi

l'usage d'un four de chauffage auxiliaire qui assurerait la montée en température de boulets ou tout autre masse en mouvement et permettant d'éviter les contraintes liées aux transferts à très haute température.

[0034] Un autre avantage est qu'il est possible de choisir un média caloporteur mobile fait d'un matériau insensible aux attaques chimiques, acides ou à l'oxydation tel que, par exemple, des billes en alumine (AL2O3).

[0035] Un autre avantage est que le média mobile n'a pas à être nettoyé in situ, à la différence des installations traditionnelles de condensation par garnissage fixe qui, par nature, ne peut être aisément évacué du réacteur pour nettoyage.

[0036] Un autre avantage est que le fait que les cendres aient éventuellement une température de fusion inférieure à la température idéale de la combustion, située aux environs de 850°C, n'implique pas d'accumulation de mâchefers dans le foyer, ou bien des phénomènes de frittage tels que ceux constatés dans les lits fluidisés, permettant ainsi d'envisager une plus grande variété d'entrants, et notamment des substrats agricoles avec des taux de potassium élevés.

[0037] Un autre avantage est que le contrôle des gradients de température et des zones d'introduction de l'air de combustion, divisées en plusieurs étapes, permettent de fortement limiter la production de NOx thermiques, mais aussi de NOx dits de combustibles.

[0038] Un autre avantage est qu'il est possible de définir deux zones de média distinctes, permettant d'assurer un refroidissement extrêmement rapide des fumées afin de limiter la formation de dioxines dans la plage de température 250-450°C.

[0039] Un autre avantage est que l'absence de contact direct entre les fumées et les tubes de vapeur sous pression permet d'envisager un relèvement de la température de surchauffe de la vapeur, avantageusement au-delà de 500°C, notamment en cas d'utilisation d'entrants fortement chargés en chlore et en soufre.

[0040] Un autre avantage est que la performance des échanges thermiques permet de réduire les surfaces d'échanges et la longueur des surchauffeurs, tout en autorisant des circuits moins sinueux que les surchauffeurs en chaudière conventionnelles, limitant de ce fait les pertes de charge en chaudière. Cet avantage permet d'envisager une ou plusieurs étapes de resurchauffe de la vapeur et le recours à des turbines à vapeur multi-corps, permettant de ce fait de redonner à la vapeur de l'énergie exploitable par une turbine à vapeur. Cela permet de fortement améliorer les rendements électriques. Une telle disposition était jusqu'alors réservée aux installations de très grande puissance, typiquement de plus de 100 MW électriques. L'invention permet de rendre exploitable la resurchauffe de la vapeur pour des installations d'une puissance électrique inférieure à 10 MW électriques.

[0041] Un autre avantage est que la masse de particules en mouvement implique une action d'écrasement et de dispersion des particules incandescentes, et de

toutes particules dépolymérisées et fragilisées par le front de combustion, ce qui permet un contact direct entre le carbone fixe et le comburant et limite la présence de points chauds confinés au sein de braises incandescentes, lesdits points chauds étant la source d'émission de NOx thermiques par une température ponctuellement supérieure à 1200°C.

[0042] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention sont décrits ci-après selon les modes possibles de réalisation de l'invention.

[0043] Les descriptions font référence aux figures suivantes en annexe :

La figure 1 représente schématiquement un mode de réalisation du dispositif selon l'invention selon une première version de combustion avec une valorisation des fumées en contre-courant

La figure 2 représente schématiquement une variante de l'invention selon une seconde version de combustion avec un séchage préalable et un écoulement des fumées en co-courant

La figure 3 représente schématiquement une variante de l'invention selon une troisième version intégrant un séchage préalable, une combustion et une valorisation des fumées en co-courant

Description d'un mode de réalisation

[0044] Le procédé selon l'invention met en œuvre un dispositif pour la combustion d'une matière organique. L'objectif est de brûler les entrants en présence de comburant tel que, par exemple, de l'oxygène apporté par de l'air, de canaliser la chaleur dégagée et de valoriser cette chaleur en chauffant un fluide caloporteur, par exemple de l'eau ou de la vapeur.

[0045] Selon l'invention, la matière organique à traiter est introduite dans l'enceinte au milieu de particules solides indépendantes formant un média de transfert mobile. Le mélange obtenu présente plusieurs caractéristiques avantageuses décrites infra, notamment en termes d'inertie thermique, de porosité et de masse.

[0046] Le mélange est mobile, c'est-à-dire qu'un écoulement lent est mis en place de façon à lui faire traverser différentes zones d'action, la vitesse d'écoulement étant de façon préférée inférieure à 6 m/mn, et de façon plus préférée inférieure à 1 m/mn et de façon encore plus préférée inférieure à 0,1 m/mn.

[0047] Le mode de réalisation décrit ici considère que l'écoulement est vertical vers le bas ; toutefois toute autre direction ou sens d'écoulement est possible, même si la mise en œuvre est plus complexe.

[0048] L'écoulement est lent, c'est-à-dire que la vitesse des particules formant le média est adaptée à la fois au besoin de la combustion, qui doit être alimentée en carburant (les entrants) présent dans le mélange, et au besoin d'inertie thermique apportée par le média dans l'enceinte de combustion. Il est donc nécessaire de disposer d'un moyen de régulation de la formation du mé-

lange, de sorte que le débit des entrants et le débit de média de transfert soient régulés indépendamment.

[0049] Ainsi, le mélange quitte la zone d'alimentation et descend dans la zone de combustion, alimentée en air comburant. Le débit d'air est régulé de façon à permettre une combustion à puissance contrôlée des entrants apportés par le mélange.

[0050] Avantageusement, les arrivées de comburant sont séparées de façon à créer des zones de combustion séparées, mais les fumées créées par chaque combustion sont regroupées et évacuées en une seule sortie de l'enceinte. Selon une autre variante de l'invention, il y a plusieurs sorties, mais au moins une assure l'évacuation d'un mélange de fumées provenant des combustions séparées.

[0051] Si nécessaire, notamment en phase de démarrage, un moyen auxiliaire de combustion ou brûleur, par exemple comprenant une alimentation en fuel et un moyen de mise en route (étincelle), est mis en place dans la zone de combustion.

