



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
25.07.2012 Bulletin 2012/30

(51) Int Cl.:
F23G 5/32 (2006.01) F23G 5/40 (2006.01)
F23G 5/46 (2006.01) F23G 5/50 (2006.01)
F23J 15/02 (2006.01) F23J 15/04 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **12152189.2**

(22) Date de dépôt: **23.01.2012**

(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
Etats d'extension désignés:
BA ME

(72) Inventeurs:
• **Martin, Gérard**
69230 SAINT GENIS LAVAL (FR)
• **Adam, Bruno**
69310 PIERRE BENITE (FR)

(30) Priorité: **21.01.2011 FR 1150497**

(74) Mandataire: **Myon, Gérard Jean-Pierre et al**
Cabinet Lavoix
62, rue de Bonnel
69003 Lyon (FR)

(71) Demandeur: **Exploitation Energetique de Sous Produits Industriels et Agricoles - Exedia**
69540 Irigny (FR)

(54) **Dispositif de combustion, unité d'incinération comprenant un tel dispositif de combustion, et procédé de mise en oeuvre d'un tel dispositif de combustion**

(57) L'invention concerne un dispositif de combustion (10), comprenant une chambre de combustion (11) avec une paroi cylindrique (12) qui s'étend selon un axe central vertical (X10), une partie inférieure (14) et une partie supérieure (15), une zone de combustion primaire (18) qui est située dans la partie inférieure (14) de la chambre (11) et qui présente un profil sensiblement annulaire centré sur l'axe (X10), un système (20) d'alimentation en combustible (101) qui est apte à introduire une quantité maîtrisée de combustible (101) dans la chambre (11), un système (50) d'alimentation en air primaire qui est apte à introduire de l'air dans la zone de combustion

primaire (18) et créer un écoulement tourbillonnaire (P1, P2, P3) de particules (102, 103) dans la chambre (11), et un système (160, 180) d'évacuation des cendres (C1) issues de la combustion qui est situé sous la chambre (11). Ce dispositif est caractérisé en ce qu'un cyclone dépoussiérant (120) est agencé au centre de la chambre de combustion (11), ce cyclone étant configuré pour recevoir des produits de combustion chargés en particules (103) depuis la chambre (11) par au moins une ouverture d'entrée (126) et dépoussiérer ces produits de combustion en séparant par action centrifuge (P4) les cendres (C2) des fumées (F1).

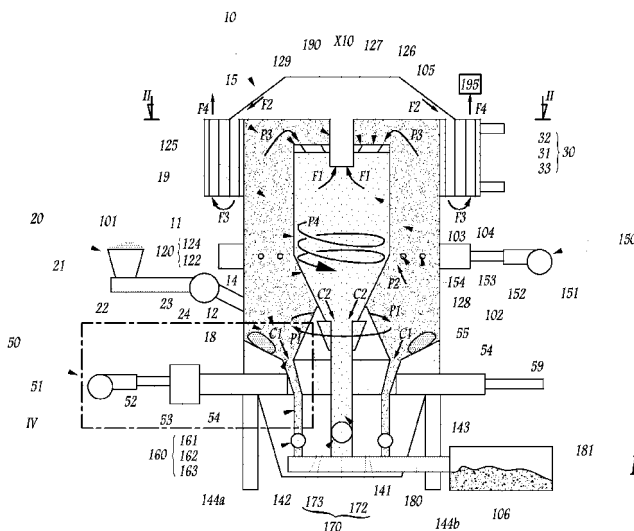


Fig. 1

Description

[0001] La présente invention concerne un dispositif de combustion. L'invention concerne également une unité d'incinération comprenant un tel dispositif de combustion. Enfin, l'invention concerne un procédé de mise en oeuvre d'un tel dispositif de combustion. Le domaine de l'invention est celui des équipements de valorisation énergétique des déchets par combustion.

[0002] Les activités industrielles et agricoles génèrent des quantités importantes de déchets. A titre indicatif, cela représente chaque année en France plusieurs dizaines de millions de tonnes. Toutefois, pour des raisons techniques ou légales, certains types de déchets ne peuvent être recyclés sous forme de matières premières secondaires qu'en partie, voire ne peuvent pas être recyclés. De ce fait, le traitement et/ou la valorisation thermique sont souvent préférables en permettant, d'une part, de récupérer tout ou partie du contenu énergétique des déchets et, d'autre part, de réduire leur volume.

[0003] En pratique, l'incinération des déchets dans des installations de capacité importante permet de réaliser des économies d'échelle et offre des taux élevés de récupération d'énergie. Cependant, la construction d'unités d'incinération de taille importante est mal acceptée par les populations environnantes, ce qui conduit à la saturation des unités existantes et freine la construction de nouvelles unités. De plus, le transport des déchets, parfois sur de longues distances, pour approvisionner les unités d'incinération, génère des nuisances pour l'environnement (bruit, consommation importante de carburants, trafic routier). Enfin, il est difficile de valoriser l'énergie thermique produite en grande quantité lorsque les besoins locaux ne sont pas adaptés.

[0004] Ainsi, il existe un besoin important en unités d'incinération de taille réduite, installées directement à proximité de la source de déchets, comme une petite entreprise industrielle, une collectivité ou un élevage, qui sont alors plus autonomes quant à l'élimination de leurs déchets. En pratique, la gamme de puissances visée comprend les installations ayant des débits de déchets compris entre quelques dizaines et quelques centaines de kg/h, sur la base d'un fonctionnement compris entre 5000 et 8000 h/an.

[0005] Le document EP-A-1 143 195 décrit un dispositif de combustion, comprenant une chambre de combustion avec une première ouverture prévue dans sa partie supérieure pour l'évacuation des produits chauds de combustion. Le dispositif comprend également un système d'admission de combustible, un premier système d'admission de gaz comburant pour créer un premier écoulement tourbillonnaire, et une seconde ouverture située dans le fond de la chambre pour l'évacuation en continu de particules denses, également appelées cendres sous foyer. Un déflecteur et un second système d'admission de gaz comburant sont prévus afin de former un second écoulement tourbillonnaire à l'intérieur du premier, coopérant pour confiner le combustible vers le haut

en direction de la première ouverture, tout en permettant aux particules denses de sortir en continu par la seconde ouverture. Ainsi la combustion est suffisamment longue pour être complète et ne pas être gênée par l'agglomération de matières solides dans la chambre. Toutefois, l'essentiel des matières inorganiques présentes dans le combustible quitte la chambre sous forme de cendres volantes entraînées par les fumées, ce qui génère d'importantes émissions de polluants et nécessite un traitement complémentaire coûteux.

[0006] Le document FR-A-2 686 682 décrit un générateur de chaleur destiné à brûler des combustibles solides. Le générateur comprend une chambre de combustion de profil cyclonique. L'alimentation de la chambre en combustible est effectuée par transport pneumatique avec l'air de combustion. Les cendres s'écoulent sous forme fondue vers une cavité remplie d'eau.

[0007] Le document WO-A-01/58244 décrit un dispositif de combustion, comprenant une chambre de combustion dans laquelle un flux d'air est injecté afin de créer un écoulement tourbillonnaire. Ce dispositif vise notamment la combustion de litières de volailles. Toutefois, des cendres volantes contenant des particules polluantes sont entraînées par les fumées hors de la chambre. Un dispositif cyclonique est prévu en aval de la chambre, afin de séparer les poussières des fumées par centrifugation. Cependant, la présence du dispositif cyclonique en aval de la chambre engendre un coût et un encombrement supplémentaires.

[0008] Le document DE-A-10 2006 021 624 concerne un appareil pour la production de gaz chauds sous pression. Cet appareil met en oeuvre un procédé de gazéification, avec conversion de biomasse en gaz combustible faiblement chargé en particules, et non un procédé de combustion de déchets. L'appareil comprend une cuve, un système d'alimentation en biomasse située en partie supérieure de la cuve, et une zone de gazéification située en partie inférieure de la cuve. L'appareil comprend également une chambre cyclonique de combustion du gaz combustible, munie d'un échangeur de chaleur, d'un deuxième cyclone, ainsi que d'une conduite d'introduction d'air par le haut du deuxième cyclone. En pratique, la biomasse est introduite par le haut de la cuve, puis est gazéifiée dans la zone de gazéification, à l'extérieur de la chambre de combustion. Ensuite le gaz combustible remonte dans la chambre cyclonique de combustion, où il est brûlé. Les fumées ainsi obtenues passent dans le deuxième cyclone, puis sont évacuées en bas de la cuve en direction d'une turbine de détente. Cette turbine est montée sur le même arbre qu'un compresseur et un générateur. Au sein de l'appareil, les systèmes de collecte des cendres se rejoignent dans une même cavité, en partie basse de la cuve. Cette construction ne permet pas d'obtenir un équilibre satisfaisant des pressions entre la cuve, la chambre de combustion cyclonique et le deuxième cyclone, de sorte que le fonctionnement de l'appareil est imparfait, voire impossible. Dans tous les cas, cet appareil de production de gaz chaud sous pres-

sion n'est pas adapté au traitement des déchets.

[0009] Ainsi, les différents dispositifs de combustion existants ne sont pas satisfaisants. Dans certains cas, la combustion des déchets n'est pas optimale et les émissions de certains polluants peuvent dépasser les valeurs réglementaires. Par ailleurs, l'équipement nécessaire est généralement coûteux et encombrant.

[0010] Le but de la présente invention est de proposer un dispositif de combustion permettant d'éliminer les cendres et de réduire les émissions de polluants, sans nécessiter d'équipement coûteux et encombrant.

[0011] A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de combustion, comprenant une chambre de combustion avec une paroi cylindrique qui s'étend selon un axe central vertical, une partie inférieure et une partie supérieure, une zone de combustion primaire qui est située dans la partie inférieure de la chambre et qui présente un profil sensiblement annulaire centré sur l'axe, un système d'alimentation en combustible qui est apte à introduire une quantité maîtrisée de combustible dans la chambre, un système d'alimentation en air primaire qui est apte à introduire de l'air dans la zone de combustion primaire et créer un écoulement tourbillonnaire de particules dans la chambre, et un système d'évacuation des cendres issues de la combustion qui est situé sous la chambre. Ce dispositif est caractérisé en ce qu'un cyclone dépoussiérant est agencé au centre de la chambre de combustion, ce cyclone étant configuré pour recevoir des produits de combustion chargés en particules depuis la chambre par au moins une ouverture d'entrée et dépoussiérer ces produits de combustion en séparant par action centrifuge les cendres des fumées.

[0012] Ainsi, l'invention permet d'obtenir un dispositif de combustion efficace, compact, économique et peu polluant. Ce dispositif est bien adapté à la combustion des déchets, notamment solides. Le positionnement du cyclone dans la partie centrale du foyer permet, d'une part, de minimiser les pertes thermiques en évitant la création de surfaces extérieures supplémentaires par lesquelles ces pertes peuvent se produire et, d'autre part, de limiter l'encombrement total de l'installation qui serait accru si le cyclone était placé à l'extérieur du foyer. Ce dispositif constitue un « mini-incinérateur » qui présente des performances améliorées, bien adaptées pour un débit de charge combustible compris entre 50 et 300 kg/h et en particulier pour la valorisation des déchets issus de l'élevage, comme des litières de volailles, la fraction solide des lisiers de porc, les fumiers de cheval, etc. En agissant sur la formation et l'élimination des produits de combustion dans le foyer, les émissions de polluants, tels que les poussières, NO_x, HCl, SO₂, SO₃, dioxines et furanes, sont bien maîtrisées. De ce fait, le dispositif selon l'invention est particulièrement respectueux des contraintes réglementaires.

[0013] Selon d'autres caractéristiques avantageuses de l'invention, prises isolément ou en combinaison :

- Le cyclone présente une symétrie axiale par rapport

à l'axe central de la chambre, avec une partie inférieure conique qui s'étend en direction de la partie inférieure de la chambre et qui est munie à son extrémité inférieure d'un système d'extraction des cendres, et une partie supérieure cylindrique qui s'étend en direction de la partie supérieure de la chambre, du côté de laquelle sont disposées la ou les ouvertures d'entrée pour les produits de combustion chargés en particules, et qui comporte une cheminée d'extraction des fumées dépoussiérées à son extrémité supérieure.

- L'extrémité supérieure du cyclone présente un profil annulaire sensiblement horizontal et supporte une cheminée d'extraction des fumées dépoussiérées, et la ou les ouvertures d'entrée sont réparties annulairement sur cette extrémité supérieure et présentent une symétrie axiale par rapport à l'axe central de la chambre.
- La ou les ouvertures d'entrée comportent des aubages qui présentent une forme et/ou un agencement configurés pour accentuer, dans le cyclone, le mouvement de rotation centrifuge des produits de combustion par rapport à l'axe central qui a été initié dans la chambre de combustion.
- La ou les ouvertures d'entrée sont des lucarnes régulièrement agencées sur une surface périphérique du cyclone, en particulier à la périphérie de la partie cylindrique.
- Le dispositif de combustion comprend également un système d'alimentation en air secondaire qui est apte à introduire de l'air dans un tiers médian de la chambre, selon une répartition sensiblement annulaire centrée sur l'axe central.
- Le cyclone comprend un système casse-vortex qui est agencé à l'extrémité inférieure de la partie conique et qui est apte à stabiliser un vortex formé dans le cyclone et éviter des réentrainements de particules préalablement séparées des fumées.
- Le système d'alimentation en air primaire comprend une grille annulaire agencée dans la partie inférieure de la chambre de combustion, inclinée vers l'axe central vertical et de préférence munie d'éléments fixes, par exemple des aubages, adaptés pour transmettre une composante rotationnelle à l'écoulement d'air primaire dans la chambre de combustion.
- Le système d'alimentation en air primaire comprend des injecteurs discrets répartis suivant un plan sensiblement horizontal dans la partie inférieure de la chambre de combustion, en étant inclinés par rapport au plan sensiblement horizontal de manière à créer un écoulement de gaz hélicoïdal avec une composante verticale ascendante dans la chambre de combustion.
- Le système d'alimentation en air primaire comprend deux distributeurs d'air annulaires superposés dans la partie inférieure de la chambre de combustion, le distributeur inférieur comportant une paroi verticale interne munie d'ouvertures qui débouchent dans un

espace annulaire relié à la chambre de combustion et sont équipées d'aubages formant un angle avec la paroi verticale interne, le distributeur supérieur comportant un élément poreux qui est disposé au niveau de la zone de combustion primaire et est de préférence incliné en direction de l'espace annulaire et de l'axe central vertical.

- Le cyclone est muni, à son extrémité inférieure, d'un système d'extraction de cendres qui est raccordé au système d'évacuation des cendres selon une voie d'extraction distincte de celle provenant de la chambre de combustion.
- Le dispositif comprend des moyens de traitement continu des espèces polluantes présentes dans les fumées en sortie du dispositif.

[0014] L'invention a également pour objet une unité d'incinération comprenant un dispositif de combustion tel que mentionné ci-dessus. L'unité d'incinération comprend en outre un échangeur de chaleur qui est relié à un hydro-accumulateur, et de préférence des moyens d'injection d'au moins un composant réactif dans les fumées issues du dispositif de combustion pour l'abattement des polluants issus de la combustion.

[0015] Avec une telle unité d'incinération, les producteurs de déchets peuvent les éliminer à la source et deviennent plus autonomes. De plus, l'énergie obtenue est facilement valorisée sous forme d'eau chaude, ou plus généralement d'un fluide chaud, grâce à l'échangeur de chaleur. Les coûts relatifs à l'enlèvement et au traitement des déchets, ainsi que l'achat de combustibles fossiles pour le chauffage, sont réduits.

[0016] L'invention a également pour objet un procédé de mise en oeuvre d'un dispositif de combustion tel que mentionné ci-dessus. Le procédé comprend au moins les étapes suivantes :

- a) préchauffage de la chambre de combustion, notamment à l'aide d'une source de chaleur auxiliaire telle qu'un brûleur à gaz ou un générateur électrique d'air chaud,
- b) création d'un écoulement tourbillonnaire de gaz comburant dans la chambre de combustion, notamment par injection d'air primaire, de fumées recyclées et d'air secondaire,
- c) introduction de combustible dans la chambre de combustion,
- d) combustion du combustible entraîné en rotation dans la zone de combustion primaire sous forme d'un lit toroïdal,
- e) combustion des matières volatiles combustibles libérées au dessus du lit toroïdal ;
- f) séparation des particules par élutriation dans la zone de combustion primaire, notamment pour éliminer de la chambre les particules non combustibles et non entraînaibles par les produits de combustion,
- g) entrée des produits de combustion chargés en particules dans le cyclone par la ou les ouvertures

d'entrée,

h) dépoussiérage des produits de combustion dans le cyclone par centrifugation, et séparation des cendres et des fumées,

- 5 i) extraction des cendres issues du cyclone, et
- j) évacuation des fumées dépoussiérées pour un traitement complémentaire de dépoussiérage et d'abattement des polluants et/ou pour rejet dans l'atmosphère, selon les exigences réglementaires locales.

[0017] Avantageusement, la température de combustion est supérieure à 850 °C et inférieure à 1200 °C en tout point de la chambre de combustion et du cyclone.

[0018] En pratique, les différentes étapes du procédé selon l'invention peuvent être réalisées simultanément ou successivement.

[0019] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux dessins sur lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique en coupe partielle d'un dispositif de combustion conforme à l'invention ;
- la figure 2 est une coupe transversale selon la ligne II-II du dispositif de la figure 1 ;
- la figure 3 est une coupe à plus grande échelle selon la ligne III-III à la figure 2 ;
- la figure 4 est une vue à plus grande échelle correspondant au détail IV à la figure 1, d'un deuxième mode de réalisation d'un dispositif de combustion conforme à l'invention ;
- la figure 5 est une représentation schématique d'une unité d'incinération conforme à l'invention, comprenant le dispositif de combustion des figures 1 à 3 ; et
- la figure 6 est un schéma de principe illustrant un procédé de mise en oeuvre d'un dispositif de combustion conforme à l'invention.

[0020] Sur les figures 1 à 3 est représenté un dispositif de combustion 10 conforme à l'invention. Ce dispositif 10 comprend une chambre de combustion 11, délimitée par une paroi cylindrique verticale 12, qui s'étend parallèlement à un axe central longitudinal X10, une partie inférieure 14 et une partie supérieure 15.

[0021] En pratique, la chambre 11 forme une enceinte avec une zone de combustion primaire 18 délimitée dans sa partie inférieure 14, ainsi qu'une zone de combustion secondaire 19 plus rapprochée de sa partie supérieure 15. La chambre 11 est adaptée, d'une part, pour recevoir une quantité maîtrisée de matière combustible 101 en entrée et, d'autre part, pour l'évacuation de produits de combustion sous forme de fumées 105 et de cendres 106 en sortie.

[0022] Comme montré à la figure 1, la partie inférieure 14 comporte un socle 141 en appui sur une base 143 et des pieds 144a et 144b. La base 143 est pourvue de

systèmes 160 et 170 d'extraction des cendres, qui seront détaillés ci-après.

[0023] En variante non représentée, la base 143 peut être configurée de manière différente. Par exemple, le dispositif 10 peut reposer sur une base 143 sans pieds.

[0024] La surface intérieure de la paroi 12 est au moins partiellement revêtue d'un matériau réfractaire isolant, prévu pour limiter les échanges de chaleur avec l'extérieur de la chambre 11 et/ou avec un échangeur de chaleur 30 enveloppant tout ou partie de la chambre 11, afin de conserver des températures élevées dans cette chambre 11 et ainsi assurer une combustion complète des matières combustibles, aussi bien gazeuses (matières volatiles) que solides (fraction carbonée libérée lors de la dévolatilisation du combustible).

[0025] L'échangeur de chaleur 30 comprend une calandre 31 positionnée concentriquement à la chambre 11, afin de réduire les pertes thermiques au niveau de la paroi 12. Cette calandre 31 est alimentée en eau ou en fluide thermique par au moins une ligne d'entrée 32. Au moins une ligne de sortie 33 renvoie l'eau ou le fluide thermique réchauffé vers son lieu d'utilisation. Cette ligne de sortie 33 est positionnée par rapport à la ligne d'entrée 32 de telle sorte que l'ensemble de la calandre 31 soit complètement balayée par l'eau ou le fluide thermique à réchauffer, et ainsi éviter les zones de fluide stagnant qui risquent de créer des vaporisations locales destructrices. La calandre 31 est traversée par des tubes de fumées 39, dont la fonction sera détaillée plus loin. L'échangeur 30 est schématisé et n'est que partiellement représenté sur les figures 1 et 2.

[0026] Un système d'alimentation 20 de la chambre de combustion 11 en combustible 101 est connecté au dispositif 10. Le système 20 comprend au moins une trémie de stockage 21 dans laquelle le combustible 101 est introduit. Chaque trémie 21 est équipée d'un mécanisme de dosage 22 permettant de réguler le débit de combustible 101, ainsi que d'un conduit de déversement 24 qui pénètre à l'intérieur de la chambre 11 pour introduire par gravité le combustible 101 dans la zone de combustion primaire 18. Un organe d'étanchéité 23 réalise l'étanchéité entre la chambre de combustion 11 d'une part, et la trémie 21 d'autre part. Autrement dit, le système 20 est configuré pour introduire en continu une quantité maîtrisée de combustible 101 dans la chambre 11.

[0027] D'autres agencements du système d'alimentation 20 sont possibles. Par exemple, en variante non représentée, un broyeur peut être mis en place en ligne en amont de la trémie 21.

[0028] Selon une autre variante non représentée, le combustible 101 peut être repris en sortie du mécanisme de dosage 22 par un courant de gaz tel que de l'air, de l'air secondaire, de l'azote, des fumées recyclées, et introduit pneumatiquement dans la chambre de combustion 11.

[0029] Selon une autre variante non représentée, le système 20 peut comprendre une bande transporteuse alimentant la chambre 11 à partir d'une fosse de récep-

tion du combustible 101. Cette bande transporteuse est associée à un ou plusieurs systèmes à poussoirs, qui assurent à la fois le dosage du combustible 101 et l'étanchéité de la chambre de combustion 11 par rapport à l'extérieur.