[0052] Avantageusement, la zone de combustion est divisée en trois sous-zones, chacune étant alimentée par une arrivée d'air spécifique, dont le débit est régulé séparément en relation avec la mesure de la température qui règne dans la zone. Ainsi, le gradient de température dans ces trois sous-zones est précisément contrôlé. Les trois arrivées d'air sont appelées air primaire, air secondaire et air tertiaire. Cette gestion séparée et contrôlée permet à la fois de maintenir un gradient de température croissant depuis la première zone, normalement stabilisée entre 250°C et 350°C, préférentiellement 300 °C, puis la seconde zone, normalement stabilisée entre 450°C et 550°C, préférentiellement à 500 °C, jusqu'à la troisième zone, normalement stabilisée entre 750°C et 950°C, préférentiellement à 850 °C; et aussi d'assurer la conversion des NOx dits de combustion en éléments inoffensifs pour la santé humaine.

[0053] Ainsi, les fumées générées contiennent une quantité de NOx minimale, car aucune zone de combustion n'atteint plus de 1200°C, comme cela est généralement le cas avec les technologies traditionnelles.

[0054] De façon avantageuse, une solution de régulation du taux d'oxygène peut être obtenue par injection de fumées recirculées en mélange avec l'air. De façon plus large, toute sorte de régulation de taux d'oxygène évidente à l'homme de l'art et préservant le rendement du procédé ou la qualité des gaz produits est envisageable.

[0055] A l'issue de cette combustion, dont la durée peut être ajustée par modification de la vitesse d'écoulement du média extrait par le bas de l'enceinte de combustion, le mélange brûlé ne contient alors que des particules de média de transfert, avantageusement incombustibles, des cendres minérales et de la matière organique imbrûlée si la puissance et le temps de séjour de la combustion ont été insuffisants. Ce mélange comprenant les entrants brûlés à une température élevée (typiquement de plus de 800°C) et représente un stock

d'énergie important, principalement contenu dans les particules chaudes du média de transfert.

[0056] Cette masse chaude peut être mise à profit pour soumettre les fumées à une grande température durant un temps minimal, par exemple à plus de 800° C pendant plus de 2 secondes, de sorte que les dioxines créées durant la combustion soient détruites, et répondre ainsi aux contraintes réglementaires de nombreux pays visant à garantir la destruction desdites dioxines.

[0057] Ce stock d'énergie peut aussi être valorisé par diverses zones de récupération d'enthalpie.

[0058] Ainsi, le mélange chaud peut, par exemple, traverser une zone de vaporisation d'eau pressurisée ou de surchauffe de vapeur circulant dans un échangeur étanche devant lequel ou autour duquel circule le mélange. Les échanges de chaleur se font alors par rayonnement, convection et conduction entre les particules de média et les parois de l'échangeur. Ces échanges sont avantageusement améliorés si un fluide, comme par exemple les fumées de la combustion, circule simultanément à travers le mélange. L'écoulement de ce fluide autour des particules du média de transfert amplifie les phénomènes de convection et améliore la puissance des échanges thermiques, et l'homogénéité des températures.

[0059] Selon un autre exemple, le mélange chaud peut traverser une zone de préchauffage de l'air qui va ensuite être utilisé comme air comburant durant la combustion. Ainsi, le rendement global du procédé est amélioré.

[0060] Ensuite, le mélange brûlé est soumis à une étape de séparation durant laquelle le média de transfert est séparé des cendres minérales et est réinjecté dans le procédé, éventuellement après une ou plusieurs traitements spécifiques (nettoyage, réparation, refroidissement, réchauffage,...). Les cendres sont évacuées pour mise en centre de stockage ou valorisation ultérieures, comme par épandage, Les imbrûlés peuvent être réinjectés dans le procédé en association avec le média récupéré, ou séparément.

[0061] Les moyens techniques requis pour effectuer la séparation peuvent comprendre un crible à trous, un crible à effet magnétique, (avantageusement du type « overband », un crible balistique, un crible à effet de courant de Foucault, un tamis vibrant, un tambour rotatif ou toute autre technique connue de l'homme de l'art selon la nature des éléments à séparer. Il convient aussi de séparer, de manière continue ou périodique, les particules de média de transfert en bon état de celles qui sont usées, brisées et qui ne peuvent plus remplir leur fonction.

[0062] De plus, les moyens techniques requis pour effectuer les traitements spécifiques peuvent comprendre un nettoyage qui peut être effectué dans un bain d'eau pure ou additivée d'agents de nettoyage tels des surfactants, ou dans un bain de solvant, ou sous une douche d'eau ou de solvant, ou sous un jet de gaz de nettoyage ou de vapeur, telle que de la vapeur d'eau, ou par soufflage d'air comprimé. Une variante de nettoyage peut

utiliser un dispositif de nettoyage par vibrations, notamment afin de séparer des poussières adhérent aux particules de média en les faisant circuler sur un tamis vibrant, ou tout autre dispositif de nettoyage par vibrations, ou tout autre dispositif à haute fréquence, tels des ultrasons, avec l'appoint éventuel d'un bain de liquide nettoyant.

[0063] Les fumées générées durant la combustion sont évidemment chaudes et peuvent être valorisées de deux façons

- soit la configuration du dispositif selon l'invention est dite à "contre-courant", c'est-à-dire que si le média de transfert descend par écoulement lent, les fumées montent. Alors, la configuration ressemble à une chaudière verticale à tubes d'eau classique. Les fumées montent et traversent une zone de vaporisation d'eau pressurisée ou de surchauffe de vapeur circulant dans un échangeur étanche devant lequel circule le mélange. Les échanges de chaleur se font alors par rayonnement et convection entre les fumées et les parois de l'échangeur.
- Soit la configuration est dite à "co-courant", c'est-à-dire que les fumées descendent avec le média de transfert, ce qui permet de les faire séjourner pendant un temps contrôlé à une haute température, comme déjà décrit.

[0064] Dans tous les cas, les fumées peuvent être extraites de l'enceinte et subir des étapes séparées de valorisation telles qu'une récupération d'enthalpie, une condensation de fumée,

[0065] Selon une variante de la configuration à contre-courant, un lit de média de transfert peut être ajouté dans la zone de vaporisation, au-dessus de la zone de combustion. Ainsi, le média joue un rôle additionnel d'aide au transfert de chaleur dans cette zone.

[0066] La matière organique peut avoir un aspect quelconque ; elle peut être liquide comme, par exemple, du lisier d'élevage d'animaux ou des boues de station d'épuration ; elle peut être solide comme, par exemple, des refus de silo de grains agricoles ou de la plaquette forestière ; elle peut également être en état intermédiaire pâteux ou en mélange hétérogène. Toute matière organique de taille préférablement inférieure à 30 cm convient.

[0067] La masse du média de transfert est constituée d'un ensemble de particules individuelles solides qui sont utilisées sans cohésion entre elles. On obtient ainsi un amas de particules dont la taille et la forme permet un écoulement naturel par l'effet de la gravité.

[0068] Cet écoulement naturel permet aussi l'entraînement des entrants introduits en mélange au sein dudit média de transfert.

[0069] La masse joue un rôle de média qui va constamment se réchauffer et se refroidir sous l'influence de l'énergie et des fluides en jeu, de sorte que des échanges d'enthalpie s'opèrent dans les différentes zones du dis-

positif selon l'invention.

[0070] Le stockage de chaleur ou inertie thermique est une des caractéristiques de l'invention. En effet, le média de transfert dispose d'une masse qui permet d'accumuler de l'enthalpie sous l'effet de sa montée en température et selon sa capacité thermique massique exprimée dans l'unité J/(kg.K). Ainsi, il est nécessaire de disposer d'un média de transfert de grande masse et/ou de grande capacité thermique massique qui présente une grande inertie thermique. Concrètement, pour garantir une bonne stabilité des échanges thermiques, il est préférable que l'enthalpie totale contenue dans le média représente au moins l'enthalpie générée par la combustion des entrants pendant 5 min. De plus, il est avantageux de disposer de particules dont la densité est supérieure à 2500 kg/m³ et dont la capacité thermique est supérieure à 300 J/(kg.K).

[0071] Selon une variante de l'invention, le média de transfert peut contenir une matière qui change de phase durant son utilisation de façon à profiter aussi de la chaleur latente de changement de phase de cette matière, ce qui permet de disposer aussi d'une plus grande inertie thermique.

[0072] Par exemple, une bille d'acier au molybdène réfractaire creuse dont la température de fusion dépasse 2600°C, remplie d'un alliage d'aluminium dont la température de fusion est de 600°C, peut stocker, lors du changement de phase solide-liquide de l'aluminium à cette température fixe de 600°C, plus de 370 kJ/kg d'aluminium soit l'équivalent de la chaleur sensible d'un kg d'aluminium s'échauffant de 400°C.

[0073] L'inertie thermique du média est recherchée car elle assure un stockage de l'enthalpie qui stabilise la combustion des entrants et les échanges thermiques dans les différentes zones de travail. Ainsi, on évite de surchauffer les entrants ou les fumées, ce qui limite le risque d'apparition d'oxydes d'azote. Grâce à l'inertie du média, la distribution des températures dans le milieu de combustion est également répartie.

[0074] Une autre avantage de l'invention est que le média de transfert assure un échange thermique de grande puissance, à la fois lors de la combustion des entrants, mais aussi dans les autres étapes lorsque le média de transfert restitue l'énergie captée à d'autres éléments, tel que de l'eau ou de la vapeur d'eau. Ce résultat est avantageusement obtenu par l'utilisation d'un média présentant de nombreuses cavités facilement traversées par le fluide. Ainsi, un média de transfert constitué de billes perforées sur 25% de leur volume garantit une porosité (ratio du volume de vide sur le volume total solide + vide) de plus de 50% et donc une bonne circulation du comburant et/ou des fumées dans toute la zone d'échange d'enthalpie.

[0075] De plus, dans un espace de grand volume qu'est le foyer de combustion d'une chaudière industrielle (plusieurs m³), les débits de comburant ne sont pas uniformément répartis ce qui crée des poches de combustion plus intense que l'optimum et d'autres moins in-

tense. Grâce à l'invention et à la porosité plus uniforme qu'apporte le média, la distribution du comburant et les puissances de combustion sont plus homogènes.

[0076] Selon une variante de l'invention, il est possible d'utiliser de simples sphères, dont l'entassement dans un volume donné permet de conserver des porosités entre les sphères, laissant un passage libre pour les fluides traversants.

[0077] De plus, la puissance d'échange est améliorée si le média présente une bonne diffusivité, c'est-à-dire si le matériau présente une forte capacité à transférer de la chaleur. Le coefficient de diffusivité défini par $D = \lambda / \rho \cdot C$ (où λ = conductivité thermique, ρ = masse volumique et C = capacité thermique massique) est préférentiellement supérieur à $0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

[0078] De plus, la géométrie et la dimension des éléments de média sont préférentiellement définies afin de s'assurer de la présence d'une grande surface développée balayée par les fluides en présence, ladite surface étant le siège de l'échange de chaleur. Ainsi, il est avantageux que les éléments de média présentent une surface développée importante et une épaisseur de matière faible afin de faciliter les échanges d'enthalpie. Le paramètre de compacité préféré, défini comme le ratio de la surface développée sur le volume solide, est supérieur à $3 \text{ m}^2/\text{m}^3$, ce qui correspond, par exemple, à des particules en forme de bille de diamètre 30 mm et percée de deux trous orthogonaux de diamètre 10 mm.

[0079] Enfin, la puissance d'échange est améliorée si les écoulements des fluides à travers le média de transfert se font selon un régime hydraulique ou aérodynamique à grande vitesse ou turbulent, un tel régime accentuant la performance des échanges thermiques par convection en surface du média de transfert. Par exemple, selon une solution préférée, le dimensionnement du dispositif veillera à garantir une vitesse d'écoulement des fluides supérieure à 1 m/s pour du liquide et supérieure à 3 m/s pour du gaz.

[0080] Avantageusement, le média de transfert doit supporter les contraintes de fonctionnement lors de la combustion.

[0081] Ainsi, si la combustion s'opère à une température supérieure à 900°C, il faut que le média de transfert supporte une telle température. Une solution recommandée consiste à utiliser des sphères moulées composées de céramique d'alumine, dont la résistance à la température atteint ainsi des limites supérieures à 1100°C voire 1800°C en fonction de la pureté de l'alumine.

[0082] De même, l'utilisation d'un métal réfractaire du type alliage au molybdène permet de disposer d'une matière dont le point de fusion est supérieur à 2200°C et dont la résistance mécanique est supérieure à celle d'une céramique d'alumine.

[0083] Comme la présente invention permet de conserver des températures inférieures à 900°C en tous points du dispositif, de l'acier austénitique non-réfractaire pourra également être utilisé.

[0084] De plus, si la combustion génère des fumées

contenant du soufre ou du chlore et de l'humidité, en cas de condensation de vapeur d'eau durant l'échange de chaleur et le refroidissement de ces fumées, de l'acide sulfurique ou chlorhydrique peut se former et corroder rapidement le média de transfert. Dans ce cas, le matériau le constituant doit être choisi de façon à résister à un pH généralement inférieur à 3.

[0085] Par ailleurs, les fumées peuvent contenir des éléments en suspension susceptibles de se déposer sur le média de transfert et mener ainsi à son encrassement, avec la conséquence potentielle de réduire progressivement la porosité de ce dernier. La circulation des fluides et l'efficacité des échanges thermiques en seraient alors dégradées. Pour résoudre ce problème, un exemple de dispositif comprend avantageusement un moyen de lavage du média de transfert, régulier ou continu.