[0030] Selon une autre variante non représentée, le système 20 peut être configuré pour introduire de manière séquentielle le combustible 101 dans la chambre 11.

[0031] Egalement, un système d'alimentation en air primaire 50 est relié au dispositif 10. Le système 50 comprend un ventilateur 51 ou plus généralement une source sous pression de gaz comburant, une gaine de liaison 52, un appareil de préchauffage 53 du gaz comburant, une boîte à vent 54 et un ou plusieurs distributeurs 55 d'air primaire. Plus précisément, la boîte à vent 54 est agencée dans la partie inférieure 14 de la chambre 11, et le ou les distributeurs d'air primaire 55 sont montés sur la boîte à vent 54, dans la chambre 11. De préférence, le distributeur 55 peut se présenter sous la forme d'une grille annulaire inclinée vers l'axe central X10 et s'étend autour du socle 141. Le distributeur 55 peut aussi être muni d'éléments fixes, comme par exemple des aubages, qui sont adaptés pour transmettre une composante rotationnelle à l'écoulement d'air.

[0032] En variante non représentée, le distributeur 55 peut présenter une configuration différente. Par exemple, le distributeur 55 peut se présenter sous la forme d'injecteurs discrets, répartis suivant un plan sensiblement horizontal, à la périphérie de l'espace annulaire créé entre le socle 141 d'une part, et la boîte à vent 54 d'autre part. Les injecteurs discrets sont inclinés par rapport au plan horizontal et orientés sensiblement tangentiellement par rapport à l'espace annulaire, pour y créer un écoulement de gaz hélicoïdal avec une composante verticale ascendante.

[0033] Une configuration particulière du distributeur 55 est décrite ci-après en lien avec la figure 4, montrant une variante de réalisation du dispositif 10.

[0034] L'appareil de préchauffage 53 fonctionne au gaz, au fuel ou à l'électricité et permet le démarrage du feu dans la zone de combustion primaire 18. Plus généralement, le préchauffage de la chambre de combustion 11 peut être effectué à l'aide d'une source de chaleur auxiliaire telle qu'un brûleur à gaz, un brûleur à fuel ou un générateur électrique d'air chaud.

[0035] En variante non représentée, l'appareil 53 peut être positionné en un emplacement différent du dispositif 10, par exemple directement dans la zone 18, de préférence dans une configuration rétractable pour préserver l'appareil 53, une fois l'allumage et le préchauffage du foyer réalisé dans la zone de combustion primaire 18.

[0036] Comme montré à la figure 1, la zone de combustion primaire 18 s'étend selon un profil sensiblement annulaire centré sur l'axe X10 dans la chambre 11, au dessus du distributeur 55. L'écoulement tourbillonnaire de gaz et de particules dans la chambre 11 est représenté par les flèches P1, P2 et P3 sur les figures 1 à 3. Le terme

« particules » désigne conjointement la matière combustible solide, les éventuels additifs solides ajoutés à cette matière combustible pour abattre les polluants atmosphériques (calcaire ou chaux par exemple), les cendres issues de la combustion, ainsi que les produits solides résultant du traitement des polluants atmosphériques.

[0037] En pratique, le combustible 101 déversé dans la zone de combustion primaire 18 est pris dans l'écoulement tourbillonnaire P1, et les particules solides sont fluidisées sans être entraînées instantanément. Plus précisément, le mouvement des particules P1 dans la zone 18 prend la forme d'un lit toroïdal 102 qui présente une épaisseur de quelques centimètres, tandis que des particules 103 plus légères, telles que les cendres volantes, sont entraînées dans l'écoulement P2 et se retrouvent en suspension dans la chambre 11. En outre, les particules 103 s'élèvent dans la partie supérieure 15 de la chambre 11, sous la forme d'un écoulement de particules P3. Autrement dit, les particules 103 sont mises en mouvement par un flux de gaz vertical ascendant P2 et P3, après avoir été mises en rotation suivant un flux P1 par le système d'aubages ou les injections inclinées du distributeur 55. Comme le combustible 101 est bien réparti dans la zone 18 et la chambre 11, au lieu de former un amas compact et aléatoire, la combustion est améliorée, grâce à une grande homogénéité de température du milieu réactionnel et à un très bon contact entre la phase combustible et la phase comburant.

[0038] Par ailleurs, un stabilisateur tronconique 142 est placé au centre de la chambre de combustion 11, dans la partie inférieure 14, en appui sur le socle 141. Autrement dit, la partie inférieure 14 de la chambre de combustion 11 est délimitée par la paroi 12, le distributeur d'air primaire 55 et le stabilisateur 142. La fonction principale du stabilisateur 142 est, comme son nom l'indique, de stabiliser les flux d'écoulement P1, P2, P3 à l'intérieur de la chambre de combustion 11, ce qui permet notamment d'obtenir un écoulement P2 hélicoïdal ascendant qui est stable dans l'espace de cette chambre 11.

[0039] Egalement, un système d'alimentation en air secondaire 150 est relié au dispositif 10. Le système 150 comprend un ventilateur 151 ou plus généralement une source sous pression de gaz comburant, une gaine de liaison 152 et un distributeur d'air secondaire 153 qui est raccordé à un ou plusieurs orifices 154 agencés dans la paroi 12. Les orifices 154 sont positionnés de telle sorte que l'air secondaire imprime un mouvement rotationnel aux particules P2 en provenance de la partie inférieure 14 de la chambre de combustion 11. De préférence, le système 150 est apte à introduire de l'air dans un tiers médian de la chambre 11, selon une répartition sensiblement annulaire centrée sur l'axe central X10.

[0040] La présence du système 150 pour l'alimentation en air secondaire est optionnelle, mais préférable, car elle permet, d'une part, d'éviter d'avoir des températures trop élevées au niveau du distributeur d'air primaire et, d'autre part, de limiter la formation d'oxydes d'azote lorsque des combustibles azotés sont brûlés dans la

chambre 11, grâce à des conditions réductrices dans l'espace compris entre l'injection d'air primaire et l'injection d'air secondaire, c'est-à-dire sensiblement entre le distributeur 55 et les orifices 154 suivant l'axe X10, puisque le débit d'air primaire est généralement sous-stoechiométrique ou très proche de la stoechiométrie.

[0041] En pratique, on considère que la zone de combustion primaire 18 s'étend dans la partie inférieure 14 depuis le distributeur d'air primaire 55 jusqu'aux orifices 154 d'injection d'air secondaire, tandis que la zone de combustion secondaire 19 s'étend dans la partie supérieure 19 au dessus des orifices 154.

[0042] Un système d'extraction des cendres 160 est disposé sous la chambre de combustion 11, et est raccordé à un système d'évacuation des cendres 180. Le système 160 est configuré comme un puits dans la base 143, et l'écoulement des cendres est représenté par les flèches C1 sur la figure 1. Le système 160 comprend une grille d'extraction 161 qui présente une forme annulaire et est agencée entre le distributeur 55 et le socle 141, une ligne 162 de descente des cendres dans la base 143, et un organe d'étanchéité 163 pour l'isolation pneumatique entre la chambre de combustion 11 et le système d'évacuation des cendres 180. Le système d'extraction 160 permet de réguler la quantité de matière solide présente dans le lit 102, en particulier pour éviter l'engorgement de la chambre de combustion 11, de la partie inférieure 14 et de la zone de combustion primaire 18. Ensuite, le système d'évacuation 180 transporte les cendres 106 vers un cendrier de stockage 181.

[0043] En variante non représentée, le système d'extraction 160 peut se présenter sous la forme d'un espace annulaire ouvert 162, mettant en communication la chambre de combustion 11 et le système d'évacuation des cendres 180. En pratique, on injecte tout ou partie de l'air primaire et/ou des fumées recyclées à l'intérieur de cet espace annulaire 162, dont les caractéristiques géométriques et les conditions d'injection de l'air primaire et/ou des fumées sont telles qu'un processus d'élutriation des particules puisse se produire, c'est-à-dire une séparation des particules par tranche granulométrique et densité dans l'écoulement de gaz circulant à l'intérieur de cet espace annulaire 162. Plus précisément, cet écoulement ayant une composante verticale ascendante, les fines particules sont renvoyées dans la chambre de combustion 11, tandis que les particules les plus lourdes chutent et sont reprises par le système d'évacuation des cendres 180.

[0044] Comme montré aux figures 1 et 2, un cyclone de dépoussiérage 120, également appelé dépoussiéreur cyclonique, est disposé dans le dispositif 10. Le cyclone 120 est positionné au centre de la chambre 11, en appui sur le socle 141 et le stabilisateur 142, et présente une symétrie axiale par rapport à l'axe central X10 de la chambre 11. De préférence, le cyclone 120 est fabriqué en matériau(x) réfractaire(s) empilable(s) et jointif(s), ou bien en matériau(x) métallique(s), par exemple sous forme de tôles.

[0045] Plus précisément, le cyclone 120 comprend une partie inférieure conique 122 surmontée d'une partie supérieure cylindrique 124. La partie conique 122 s'étend en direction de la partie inférieure 14 de la chambre 11, reposant sur le stabilisateur 142, et est munie à son extrémité inférieure d'un système 170 d'extraction de cendres volantes, représentées par les flèches C2 sur la figure 1. La partie cylindrique 124 s'étend en direction de la partie supérieure 15 de la chambre 11 jusqu'à une extrémité supérieure 125 du cyclone 120. Cette extrémité 125 présente un profil annulaire sensiblement horizontal et supporte une cheminée 129 d'extraction des fumées 105. La partie cylindrique 124 est reliée par la cheminée 129 à une chambre de liaison 190, décrite ci-après. Ainsi, outre son rôle dans l'organisation des écoulements de gaz à l'intérieur du cyclone 120, la cheminée 129 permet le transfert des fumées dépoussiérées 105 vers la chambre de liaison 190.

[0046] Une ou plusieurs ouvertures 126 d'entrée de produits de combustion 104 dans le cyclone 120 sont disposées du côté de la partie supérieure 15 de la chambre 11. Ces ouvertures d'entrée 126 sont configurées pour que les fumées produites dans la chambre de combustion 11 pénètrent dans le cyclone 120. Les ouvertures 126 sont situées à l'extrémité supérieure du cyclone 120, à proximité ou sur la partie cylindrique 124, et présentent une symétrie axiale qui favorise l'écoulement P4 des produits de combustion 104 chargés en particules dans le cyclone 120 en leur imprimant un mouvement rotationnel.

[0047] De préférence, les ouvertures 126 sont réparties annulairement sur l'extrémité supérieure 125 du cyclone 120 supportant la cheminée 129, présentent une symétrie axiale par rapport à l'axe central X10 de la chambre 11 et comportent des aubages 127, comme montré aux figures 1 à 3. En pratique, l'extrémité 125 peut être formée par un anneau muni d'aubages 127 et entourant le conduit de cheminée 129, permettant ainsi de constituer les ouvertures 126 dans le cyclone 120, dans la partie supérieure 15 de la chambre 11. Ces aubages 127 ont une forme et/ou un agencement permettant à l'écoulement de gaz en rotation au-dessus de l'extrémité 125 du cyclone 120 de pénétrer dans ce cyclone 120, avec le moins de perturbations possible, c'est-à-dire sans rencontrer de changement de direction brusque. A titre d'exemple, les aubages 127 peuvent être des éléments sensiblement plats, de forme sensiblement trapézoïdale, légèrement inclinés vers le bas par rapport au plan horizontal défini par l'extrémité 125, dans le sens de rotation de l'écoulement.