[0086] Le choix du matériau composant le média de transfert implique aussi de prendre en considération les phénomènes de catalyse engendrés par le contact de certains composants de fumées avec la surface dudit média de transfert.

[0087] Enfin, selon l'invention, le média de transfert est mis en mouvement de circulation à l'intérieur de l'enceinte de l'échangeur ce qui suppose que le média de transfert est bien composé de particules individuelles qui peuvent être déplacés sans collage entre elles et sans blocage mécanique, ce qui créerait un seul bloc impossible à déplacer. Il est aussi avantageux que les éléments constituant le média de transfert aient une résistance mécanique suffisante pour supporter le poids de l'empilage effectué, surtout en partie basse. Il est aussi préférable que la mise en mouvement éventuelle de ces éléments ne les brise ni ne les abrase trop vite, afin de ne pas devoir les remplacer trop souvent, suite à une usure inévitable.

[0088] Ainsi, le média de transfert échangeur de chaleur est composé de particules individuelles qui peuvent être des billes ou des éléments individuels de type anneau de Raschig, selle de Perl, ... qui sont placés en tas dans l'enceinte de combustion.

[0089] De façon avantageuse, les éléments sont de forme globalement sphérique. La forme sphérique facilite la circulation des éléments dans l'enceinte sans qu'un effet de blocage de particules entre elles ne puisse advenir.

[0090] D'autres formes sont évidemment aussi envisageables, du moment qu'elles respectent le cahier des charges décrit supra.

[0091] Ainsi, l'empilage du média de transfert est préférentiellement mécaniquement résistant, poreux pour la circulation du fluide, massif pour améliorer l'inertie thermique, disposant d'une grande surface développée pour garantir un échange thermique de grande puissance et d'une conductivité thermique permettant d'accélérer les transferts thermiques.

[0092] Selon une variante de l'invention représentée sur la figure 1 et permettant d'assurer une combustion avec une valorisation des fumées par le haut et selon un

mode contre-courant, le dispositif 1 comprend une enceinte 10 dans laquelle se trouvent deux zones d'action : une zone de combustion 11 et une zone de vaporisation 12.

5 **[0093]** La zone de combustion 11 est alimentée par le haut avec un mélange 21 d'entrants 22 et de média de transfert 23, préalablement mélangés avec un moyen de mélange 20. Ledit mélange 21 est introduit dans l'enceinte par une entrée 26 et distribué uniformément dans ladite
10 enceinte 10 à l'aide d'un moyen de distribution 25. De façon préférée, ce moyen de distribution 25 comprend une ou plusieurs vis d'Archimède placées de façon horizontale et dont la rotation permet la répartition du mélange 21 de façon homogène sur toute la section horizontale de l'enceinte 10. Le moyen de distribution 25
15 peut aussi comprendre un poussoir hydraulique ou mécanique, qui rend l'équipement plus compact mais qui présente cependant l'inconvénient d'un dosage moins précis.

20 **[0094]** Le mélange 21 s'entasse dans ladite enceinte 10 et s'écoule par gravité, assistée en cela par un moyen d'élévation 80, qui entretient la circulation du média de transfert 23 depuis une sortie 103 placée en bas de l'enceinte jusqu'à l'entrée 26.

25 **[0095]** De façon à assurer la combustion, un moyen d'alimentation en comburant 30 est placé au niveau de la zone de combustion 11. Ce moyen comprend notamment une ou plusieurs lignes d'alimentation 31, 32, 33 qui canalisent et distribuent le comburant de façon homogène sur toute la section horizontale de l'enceinte 10.
30 Avantageusement, chaque ligne d'alimentation 31, 32, 33 voit son débit de comburant régulé, par exemple, à l'aide de vanne de réglage de débit respectivement 34, 35, 36.

35 **[0096]** Pour certaines applications, notamment certains entrants ayant des taux d'azotes très élevés, parfois au-delà de 1% de la matière sèche, le nombre de lignes d'alimentation de comburant 31 32 33 pourra être augmenté de manière à mieux contrôler la courbe d'élévation en température des entrants, ce qui permet de limiter la production de NOx de combustibles.

40 **[0097]** Le comburant est typiquement de l'air extérieur 41 qui, dans le cas de cet exemple, est préalablement réchauffé à l'aide d'un moyen de réchauffage 40, qui utilise la chaleur issue du média recirculant 43 afin d'obtenir un comburant réchauffé 42 et un média refroidi 44. Le média refroidi 44 est ensuite utilisé par le moyen de mélange 20.

45 **[0098]** Afin de permettre le démarrage du dispositif 1, un moyen auxiliaire de combustion 60 ou brûleur est avantageusement mis en place dans la zone de combustion 11, comprenant, par exemple, une alimentation en fuel 104 et un moyen de mise à feu, non représenté.

[0099] Lors de cette combustion, des fumées sont générées et sont évacuées par le haut de l'enceinte par la sortie 102. Au cours de cette évacuation, les fumées traversent la zone de vaporisation 12 qui comprend un échangeur de chaleur étanche 123. Cet échangeur 123

est alimenté par un fluide à évaporer ou à surchauffer, typiquement de l'eau ou de la vapeur sous pression, depuis une entrée 121 jusqu'à une sortie 122. Ainsi, les fumées transmettent leur enthalpie à cet échangeur 123. Après leur sortie de l'enceinte 102, les fumées sont encore assez chaudes et cette énergie peut être récupérée par tout moyen de récupération de chaleur adapté aux fumées.

[0100] En bas de la zone de combustion 11, un retour de fumée venant de l'aval du procédé, peut être mis en place par l'entrée 101, selon un débit régulé de façon à apporter un gaz froid dans l'enceinte et ainsi réduire la puissance de la combustion en cours. Ce moyen de recirculation de fumée, en complément du moyen d'alimentation en air 30 participe donc à la régulation de la puissance de la combustion. Enfin, à l'issue de combustion en zone 11, le mélange 21 initial ne comprend plus que le média initial 23 et des cendres minérales apportées par les entrants, ainsi qu'éventuellement quelques imbrûlés. Ce mélange final 51 ainsi constitué est évacué en sortie 103, et subit avantageusement une séparation à l'aide d'un moyen de séparation 50, qui permet d'obtenir d'un côté les cendres minérales 53 et d'un autre côté le média de transfert 52.

[0101] Selon le mode de réalisation de l'invention représentée en figure 2 et permettant d'assurer une combustion avec un séchage préalable et selon un mode co-courant, une zone de séchage préalable 13 est implantée au-dessus de la zone de combustion 11. Cette zone de séchage préalable 13 est alimentée en mélange 21, comprenant des entrants 22 et des particules de média de transfert 23. Ces particules sont plus chaudes que les entrants, par exemple 200°C, de sorte que, durant le séjour du mélange 21 dans la zone de séchage 13, l'enthalpie du média de transfert 23 va être transmise aux éléments d'entrants afin de permettre la vaporisation de l'humidité contenue dans les entrants humides et le séchage, au moins partiel, desdits entrants.

[0102] Toutefois, au lieu d'être au-dessus de la zone de combustion, la zone de séchage peut aussi se situer en amont de la zone de combustion, notamment pour les unités de puissance élevée, un transfert du média caloporteur mobile étant alors requis.

[0103] Un moyen de collecte 70 et d'évacuation de la vapeur produite est implanté dans la zone de séchage 13.

[0104] Ensuite, le mélange est introduit dans la zone de combustion 11 qui fonctionne de la même façon que selon la figure 1, à la différence que les fumées produites sont évacuées par une sortie 102 présente en partie basse de l'enceinte 10, et le média de transfert 23 est évacué par une sortie 103, elle aussi placée en partie basse de l'enceinte, d'où le concept de co-courant.

[0105] Après la sortie 102, les fumées sont très chaudes et cette chaleur peut être valorisée par tout moyen évident à l'homme de l'art.

[0106] Après la sortie 103, le média est très chaud et cette chaleur peut être valorisée à l'aide d'un moyen d'échange de chaleur 40, éventuellement après ladite

étape de séparation 50.

[0107] En référence à la figure 3, on a représenté un mode de réalisation de l'invention permettant d'assurer une combustion selon un mode co-courant avec un séchage préalable et une vaporisation.

[0108] La disposition des différentes zones d'action est alors la suivante :

- une alimentation en mélange 20
- une zone de séchage 13
- une zone de combustion 30
- une zone de stabilisation 14
- une zone de vaporisation 15
- une zone de préchauffage d'air 16

[0109] L'intérêt du dispositif selon la figure 3 réside notamment dans la zone de stabilisation 14, qui a pour fonction de maintenir les fumées à une température de plus de 850°C pendant au moins 2 secondes. Ainsi, les dioxines qui se sont éventuellement formées durant la combustion sont détruites, le monoxyde de carbone résiduel est oxydé en dioxyde de carbone, les hydrocarbures polycycliques aromatiques sont dégradés et le carbone fixe est oxydé.

[0110] De plus, la zone de vaporisation 15 et la zone de préchauffage 16 comportent un échangeur de chaleur similaire à celui de la zone 12, permettant le chauffage, la vaporisation et/ou la surchauffe d'un fluide introduit par l'entrée 161 et évacué par la sortie 152.

[0111] Enfin, la séparation entre les zones 15 et 16 permet d'évacuer les fumées par la sortie 102 placée entre les deux zones, et d'alimenter la zone 16 en air comburant, depuis une entrée 41 vers une sortie 42, de sorte que le média chaud puisse réchauffer cet air avant son introduction en zone de combustion par le moyen d'alimentation 30.

[0112] L'enceinte 10 est préférentiellement d'une forme étirée et verticale, c'est-à-dire que parmi ses trois dimensions caractéristiques (hauteur, longueur, largeur), une des dimensions est grande par rapport aux autres, afin de favoriser la mise en place d'un cheminement des fluides depuis leur entrée jusqu'à leur sortie, de sorte que toutes les portions de fluide qui arrivent dans l'enceinte y séjournent pour une durée équivalente et circulent dans le média selon le même cheminement. Une forme d'enceinte plus compacte (les trois dimensions ayant à peu près la même valeur) serait moins performante car l'écoulement des fumées ne serait pas aussi homogène.

[0113] De façon avantageuse, l'enceinte 10 est calorifugée de façon à minimiser les fuites thermiques qui pourraient affecter la performance des échanges de chaleur.

[0114] Lorsque le média de transfert 23 est sorti de l'enceinte 10, il convient de le mouvoir depuis l'orifice de soutirage 103 vers l'orifice de réintroduction 26. A cette fin, lorsque le mouvement du média de transfert 23 est de haut en bas dans l'enceinte, un convoyage vertical

d'élévation est requis. Celui-ci pourra se faire par vis d'Archimède, tapis roulant, élévateur à godets, vérin ascenseur ou tout autre moyen mécanique permettant un convoyage vertical.

[0115] Selon un exemple, il est avantageux de disposer d'une zone spéciale de condensation des fumées, par refroidissement de celles-ci en dessous de leur point de rosée, qui se situe en général entre 38 et 65°C selon l'humidité des entrants. A titre d'exemple, la combustion de bois sec avec un excès d'air de 20% génère plus de 70 grammes de vapeur d'eau par Nm³ de fumée, ce qui représente près de 400 grammes de vapeur d'eau par kg de combustible, l'essentiel de la vapeur d'eau étant produite par la combustion elle-même. A cet effet, un dispositif de média de condensation peut être mis en place.

[0116] Un des avantages d'un tel dispositif est de pouvoir récupérer la chaleur latente, une énergie qui peut représenter jusqu'à 30% de l'énergie primaire, tout en optimisant la récupération d'une part significative de chaleur sensible.

[0117] Un autre avantage est que l'action de condensation, conjuguée au ralentissement permanent de la pluie formée par la condensation, permet de favoriser la captation de tous éléments contenus dans les fumées et hydrosolubles, ou bien présentant des propriétés hydrophiles. Cela concerne la plupart des poussières, le NH₃, les NO_x sous forme de NO₂, le HCL (acide chlorhydrique), le SO₂ (dioxyde de soufre).

[0118] Un autre avantage est que les condensats issus d'un cycle de Rankine équipé notamment d'une turbine à vapeur à condensation, peuvent être préchauffés par la chaleur latente récupérée, ainsi que tout ou partie de l'air de combustion, permettant ainsi de valoriser en énergie électrique une partie de la chaleur latente. Ce dernier avantage permet d'apporter une forte amélioration de rendement électrique par rapport aux technologies conventionnelles.

Revendications

1. Procédé de combustion de matière organique (22), comprenant une étape consistant à mélanger un média de transfert (23) composé de particules solides indépendantes, avec de la matière organique (22) et à faire circuler ledit mélange (21) dans une enceinte (10) et en ce que ledit mélange est soumis à une combustion à l'aide d'un comburant introduit à l'intérieur de ladite enceinte (10), **caractérisé en ce que** ledit mélange remplit la totalité de la section horizontale de l'enceinte sur tout ou partie de la hauteur de ladite enceinte.
2. Procédé de combustion selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** ledit mélange (21) circule verticalement de haut en bas sous l'effet de son propre poids.