[0048] En variante non représentée, la ou les ouvertures 126 peuvent être des lucarnes régulièrement agencées sur la périphérie verticale de la partie cylindrique 124 du cyclone 120, du côté de la partie supérieure 15 de la chambre 11.

[0049] Le système d'extraction 170 des cendres C2 est positionné sous le cyclone 120, dans la partie inférieure 14 de la chambre 11. Le système d'extraction 170

comprend un conduit 172 sensiblement vertical et un organe d'étanchéité 173 qui assure l'isolation pneumatique entre le cyclone 120 et le système d'évacuation 180 des cendres 106. En particulier, le système d'évacuation 170 des cendres C2 capturées par le cyclone 120 peut être combiné au système d'extraction 160 des cendres sous foyer C1, et tous deux sont reliés au système d'évacuation 180. En amont du système d'évacuation 180, les voies d'extraction des systèmes 160 et 170 sont distinctes.

[0050] La chambre de liaison 190 est agencée entre la chambre de combustion 11 et l'échangeur de chaleur 30, dans le sens du flux d'écoulement des fumées 105 représenté par les flèches F1, F2, F3 et F4 sur la figure 1. Cette chambre 190 est positionnée de manière amovible au niveau de la partie supérieure 15 pour faciliter l'accès à la chambre 11, notamment pour le nettoyage ou la maintenance. En entrée, cette chambre 190 est alimentée en produits de combustion dépoussiérés issus de la cheminée cylindrique 129 appartenant au cyclone 120, centrée sur l'axe X10 et accueillant le flux entrant F1. En sortie, la chambre 190 est reliée aux conduits de fumées 39 qui parcourent la calandre 31 et reçoivent le flux F2. De préférence, la chambre 190 est revêtue d'un matériau réfractaire isolant, pour éviter les pertes thermiques liées au séjour des fumées 105 avant leur transfert dans les conduits 39.

[0051] En variante non représentée, la chambre de liaison 190 peut avoir la forme d'une gaine cylindrique, rectangulaire ou carrée, ou encore d'une section de forme quelconque. Cette gaine est reliée, d'une part, à la cheminée 129 du cyclone 120 et, d'autre part, à l'entrée de l'échangeur 30. Cet autre agencement est privilégié par exemple quand l'échangeur de chaleur 30 n'enveloppe pas la chambre de combustion 11, mais est placé à côté de la chambre de combustion 11.

[0052] Ainsi, un échange thermique se produit au sein de l'échangeur de chaleur 30, entre les fumées 105 qui circulent dans les conduits de fumées 39 suivant les flux F3 et F4 d'une part, et un fluide à chauffer circulant dans la calandre 31 d'autre part, ce fluide à chauffer pouvant être par exemple de l'eau, de l'air ou un fluide thermique. L'assemblage du dispositif de combustion 10 et de l'échangeur de chaleur 30 constitue une chaudière au sens usuel du terme, destinée à être intégrée à une unité d'incinération 1, comme détaillé ci-après en lien avec la figure 5.

[0053] En pratique, le cyclone 120 est configuré pour recevoir un écoulement P3 de particules 103 par les ouvertures d'entrée 126. Initialement les particules 103 sont issues de la combustion du combustible solide, et se trouvent en suspension dans la chambre 11 sous l'effet des flux d'écoulement ascendant P2 et P3. Ensuite, une fois dans le cyclone 120, les particules 104 sont séparées du flux de fumées F1 pour former le flux de cendres C2.

[0054] Autrement dit, le cyclone 120 utilise la force centrifuge pour réaliser la séparation mécanique des par-

ticules 104 en suspension, entraînées selon un écoulement tourbillonnaire P4. Le mouvement giratoire correspondant à l'écoulement P4 est obtenu en faisant entrer les particules 103 selon un écoulement P3 tangentiel à la circonférence du cyclone 120. Sous l'effet de la force centrifuge, les particules solides P4 telles que les cendres sont prises dans un vortex, se déplacent vers la paroi intérieure et y perdent leur vitesse par frottement. Ainsi, les cendres C2 tombent dans la partie inférieure conique 122 du cyclone 120, avant de sortir par le conduit 172. En revanche, les fumées suivent la paroi selon un écoulement hélicoïdal sensiblement descendant dans la partie cylindrique 124, puis cet écoulement hélicoïdal, une fois débarrassé des cendres C2, se renverse dans la partie conique 122 et remonte au centre de la partie supérieure cylindrique 124 pour sortir par la cheminée 129 selon le flux F1.

[0055] De plus, le cyclone 120 comprend un système casse-vortex 128 qui est agencé à l'extrémité inférieure de la partie conique 122 et qui permet de stabiliser spatialement le vortex présent dans le cyclone 120. Plus précisément, le système casse-vortex 128 permet d'améliorer le rendement de dépolluierage, en évitant que le vortex présent dans la partie conique 122 du cyclone 120, là où le flux d'écoulement des fumées se retourne pour se diriger vers la cheminée 129, se déplace de façon aléatoire dans l'espace, et en particulier qu'il aille frapper la paroi intérieure de la partie conique 122, ce qui aurait pour conséquence de réentraîner des particules 104 déjà séparées du flux F1 de fumées dépolluierées. De préférence, le système casse-vortex 128 est placé à l'intérieur du stabilisateur 142.

[0056] Un système d'épuration des fumées 195, représenté sur la figure 1 sous la forme d'un simple bloc, est prévu en sortie des conduits de fumées 39. Le système 195 permet de contrôler de manière continue les polluants présents dans le flux F4 de fumées 105 en aval du dispositif 10, en particulier les polluants acides tels que HCl, HF, HBr, SO₂, SO₃, les oxydes d'azote, les dioxines et les furanes, ainsi que les poussières, grâce à un dépolluierage complémentaire par filtre à manches, par exemple. En effet, la réglementation sur les rejets de polluants dans l'atmosphère impose une surveillance permanente de ces rejets.

[0057] Par ailleurs, un système de recyclage de fumées 59 est relié au système d'alimentation en air primaire 50. Plus précisément, le système 59 est connecté à la boîte à vent 54 pour réinjecter dans la chambre 11 les fumées extraites du dispositif 10 par le flux F4. Le système 59 permet avantageusement de contrôler les températures et les pressions partielles en oxygène dans la chambre 11, mais aussi de maintenir une hydrodynamique adéquate dans la zone de combustion primaire 18 de cette chambre 11 lorsqu'une quantité d'air plus faible est injectée par le distributeur 55 dans la chambre 11, en particulier pour maintenir l'écoulement rotatif P1 du lit toroïdal 102 de particules solides. Ce système 59 permet également de conserver une hydrodynamique

sensiblement constante en entrée, à l'intérieur et en sortie du cyclone 120, et ainsi obtenir un rendement de dépolluierage optimal, quelle que soit l'allure de l'installation en fonctionnement (marche nominale, marche réduite ou marche maximale).

[0058] En variante non représentée, le système de recyclage 59, ou même un autre système de recyclage similaire au système 59, peut être connecté au système d'alimentation en air secondaire 150, ou bien en tout autre point de la chambre 11, ainsi que dans l'espace annulaire 162. Les fumées recyclées sont prélevées en principe dans le flux F4 en aval du cyclone de dépolluierage 120, mais il est également possible d'employer des fumées non dépolluierées ou des fumées plus chaudes, correspondant aux écoulements P3, F1, F2 et F3.

[0059] De plus, l'invention vise la valorisation des déchets solides, mais les déchets liquides ne sont pas exclus. Dans ce cas, la configuration du dispositif 10 doit être adaptée, notamment au niveau du système d'alimentation 20 et/ou du distributeur 55. De préférence pour le système 20, une pluralité d'injecteurs de combustible est mise en place sur le pourtour de la partie inférieure 14 de la chambre de combustion 11.

[0060] Sur la figure 4 est représenté un deuxième mode de réalisation d'un dispositif de combustion 10' conforme à l'invention.

[0061] Certains éléments constitutifs du dispositif 10' sont analogues aux éléments constitutifs du dispositif 10 du premier mode de réalisation, décrit plus haut, et portent la même référence numérique. En revanche, le dispositif 10' comprend un système d'alimentation en air primaire 50' muni d'un distributeur 55', qui présentent certaines différences avec le système 50 et le distributeur 55 du premier mode de réalisation.

[0062] En particulier, le distributeur 55' comporte deux éléments 56 et 57 qui se présentent sous la forme de deux distributeurs d'air annulaires superposés, montés sur un support 58. Cette configuration du distributeur 55' est bien adaptée à la valorisation des déchets solides. Le support 58 et le socle 141 reposent sur une plaque 144c, elle-même située au dessus de la base 143.

[0063] Le distributeur 56 a une section de passage carrée ou rectangulaire et possède des ouvertures 56b sur sa paroi verticale interne 56a. Ces ouvertures 56b débouchent au niveau de l'espace 162 et sont munies d'aubages formant un angle avec la paroi 56a du distributeur 56, de façon à réaliser une injection d'air sensiblement tangentielle à la paroi 56a dans l'espace annulaire 162. Le distributeur 56 est alimenté en air par un ventilateur 51 a et un conduit 52a, entre lesquels est disposé un appareil de préchauffage 53.

[0064] Le distributeur 57 est équipé, sur sa partie supérieure disposée au niveau de la zone de combustion primaire 18, d'un élément poreux 57a. Cet élément 57a peut être une grille, un tissu, un feutre, une plaque perforée ou tout dispositif présentant une porosité ouverte, notamment en matériau métallique ou céramique. De

préférence, l'élément 57a est incliné en direction de l'espace 162 pour permettre la chute, dans le système d'extraction 160 prévu à cet effet, des grosses particules présentes dans le foyer et la zone 18. Ces grosses particules peuvent être des pierres ou cailloux apportés par la charge en combustible 101, des mâchefers formés lors du processus de combustion, ou tout autre objet tel que des débris détachés des parois 12 en matériau réfractaire, pièce métallique, etc. Le distributeur 57 est alimenté en air par un ventilateur 51 b et un conduit 52b, sans appareil de préchauffage.

[0065] En pratique, le distributeur 56 reçoit alors une majeure partie de l'air primaire, tandis que le débit d'air introduit via le distributeur 57 sert essentiellement à fluidiser le lit particulaire 102 et éviter des zones mortes où les particules stagneraient. A titre d'exemple, le débit d'air primaire dans le distributeur 56 représente au moins 60 %, et de préférence 90 %, du débit d'air primaire dans le distributeur 55.

[0066] En variante non représentée, les distributeurs 56 et 57 peuvent être alimentés en air par un unique ventilateur, qui peut être muni d'un conduit de sortie scindé en deux conduits dirigés vers les distributeurs 56 et 57.

[0067] Sur la figure 5 est représentée une unité d'incinération 1 conforme à l'invention.

[0068] L'unité d'incinération 1 comprend un dispositif de combustion 10, associé à un échangeur de chaleur 30 sous forme d'une chaudière. Le dispositif 10 est alimenté en combustible par le système d'alimentation 20, et alimenté en air au moins par le système d'alimentation en air primaire 50. Le système d'alimentation en air secondaire 150 n'est pas représenté sur la figure 5. L'échangeur de chaleur 30 est relié à un réservoir hydro-accumulateur 70, comportant des lignes de sortie 71 d'eau chaude et des lignes d'entrée 72 d'eau froide. En particulier, l'eau chaude circulant dans les lignes 71 peut être utilisée pour des applications comme le chauffage de locaux, le chauffage de systèmes réactionnels et le lavage, ce qui permet de valoriser par combustion dans le dispositif 10 le contenu énergétique de déchets.

[0069] En outre, les fumées F4 sortent du dispositif 10 par un conduit 41. A ce stade, un système de traitement 40 des fumées récupère les fumées F4 en provenance du dispositif 10, qui sont transmises par le conduit 41 à un appareil de filtrage 42 qui assure le captage des poussières résiduelles qui n'auraient pas été capturées par le cyclone 120 dans le dispositif 10. En outre, l'appareil 42 peut être conçu de façon à ne pas se limiter au seul dépoussiérage, mais également pour détruire les espèces chimiques polluantes, telles que les NOx, les dioxines et les furanes. Les poussières filtrées sont ensuite déposées dans un cendrier 47, qui est séparé de l'appareil de filtrage par un organe d'étanchéité 46 afin d'éviter l'échappement des fumées. En effet, pour leur part, les fumées dépoussiérées sont évacuées par une cheminée 43 et rejetées dans l'atmosphère en veillant à respecter la réglementation en vigueur quant aux émissions de polluants, ou sont partiellement recyclées par l'intermédiaire

du système de recyclage 59. Le recyclage des fumées est réalisé à l'aide d'un ventilateur, non représenté sur la figure 5, ou de tout autre organe qui permet de remonter la pression desdites fumées recyclées.

[0070] De préférence, l'unité d'incinération 1 comprend un système d'injection de réactifs 60, prévu pour injecter un ou plusieurs composés réactifs dans les fumées F4 issues du dispositif 10. A cet effet, un réservoir 61 délivre un flux de réactif 66 à un kit d'injection 62, dans lequel le réactif peut être mis sous pression. En sortie du kit d'injection 62, un flux de réactif sous pression 67 est envoyé dans une buse 63 agencée dans le conduit 41. La buse 63 injecte le réactif pulvérisé 68 dans le conduit 41, afin que le réactif produise une réaction chimique avec les fumées F4. Ainsi, le système 60 permet de réaliser l'abattement des polluants, notamment les polluants acides et les NOx, c'est-à-dire leur élimination et/ou leur capture sous forme transformée.

[0071] Autrement dit, les polluants atmosphériques sont avantageusement traités à différents niveaux de l'unité d'incinération 1. En particulier, le dispositif 10 intégré à l'unité d'incinération est avantageusement conçu pour minimiser la formation d'imbrûlés solides et gazeux, de NOx, et surtout éviter l'apparition de dioxines et furanes. Le dispositif 10 permet aussi d'abaisser considérablement la teneur en poussières des fumées F4 en sortie, ce qui limite l'encrassement de l'échangeur de chaleur 30 en aval et facilite le traitement des fumées.

[0072] Ainsi, l'unité d'incinération 1 et le dispositif 10 selon l'invention, lequel comprend un cyclone de dépoussiérage 120 agencé de manière centrale dans la chambre de combustion 11, présentent de nombreux avantages par rapport aux installations existantes.

[0073] Tout d'abord, les fumées F4 issues de la chambre de combustion 11 présentent une faible teneur en particules polluantes, en particulier une concentration inférieure ou égale à 50 mg/Nm³. En outre, il est possible de brûler un combustible 101 comprenant d'importantes charges de matières inorganiques, notamment 20 % ou plus, sans encrassement ni perturbation des équipements situés en aval du dispositif 10, tel que l'échangeur de chaleur 30. Egalement, il est possible d'ajouter des additifs au combustible 101 pour l'élimination des NOx et composés acides, notamment soufrés, chlorés, fluorés, etc. L'unité 1 et le dispositif 10 présentent une compacité et un coût améliorés, puisque le cyclone dépoussiéreur 120 est intégré directement à la chambre de combustion 11, et non disposé en aval de la chambre comme dans un dispositif traditionnel. Autrement dit, le dispositif 10 assure une fonction de combustion combinée à une fonction de dépoussiérage. Enfin, les pertes thermiques sont limitées au niveau des différentes parois, ce qui améliore le rendement global de l'installation.

[0074] En variante non représentée, le dispositif de combustion 10 selon l'invention peut être mis en oeuvre dans une application de « gazéification ». Dans ce cas, l'objectif n'est pas de générer des fumées chaudes dépoussiérées qui sont exploitées pour chauffer un fluide,

mais de produire un gaz combustible en oxydant partiellement le combustible solide. La configuration du dispositif 10 est sensiblement identique, mais les injections d'air sont plus réduites que celles requises par la combustion, et le recyclage des gaz combustibles issus de la gazéification, de préférence injectés immédiatement sous le lit toroïdal de particules pour éviter l'oxydation de ces gaz avec l'air primaire, est augmenté, afin de conserver dans la chambre de combustion des conditions hydrodynamiques proches de celles correspondant à un fonctionnement en combustion. Plus précisément, pour un même débit de combustible, le débit d'air injecté est réduit de 50 à 75 %. Egalement, l'invention permet d'obtenir une teneur en poussières très faible dans le gaz combustible produit, ce qui facilite son usage ultérieur.

[0075] En variante non représentée, l'unité 1 peut être équipée du dispositif de combustion 10' montré à la figure 4, avec un fonctionnement similaire à celui décrit ci-dessus.

[0076] Sur la figure 6 est représenté un schéma de principe illustrant le procédé, conforme à l'invention, de mise en oeuvre du dispositif de combustion 10 ou 10'.

[0077] En pratique, une application visée est la valorisation de déchets issus de l'élevage, tel que les litières de volailles. Cependant, les litières de volailles ont une teneur élevée en cendres : jusqu'à 20 - 25 % dans certains cas. De ce fait, le procédé de combustion doit permettre d'éliminer les cendres sans charger les fumées. Ainsi, le dispositif de combustion 10 ou 10' et l'unité d'incinération 1 doivent être capables de brûler toutes les particules de combustible en évitant la création d'espèces polluantes, en particulier les NOx, les dioxines et les furanes.

[0078] Par ailleurs, quand on brûle un combustible solide, par exemple du bois, la législation impose des contraintes relatives aux émissions de polluants, notamment pour des installations de puissance supérieure ou égale à 2 MW. Toutefois, quand on brûle des déchets, notamment les litières de volailles, les fractions solides des lisiers de porcs ou les fumiers de cheval, la réglementation est encore plus stricte et s'applique à partir de 0,1 MW. En particulier, en France, les polluants dont les valeurs limites d'émission sont imposées par l'Arrêté du 20 septembre 2002 sont : CO, COT, SO₂, HCl, HF, NOx, NH₃, dioxines, furanes, Hg, Cd, Tl, et métaux lourds tels Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, ainsi que les poussières.

[0079] Pour limiter les émissions d'imbrûlés, tel que CO, COT, dioxines et furanes, différents facteurs doivent être maîtrisés. Tout d'abord, la température de combustion doit être comprise dans une plage ayant pour minimum 850-900 °C, et être uniforme sur l'ensemble de la zone de combustion. En particulier, les zones localement froides doivent être évitées. Egalement, les rapports locaux « air/combustible » doivent être contrôlés, car ils influencent la répartition locale de température, et peuvent engendrer la formation de polluants tels les NOx, ainsi que les dioxines et les furanes.

[0080] Egalement, pour un fonctionnement optimal du dispositif de combustion 10 ou 10' et de l'unité d'incinération 1, il faut éviter la formation de mâchefers qui peuvent bloquer la partie inférieure 14 et les systèmes d'extraction, tel que le système 160 représenté sur la figure 1.

[0081] Comme visible sur la figure 6, la combustion diffère selon la plage de température dans laquelle elle est effectuée. En particulier, le domaine d'opérabilité du dispositif de combustion 10 ou 10' est délimité par des zones A, B, C et D, selon l'évolution de la température dans la zone de combustion primaire, représentée par la flèche centrale. Les zones A, B, C et D sont séparées par des températures intermédiaires T1, T2, et T3, avec T1 égale à environ 850-900 °C, T2 égale à environ 1000-1050 °C, et T3 égale à environ 1300-1400 °C. De plus, la zone C comporte différentes températures T2a, T2b, T2c et T2d, qui correspondent à l'évolution de la forme des cendres.

[0082] Sur la figure 6, la température T2a représente la température de déformation des cendres, T2b représente la température de ramollissement des cendres, T2c représente la température dite « d'hémisphère » et T2d représente la température de fluidité.

[0083] En pratique, la zone A correspond à une zone de formation d'imbrûlés gazeux, qui doit être exclue du fonctionnement du dispositif 10 ou 10'. En effet, la combustion est imparfaite pour une température inférieure à T1 dans la zone de combustion primaire.

[0084] La zone B est celle qui présente le plus d'avantages pour la combustion, correspondant à une combustion dite « en cendres sèches ». Lorsqu'on opère en cendres sèches, c'est-à-dire avec l'objectif d'extraire les cendres de la chambre de combustion sous forme sèche, représenté avec un profil conique d'un échantillon de cendres sur la figure 6, les températures locales dans la zone de combustion ne doivent à aucun moment s'élever au dessus de la température T2a de déformation des cendres. Ainsi, par sécurité, le dispositif 10 ou 10' est conçu pour que la combustion survienne entre T1 et T2, et de préférence dans la partie basse de cette plage, entre 850 et 1000 °C. Plus généralement, on s'assure que la température de combustion soit supérieure à 850 °C et inférieure à 1200 °C en tout point de la chambre de combustion 11 et du cyclone 120, par exemple à l'aide de sondes de température.

[0085] La zone C correspond à une zone de formation de mâchefers et d'amas pâteux, ce qui risque d'entraîner le blocage du distributeur d'air 55 et/ou de la grille d'extraction 161. En raison du risque présenté par une fusion imparfaite des cendres, la zone C doit donc être exclue du fonctionnement du dispositif 10 ou 10'.

[0086] Enfin, la zone D correspond à une zone de combustion en cendres fondues. Cependant, bien que la formation de mâchefers ne soit plus un risque au-delà de T2d et T3, ce régime de fonctionnement nécessite une température élevée et représente un coût important, à cause des matériaux hautes performances devant être mis en oeuvre pour résister à la corrosion très importante

induite par les milieux salins fondus. Le fait d'opérer à haute température conduit aussi à une production accrue d'oxydes d'azote, ce qui est défavorable pour l'environnement.