3. Procédé de combustion selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit mélange (21) est soumis à des étapes de combustion successives dans des zones différentes de ladite enceinte (10).
4. Procédé de combustion selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les fumées de combustion produites sont en tout ou partie réinjectées à l'intérieur de ladite enceinte (10).
5. Procédé de combustion selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit média de transfert (23) traverse, à l'intérieur de ladite enceinte (10), plusieurs zones d'action de fluides successives (11, 12, 13, 14, 15, 16, 111, 112, 113).
6. Procédé de combustion selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend une étape supplémentaire consistant à séparer ledit média de transfert (23) de ladite matière minérale obtenue après combustion et **en ce que** ledit média de transfert ainsi obtenu est ensuite réutilisé dans un procédé selon l'une des revendications précédentes.
7. Dispositif (1) pour la combustion d'une matière organique (22) selon un procédé selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant une enceinte de combustion (10) comprenant une entrée (26) de ladite matière organique (22), au moins une entrée de comburant (34, 35, 36) reliée à une source de comburant, une sortie de matière minérale résiduelle (103) et une sortie de fumée de combustion (102), dans ledit dispositif, des particules solides indépendantes (23) formant un média de transfert mobile entassé sont placées dans ladite enceinte (10), ledit média de transfert remplit la totalité de la section horizontale de l'enceinte sur tout ou partie de la hauteur de ladite enceinte, une entrée de média de transfert (26) est placée à une extrémité de ladite enceinte (10) et une sortie de média de transfert (103) est placée à l'autre extrémité de ladite enceinte (10) et un moyen de transfert (80) du média de transfert est intercalé entre la sortie de média de transfert (103) et l'entrée de média de transfert (26) assurant la circulation en boucle du média de transfert (23).
8. Dispositif (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** ladite enceinte de combustion (10), comprend plusieurs entrées de comburant (34, 35, 36) étagées les unes par rapport aux autres, chacune reliée à une source de comburant commune ou séparée.
9. Dispositif (1) selon l'une des revendications 7 à 8, **caractérisé en ce qu'un** moyen de régulation du débit de comburant est associé à au moins une des

entrées de comburant (34, 35, 36).

10. Dispositif (1) selon l'une des revendications 7 à 9, **caractérisé en ce qu'il** comprend au moins un échangeur de chaleur étanche placé à l'intérieur de ladite enceinte, au contact dudit média de transfert (23), et raccordé à une entrée (161) et à une sortie (152) de fluide, assurant l'augmentation de l'enthalpie dudit fluide.

Patentansprüche

1. Verbrennungsverfahren für organisches Material (22), umfassend einen Schritt, der darin besteht, ein Übertragungsmedium (23), das sich aus unabhängigen festen Partikeln zusammensetzt, mit dem organischen Material (22) zu mischen und das Gemisch (21) in einer Kammer (10) zirkulieren zu lassen, und dadurch, dass das Gemisch einer Verbrennung mithilfe eines Sauerstoffträgers ausgesetzt wird, der ins Innere der Kammer (10) eingebracht wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gemisch die Gesamtheit des horizontalen Querschnitts der Kammer über die gesamte Höhe der Kammer oder einen Teil davon füllt.
2. Verbrennungsverfahren nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gemisch (21) unter der Wirkung seines Eigengewichts vertikal von oben nach unten zirkuliert.
3. Verbrennungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gemisch (21) aufeinanderfolgenden Verbrennungsschritten in den verschiedenen Zonen der Kammer (10) ausgesetzt wird.
4. Verbrennungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erzeugte Verbrennungsrauch vollkommen oder teilweise ins Innere der Kammer (10) zurückgeführt wird.
5. Verbrennungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Übertragungsmedium (23) im Inneren der Kammer (10) mehrere aufeinanderfolgende Fluid-Wirkungszonen (11, 12, 13, 14, 15, 16, 111, 112, 113) durchquert.
6. Verbrennungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen zusätzlichen Schritt umfasst, der darin besteht, das Übertragungsmedium (23) von dem nach der Verbrennung erhaltenen mineralischen Material zu trennen, und dadurch, dass das so erhaltene Übertragungsmedium danach in einem Verfahren

nach einem der vorstehenden Ansprüche wiederverwendet wird.

7. Vorrichtung (1) zur Verbrennung eines organischen Materials (22) gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, umfassend eine Verbrennungskammer (10), die einen Einlass (26) für das organische Material (22), mindestens einen Sauerstoffträgereinlass (34, 35, 36), der mit einer Sauerstoffträgerquelle verbunden ist, einen Auslass für restliches mineralisches Material (103) und einen Verbrennungsrauchauslass (102) umfasst, wobei in der Vorrichtung unabhängige feste Partikel (23), die ein angehäuftes bewegliches Übertragungsmedium bilden, in der Kammer (10) platziert sind, wobei das Übertragungsmedium die Gesamtheit des horizontalen Querschnitts der Kammer über die gesamte Höhe der Kammer oder einen Teil davon füllt, ein Übertragungsmedieneinlass (26) an einem Ende der Kammer (10) platziert ist und ein Übertragungsmedienauslass (103) am anderen Ende der Kammer (10) platziert ist, und ein Übertragungsmittel (80) des Übertragungsmediums zwischen dem Übertragungsmedienauslass (103) und dem Übertragungsmedieneinlass (26) eingesetzt ist, das für die Zirkulation des Übertragungsmediums (23) in einer Schleife sorgt.
8. Vorrichtung (1) nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbrennungskammer (10) mehrere, zueinander abgestufte Sauerstoffträgereinlässe (34, 35, 36) umfasst, von denen jeder mit einer gemeinsamen oder getrennten Sauerstoffträgerquelle verbunden ist.
9. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Durchsatzregulierungsmittel für Sauerstoffträger mindestens einem der Sauerstoffträgereinlässe (34, 35, 36) zugewiesen ist.
10. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie mindestens einen dichten Wärmetauscher umfasst, der im Inneren der Kammer in Kontakt mit dem Übertragungsmedium (23) platziert, und mit einem Einlass (161) und einem Auslass (152) für Fluid verbunden ist, wodurch für die Erhöhung des Wärmeinhalts des Fluides gesorgt wird.