[0087] Ainsi, le dispositif 10 ou 10' et l'unité d'incinération 1 selon l'invention présentent un fonctionnement optimal dans la zone B, pour une température de combustion comprise entre 850 °C et 1200 °C, plus précisément entre 850 °C et 1000 °C, et de préférence entre 850 °C et 900 °C. Grâce à la conception du dispositif 10 ou 10', une telle combustion est possible, et par ailleurs le cyclone dépoussiéreur 120 permet d'épurer les fumées directement dans la chambre de combustion 11.

Revendications

1. Dispositif de combustion (10 ; 10'), comprenant :

- une chambre de combustion (11) avec une paroi cylindrique (12) qui s'étend selon un axe central vertical (X10), une partie inférieure (14) et une partie supérieure (15),
- une zone de combustion primaire (18) qui est située dans la partie inférieure (14) de la chambre (11) et qui présente un profil sensiblement annulaire centré sur l'axe (X10),
- un système (20) d'alimentation en combustible (101) qui est apte à introduire une quantité maîtrisée de combustible (101) dans la chambre (11),
- un système (50 ; 50') d'alimentation en air primaire qui est apte à introduire de l'air dans la zone de combustion primaire (18) et créer un écoulement tourbillonnaire (P1, P2, P3) de particules (102, 103) dans la chambre (11), et
- un système (160, 180) d'évacuation des cendres (C1) issues de la combustion qui est situé sous la chambre (11),

caractérisé en ce qu'un cyclone dépoussiérant (120) est agencé au centre de la chambre de combustion (11), ce cyclone étant configuré pour recevoir des produits de combustion chargés en particules (103) depuis la chambre (11) par au moins une ouverture d'entrée (126) et dépoussiérer ces produits de combustion en séparant par action centrifuge (P4) les cendres (C2) des fumées (F1).

2. Dispositif de combustion selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le cyclone (120) présente une symétrie axiale par rapport à l'axe central (X10) de la chambre (11), avec :

- une partie inférieure conique (122) qui s'étend en direction de la partie inférieure (14) de la chambre (11) et qui est munie à son extrémité inférieure d'un système (170) d'extraction des

cendres (C2), et

- une partie supérieure cylindrique (124) qui s'étend en direction de la partie supérieure (15) de la chambre (11), du côté de laquelle sont disposées la ou les ouvertures d'entrée (126) pour les produits de combustion chargés en particules (103), et qui comporte une cheminée (129) d'extraction des fumées dépoussiérées (F1) à son extrémité supérieure (125).

3. Dispositif de combustion selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'extrémité supérieure (125) du cyclone (120) présente un profil annulaire sensiblement horizontal et supporte une cheminée (129) d'extraction des fumées dépoussiérées (F1), et **en ce que** la ou les ouvertures d'entrée (126) sont réparties annulairement sur cette extrémité supérieure (125) et présentent une symétrie axiale par rapport à l'axe central (X10) de la chambre (11).

4. Dispositif de combustion selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la ou les ouvertures d'entrée (126) comportent des aubages (127) qui présentent une forme et/ou un agencement configurés pour accentuer, dans le cyclone (120), le mouvement de rotation centrifuge (P4) des produits de combustion par rapport à l'axe central (X10) qui a été initié dans la chambre de combustion (11).

5. Dispositif de combustion selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la ou les ouvertures d'entrée (126) sont des lucarnes régulièrement agencées sur une surface périphérique du cyclone (120), en particulier à la périphérie de la partie cylindrique (124).

6. Dispositif de combustion selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend également un système (150) d'alimentation en air secondaire qui est apte à introduire de l'air dans un tiers médian de la chambre (11), selon une répartition sensiblement annulaire centrée sur l'axe central (X10).

7. Dispositif de combustion selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le cyclone (120) comprend un système casse-vortex (128) qui est agencé à l'extrémité inférieure de la partie conique (122) et qui est apte à stabiliser un vortex formé dans le cyclone (120) et éviter des réentrainements de particules préalablement séparées des fumées (F1).

8. Dispositif de combustion selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le système (50 ; 50') d'alimentation en air primaire comprend une grille annulaire agencée dans la partie inférieure

- (14) de la chambre de combustion (11), inclinée vers l'axe central vertical (X1) et de préférence munie d'éléments fixes, par exemple des aubages, adaptés pour transmettre une composante rotationnelle à l'écoulement d'air primaire dans la chambre de combustion (11). 5
9. Dispositif de combustion selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le système (50 ; 50') d'alimentation en air primaire comprend des injecteurs discrets répartis suivant un plan sensiblement horizontal dans la partie inférieure (14) de la chambre de combustion (11), en étant inclinés par rapport au plan sensiblement horizontal de manière à créer un écoulement de gaz hélicoïdal avec une composante verticale ascendante dans la chambre de combustion (11). 10 15
10. Dispositif de combustion selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le système (50') d'alimentation en air primaire comprend deux distributeurs d'air annulaires (56, 57) superposés dans la partie inférieure (14) de la chambre de combustion (11), le distributeur inférieur (56) comportant une paroi verticale interne (56a) munie d'ouvertures (56b) qui débouchent dans un espace annulaire (162) relié à la chambre de combustion (11) et sont équipées d'aubages (56b) formant un angle avec la paroi verticale interne (56a), le distributeur supérieur (57) comportant un élément poreux (57a) qui est disposé au niveau de la zone de combustion primaire (18) et est de préférence incliné en direction de l'espace annulaire (162) et de l'axe central vertical (X1). 20 25 30
11. Dispositif de combustion selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le cyclone (120) est muni, à son extrémité inférieure, d'un système (170) d'extraction de cendres (C2) qui est raccordé au système (160, 180) d'évacuation des cendres (C1) selon une voie d'extraction distincte de celle provenant de la chambre de combustion (11). 35 40
12. Dispositif de combustion selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend des moyens (195) de traitement en continu des espèces polluantes présentes dans les fumées (F4) en sortie du dispositif (10 ; 10'). 45
13. Unité d'incinération (1), **caractérisé en ce qu'elle** comprend un dispositif de combustion (10 ; 10') selon l'une des revendications précédentes, un échangeur de chaleur (30) qui est relié à un hydro-accumulateur (70) et, de préférence, des moyens (60) d'injection d'au moins un composant réactif (68) dans les fumées (F4) issues du dispositif de combustion (10 ; 10') pour l'abattement des polluants issus de la combustion. 50 55
14. Procédé de mise en œuvre d'un dispositif de combustion (10 ; 10') selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce qu'il** comprend au moins les étapes suivantes :
- a) préchauffage de la chambre de combustion (11), notamment à l'aide d'une source de chaleur auxiliaire telle qu'un brûleur à gaz, un brûleur à fuel ou un générateur électrique d'air chaud,
 - b) création d'un écoulement tourbillonnaire (P1, P2, P3) de gaz comburant dans la chambre de combustion (11), notamment par injection d'air primaire, de fumées recyclées et d'air secondaire,
 - c) introduction de combustible (101) dans la chambre de combustion (11),
 - d) combustion du combustible entraîné en rotation (P1) dans la zone de combustion primaire (18) sous forme d'un lit toroïdal (102),
 - e) combustion des matières volatiles combustibles libérées au dessus du lit toroïdal (102),
 - f) séparation des particules (P1 ; P2 ; P3) par élutriation dans la zone de combustion primaire (18), notamment pour éliminer de la chambre (11) les particules non combustibles et non entraîna- bles par les produits de combustion ;
 - g) entrée des produits de combustion chargés en particules (P3, 103, 104) dans le cyclone (120) par la ou les ouvertures d'entrée (126),
 - h) dépoussiérage des produits de combustion (104) dans le cyclone (120) par centrifugation (P4), et séparation des cendres (C2) et des fumées (F1),
 - i) extraction des cendres (C2) issues du cyclone (120), et
 - j) évacuation des fumées (F1, F2, F3, F4) dépoussiérées pour un traitement complémentaire de dépoussiérage et d'abattement des polluants et/ou pour rejet dans l'atmosphère, notamment en fonction des exigences réglementaires locales.
15. Procédé selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** la température de combustion est supérieure à 850 °C et inférieure à 1200 °C en tout point de la chambre de combustion (11) et du cyclone (120).

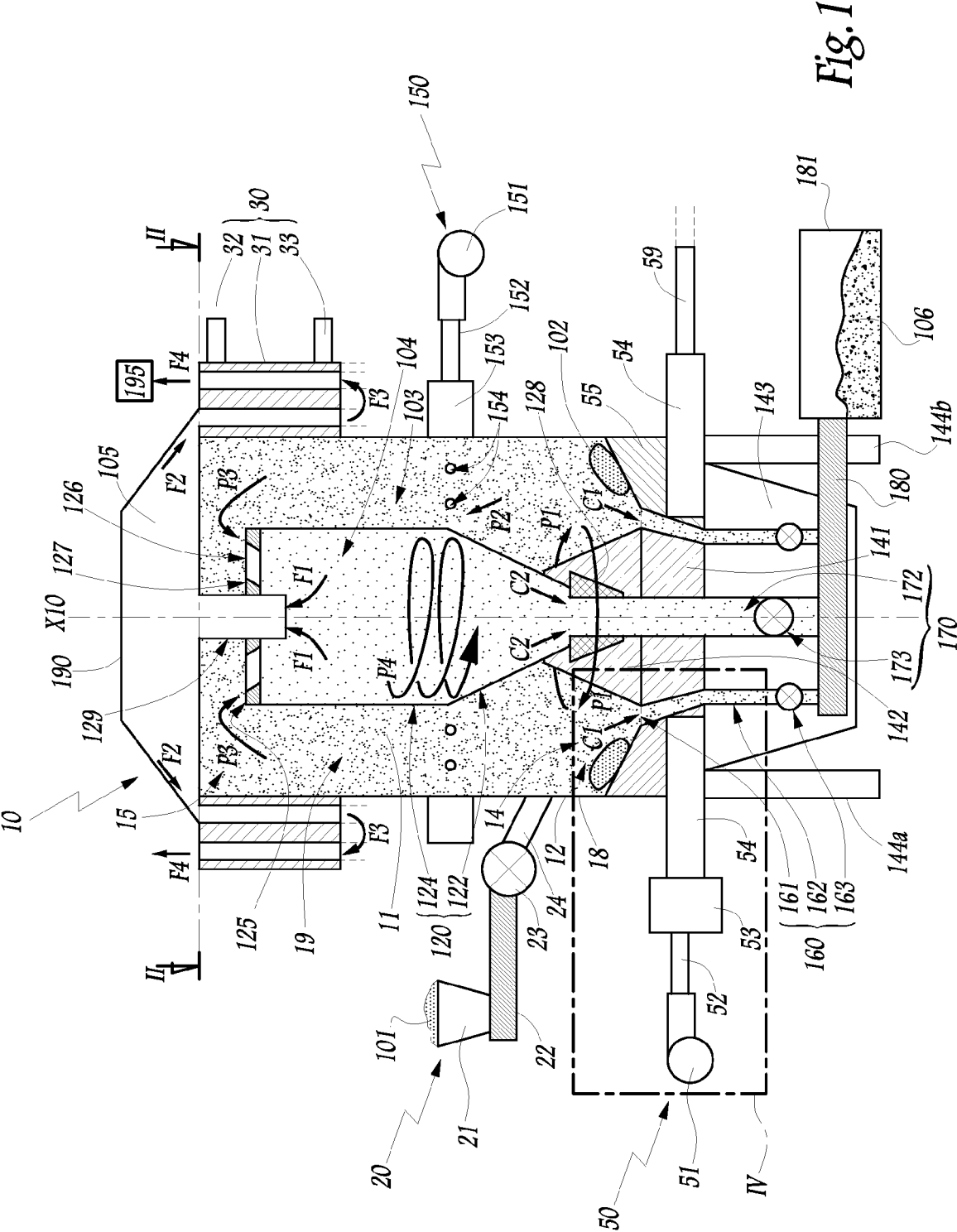
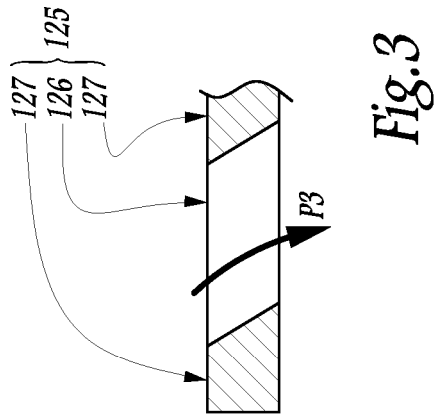
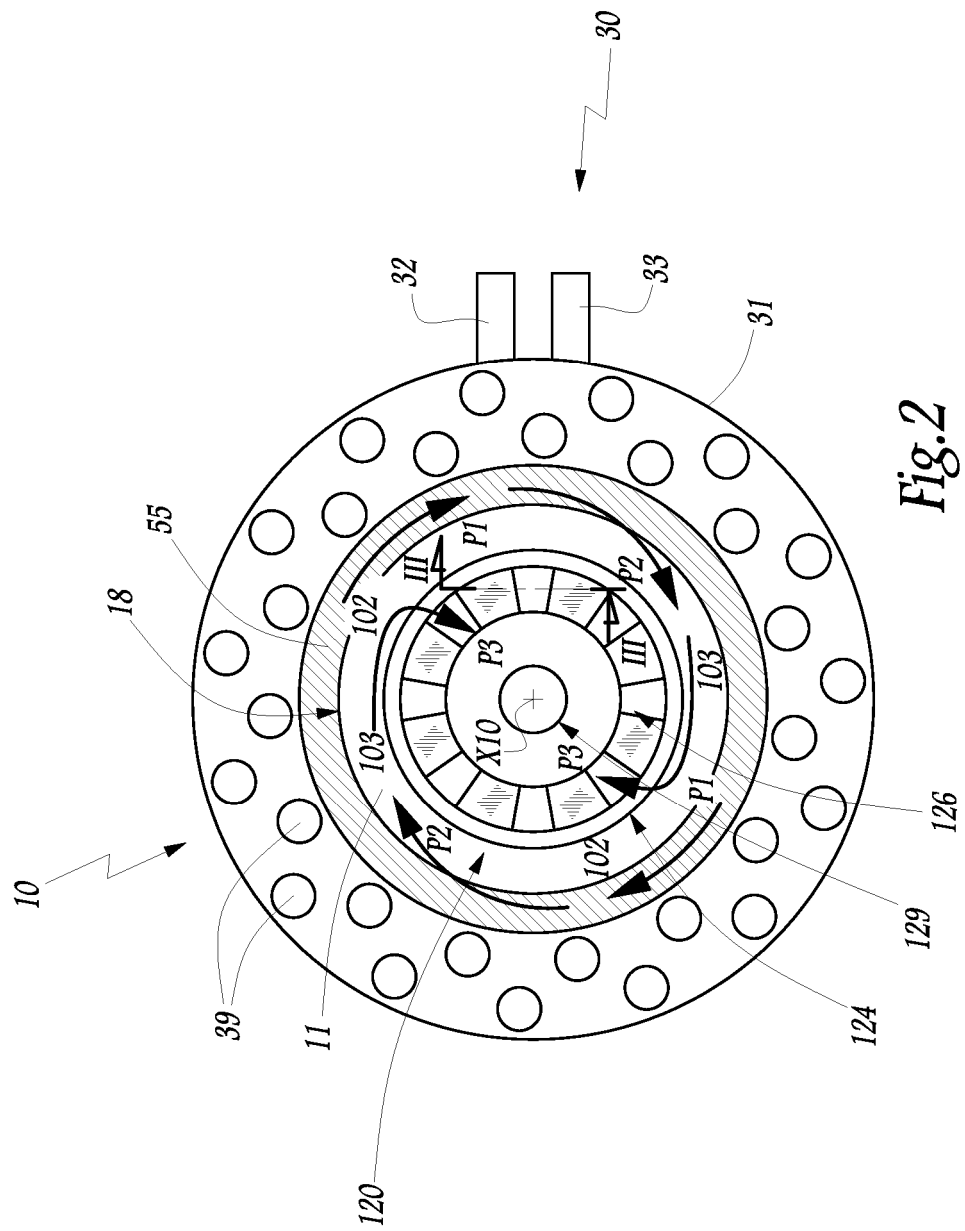