Claims

1. Method for the combustion of organic matter (22), comprising a step of mixing a transfer medium (23) made up of independent solid particles, with organic matter (22) and circulating said mixture (21) in an

- enclosure (10) and in that said mixture undergoes combustion with the aid of an oxidant introduced into said enclosure (10), **characterised in that** said mixture fills the entire horizontal section of the enclosure along all or part of the height of said enclosure. 5
2. Combustion method according to the preceding claim, **characterised in that** said mixture (21) circulates vertically from top to bottom under the effect of its own weight. 10
3. Combustion method according to one of the preceding claims, **characterised in that** said mixture (21) undergoes successive combustion steps in different zones of said enclosure (10). 15
4. Combustion method according to one of the preceding claims, **characterised in that** the combustion fumes produced are entirely or partly reinjected inside said enclosure (10). 20
5. Combustion method according to one of the preceding claims, **characterised in that** said transfer medium (23) traverses, inside said enclosure (10), several successive fluid action zones (11, 12, 13, 14, 15, 16, 111, 112, 113). 25
6. Combustion method according to one of the preceding claims, **characterised in that** it comprises an additional step of separating said transfer medium (23) from said mineral matter obtained after combustion and **in that** said transfer medium obtained is subsequently reused in a method according to one of the preceding claims. 30
7. Device (1) for the combustion of organic matter (22) according to a method according to one of claims 1 to 6, comprising a combustion enclosure (10) comprising an inlet (26) of said organic matter (22), at least one oxidant inlet (34, 35, 36) connected to an oxidant source, a residual mineral matter outlet (103) and a combustion fume outlet (102), in said device, independent solid particles (23) forming a piled movable transfer medium are placed in said enclosure (10), said transfer medium fills the entire horizontal section of the enclosure along all or part of the height of said enclosure, a transfer medium inlet (26) is placed at one end of said enclosure (10) and a transfer medium outlet (103) is placed at the other end of said enclosure (10) and a transfer medium transfer means (80) is inserted between the transfer medium outlet (103) and the transfer medium inlet (26) circulating the transfer medium (23) in a loop. 35 40 45 50
8. Device (1) according to the preceding claim, **characterised in that** said combustion enclosure (10), comprises several oxidant inlets (34, 35, 36) staged in relation to one another, each connected to a common or separate oxidant source. 55
9. Device (1) according to one of claims 7 to 8, **characterised in that** a means for regulating the oxidant flow rate is associated with at least one of the oxidant inlets (34, 35, 36).
10. Device (1) according to one of claims 7 to 9, **characterised in that** it comprises at least one impervious heat exchanger placed inside said enclosure, in contact with said transfer medium (23), and connected to a fluid (161) and outlet (152), increasing the enthalpy of said fluid.