Fig. 1



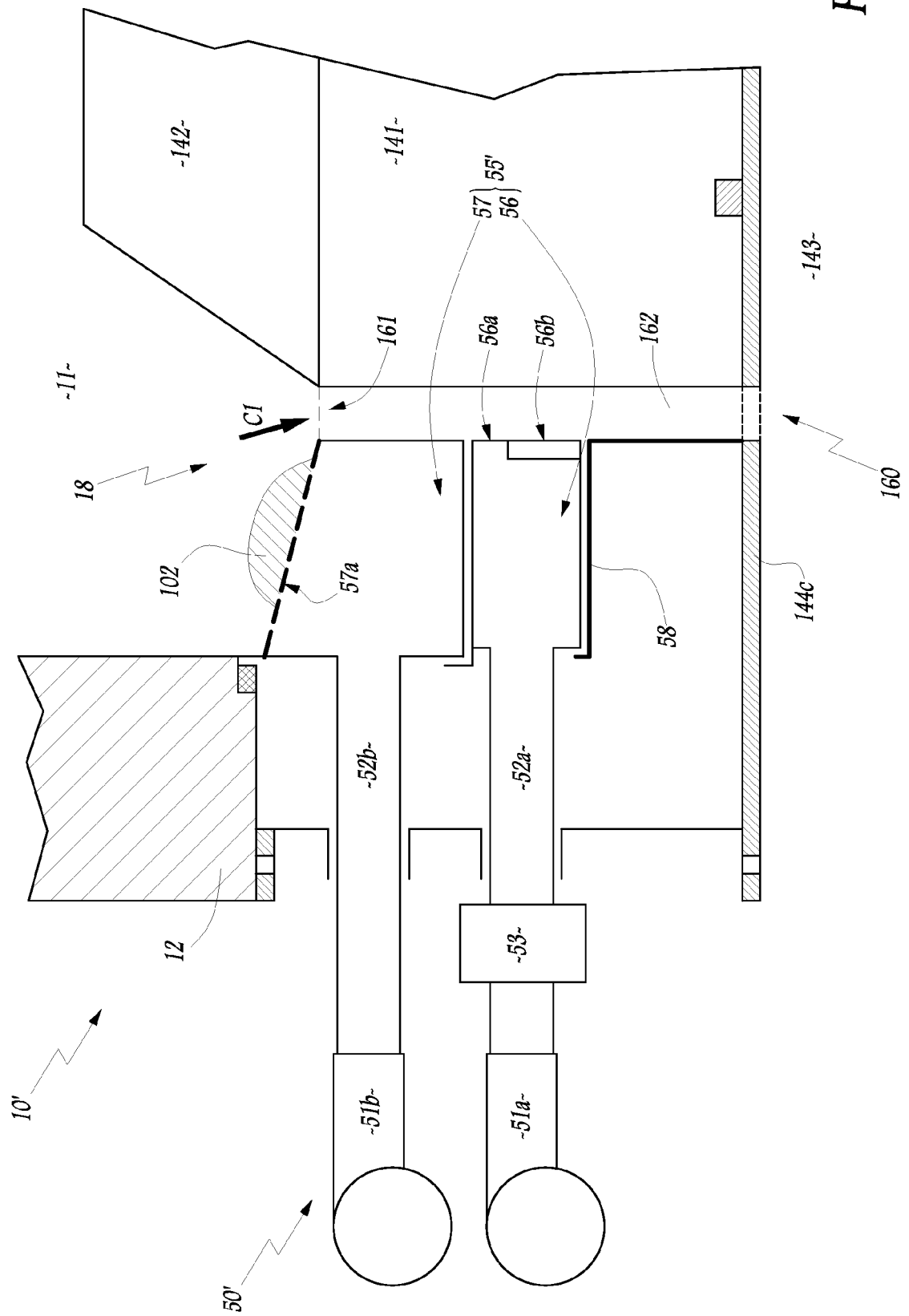


Fig. 4

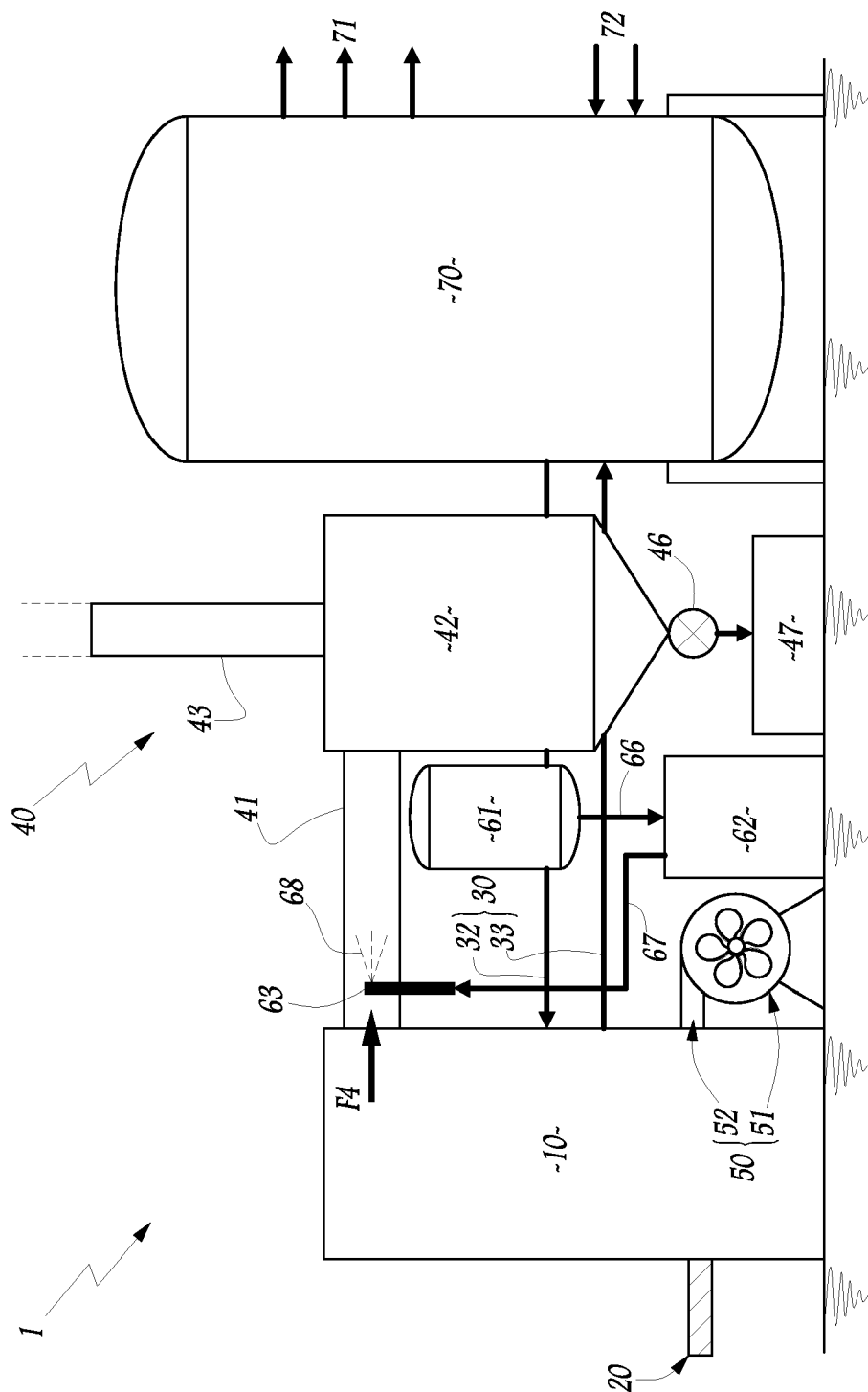


Fig.5

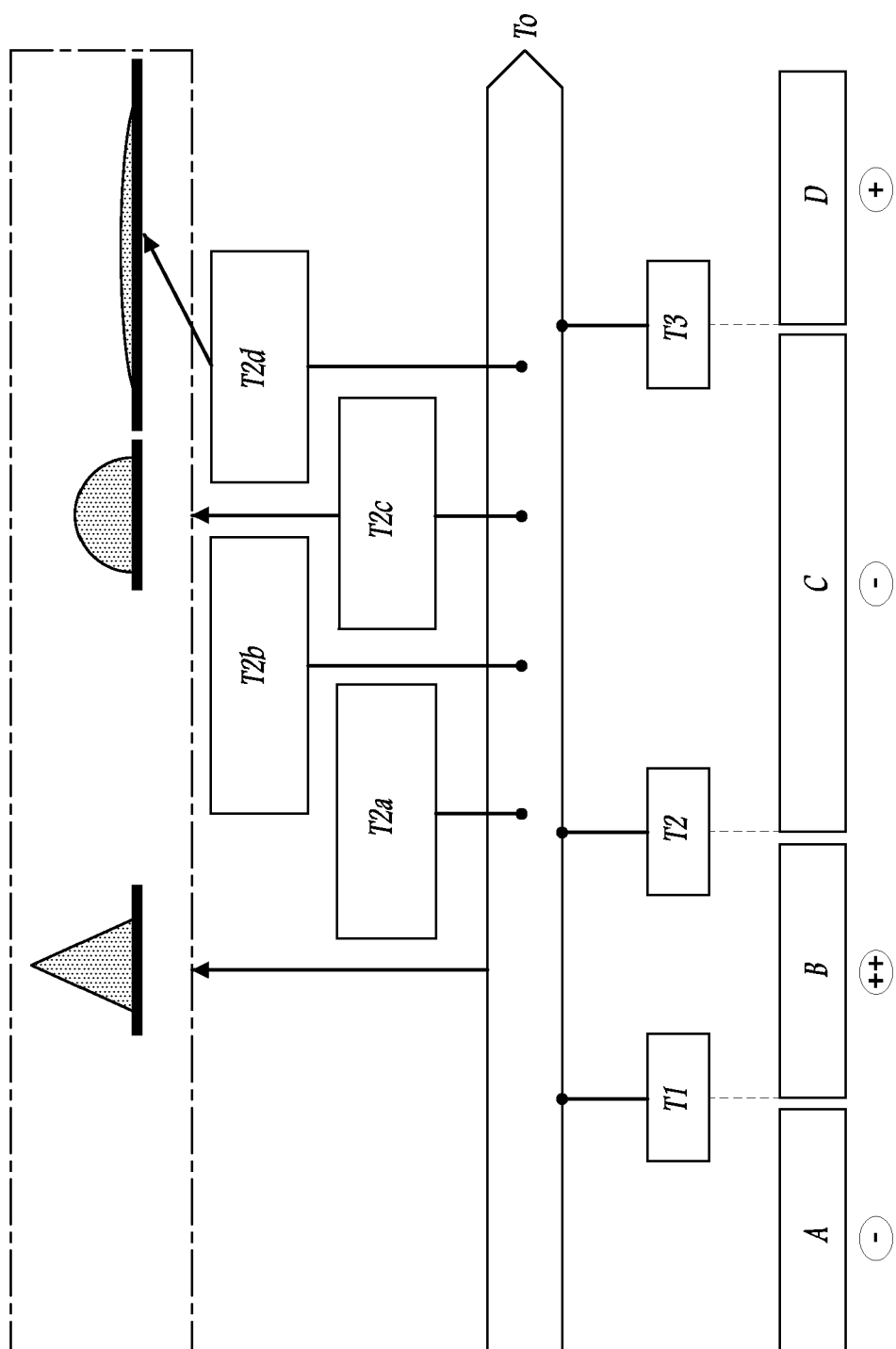


Fig. 6



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 12 15 2189

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X,D	DE 10 2006 021624 A1 (ARTMANN MICHAEL [DE]) 15 novembre 2007 (2007-11-15)	1,2,5,6, 14,15	INV. F23G5/32
Y	* alinéas [0029], [0036], [0039], [0047], [0050], [0052], [0054]; figure 3 *	3,4,7-9, 11-13	F23G5/40 F23G5/46 F23G5/50 F23J15/02 F23J15/04
Y	US 3 831 535 A (BAARDSON A) 27 août 1974 (1974-08-27) * colonne 9, ligne 36 - colonne 10, ligne 2; figure 6 *	3,4	
Y	EP 0 264 735 A1 (ASEA STAL AB [SE]) 27 avril 1988 (1988-04-27) * colonne 3, ligne 27 - ligne 35; figures 2,3 *	7	
Y,D	EP 1 143 195 A1 (ALCE S C [BE]) 10 octobre 2001 (2001-10-10)	8	
A	* alinéa [0027]; figures 1-3 *	10	
Y	US 6 651 645 B1 (NUNEZ SUAREZ RENE MAURICO [SV]) 25 novembre 2003 (2003-11-25) * figures 2,5,10 * * colonne 3, ligne 56 - colonne 4, ligne 6 *	9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) F23G F23J
Y	DE 34 17 445 A1 (FOERSTER GUENTHER; TAETZNER WOLFGANG) 14 novembre 1985 (1985-11-14)	11	
A	* page 8, ligne 12 - page 9, ligne 30 * * page 10, ligne 20 - ligne 29 * * figure 1 *	8,10	
Y	US 3 788 244 A (POLSAK E ET AL) 29 janvier 1974 (1974-01-29) * colonne 1, ligne 61 - colonne 2, ligne 10; figures 1,2 *	12	
----- -/--			
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 29 mai 2012	Examineur Mougey, Maurice
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 12 15 2189

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Y	US 2001/015160 A1 (BRUNNMAIR ERWIN [AT] ET AL) 23 août 2001 (2001-08-23) * abrégé * * alinéa [0054]; figure 6 *	13	
X,D	FR 2 686 682 A1 (INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]) 30 juillet 1993 (1993-07-30) * colonne 8, ligne 26 - ligne 32; figure 4 *	1,2,14	
A	DE 34 41 923 A1 (WIESER DR RUDOLF) 28 mai 1986 (1986-05-28) * abrégé; figures 1-3 *	1,5,14	
A	US 2002/192608 A1 (FLAMENT PATRICK [FR] ET AL) 19 décembre 2002 (2002-12-19) * alinéas [0001], [0036], [0040], [0045]; figure 1 *	1,14	
A	US 4 526 678 A (MYHREN JAN [US] ET AL) 2 juillet 1985 (1985-07-02) * colonne 6, ligne 7 - ligne 45; figure 6 *	7	
A	JP 59 210204 A (BABCOCK HITACHI KK) 28 novembre 1984 (1984-11-28) * abrégé; figure 4 *	3,4	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 29 mai 2012	Examineur Mougey, Maurice
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 12 15 2189

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

29-05-2012

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102006021624 A1		15-11-2007	AUCUN	
US 3831535	A	27-08-1974	JP 50078168 A US 3831535 A	25-06-1975 27-08-1974
EP 0264735	A1	27-04-1988	DE 3765222 D1 DK 524887 A EP 0264735 A1 FI 874477 A JP 2086178 C JP 8000216 B JP 63107762 A SE 459399 B SE 8604326 A	31-10-1990 14-04-1988 27-04-1988 14-04-1988 23-08-1996 10-01-1996 12-05-1988 03-07-1989 14-04-1988
EP 1143195	A1	10-10-2001	DE 60018552 D1 EP 1143195 A1	14-04-2005 10-10-2001
US 6651645	B1	25-11-2003	AUCUN	
DE 3417445	A1	14-11-1985	AUCUN	
US 3788244	A	29-01-1974	CA 989248 A1 ES 198962 Y IT 1002266 B JP 920331 C JP 49097469 A JP 52049277 B SE 408270 B US 3788244 A	18-05-1976 01-12-1975 20-05-1976 22-08-1978 14-09-1974 15-12-1977 05-06-1979 29-01-1974
US 2001015160	A1	23-08-2001	AUCUN	
FR 2686682	A1	30-07-1993	AT 142009 T DE 69304214 D1 DE 69304214 T2 EP 0553019 A1 ES 2093937 T3 FR 2686682 A1	15-09-1996 02-10-1996 20-02-1997 28-07-1993 01-01-1997 30-07-1993
DE 3441923	A1	28-05-1986	AUCUN	
US 2002192608	A1	19-12-2002	AT 330176 T AU 2855601 A CA 2394281 A1 DE 60028827 T2	15-07-2006 25-06-2001 21-06-2001 24-05-2007

EPO FORM P0480

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 12 15 2189

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

29-05-2012

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
		EP 1247046 A1	09-10-2002
		ES 2266024 T3	01-03-2007
		FR 2802616 A1	22-06-2001
		US 2002192608 A1	19-12-2002
		WO 0144721 A1	21-06-2001

US 4526678	A	02-07-1985	AUCUN

JP 59210204	A	28-11-1984	JP 1700927 C
			14-10-1992
		JP 3068287 B	28-10-1991
		JP 59210204 A	28-11-1984

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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 1143195 A [0005]
- FR 2686682 A [0006]
- WO 0158244 A [0007]
- DE 102006021624 A [0008]