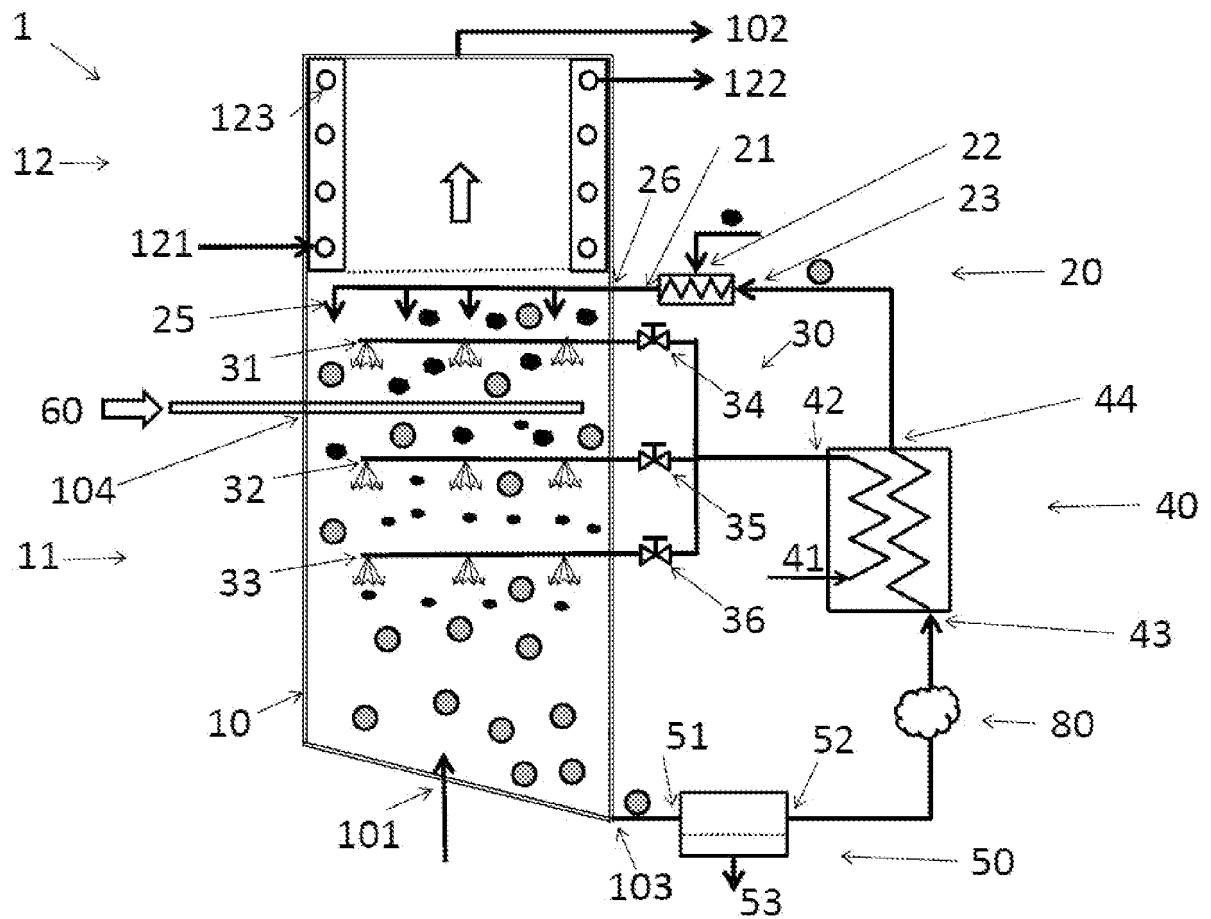


Fig.1

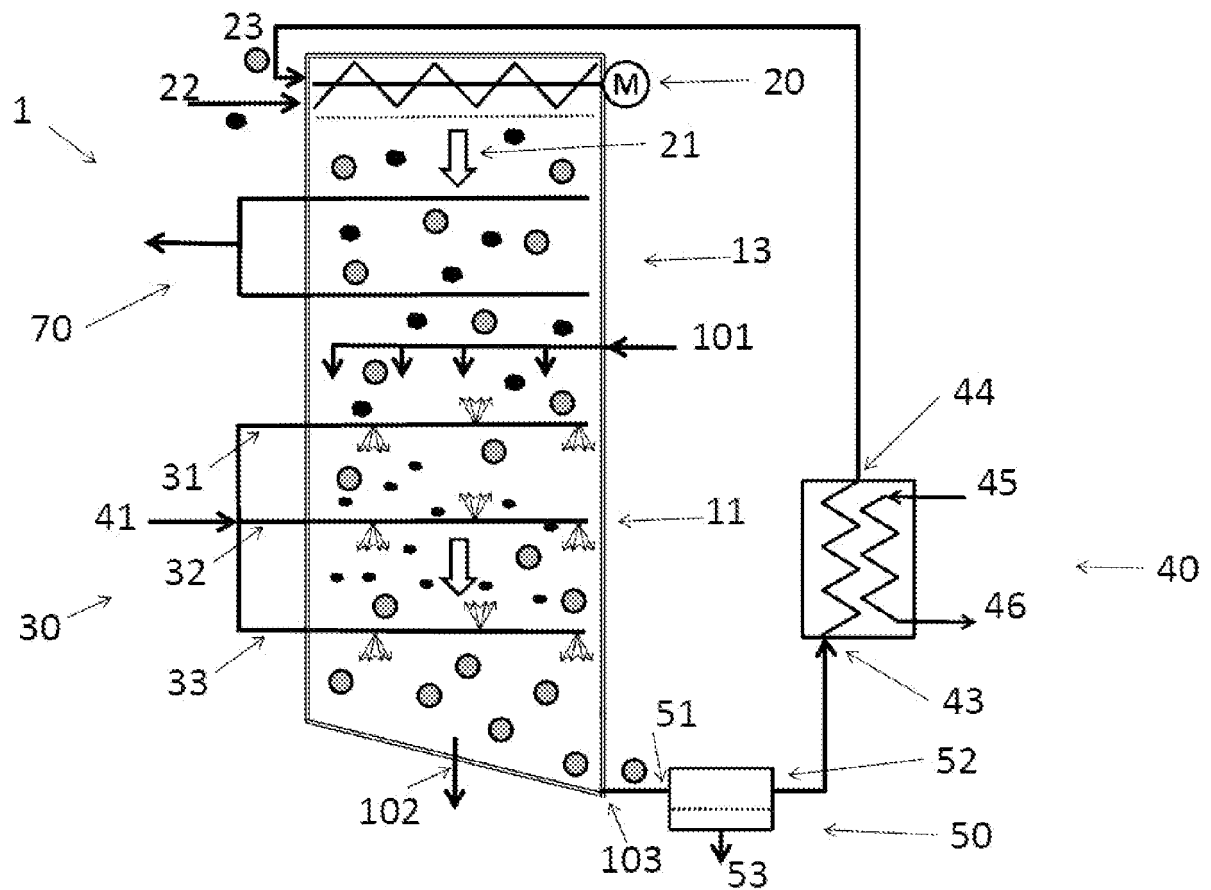


Fig. 2

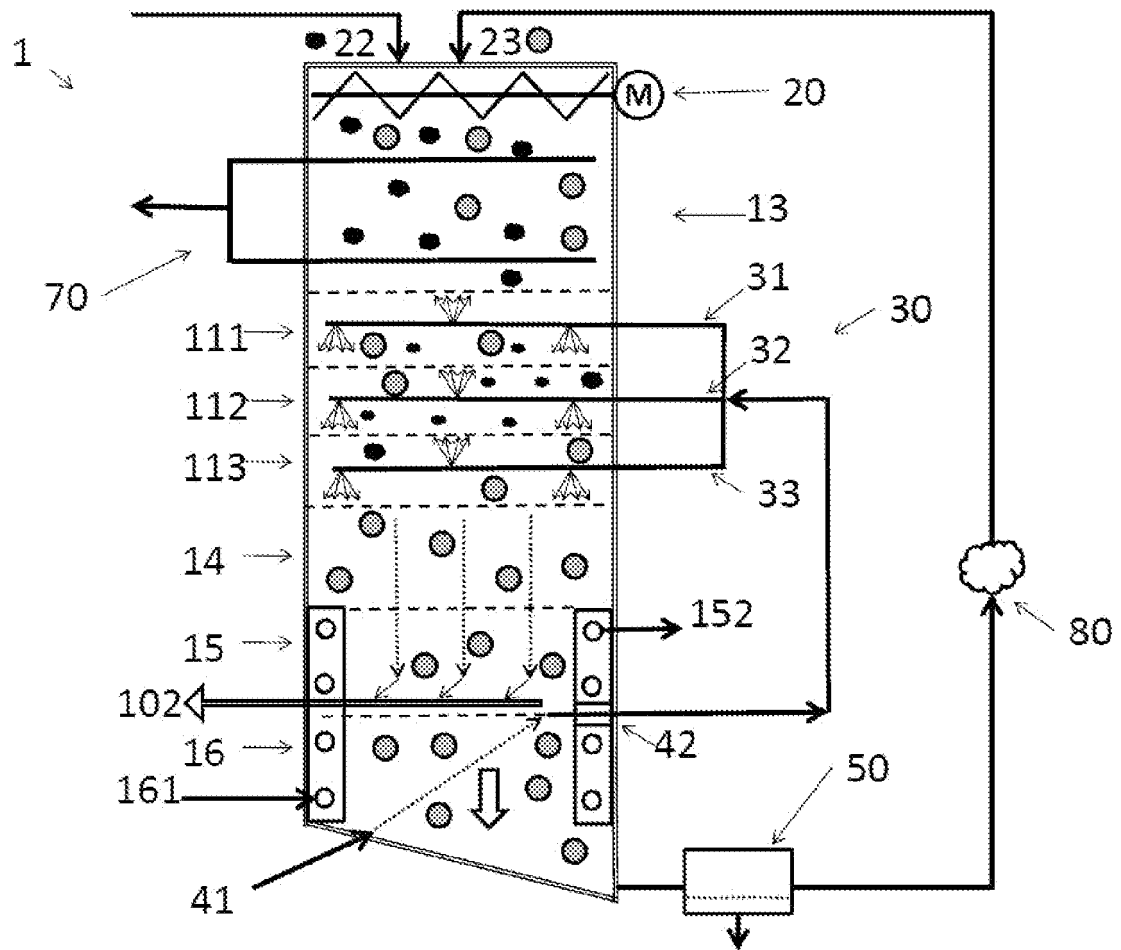


Fig. 3

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 0381195 A [0010]