(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
04 janvier 2018 (04.01.2018)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2018/002151 A1

(51) Classification internationale des brevets :
*F23C 3/00* (2006.01) *F23D 99/00* (2010.01)
*F23D 1/02* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2017/066018

(22) Date de dépôt international :
28 juin 2017 (28.06.2017)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
2016/5489 28 juin 2016 (28.06.2016) BE

(71) Déposant : **S.A. LHOIST RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT** [BE/BE] ; rue Charles Dubois 28, 1342 Ottignies-Louvain-la-Neuve (BE).

(72) Inventeur : **HABIB, Ziad** ; Rue Arthur Van Dormael, 10, 1630 Linkebeek (BE).

(74) Mandataire : **GEVERS PATENTS** ; Holidaystraat 5, 1831 Diegem (BE).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

WO 2018/002151 A1

(54) **Title:** METHOD FOR BURNING FUEL IN A CYLINDRICAL COMBUSTION CHAMBER

(54) **Titre :** PROCÉDÉ DE COMBUSTION DE COMBUSTIBLE DANS UNE CHAMBRE DE COMBUSTION CYLINDRIQUE

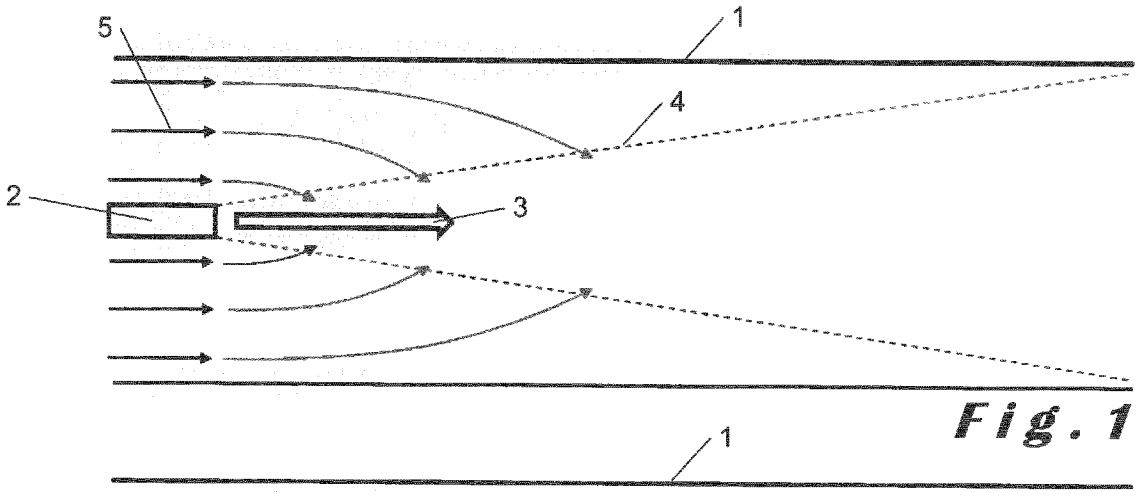



Fig. 1

(57) **Abstract:** Method for burning fuel in a cylindrical combustion chamber, comprising, in this combustion chamber, a projection, from a burner, of a jet of pulverulent solid fuel which is carried in conveying air, and possibly of a flow of primary air, and a supply of oxidising gas in a direction of propagation such as to form a stream of oxidising gas around the jet of fuel projected by the burner, at a temperature that causes combustion of the fuel, the jet of solid fuel having an axial component of projection in the same direction as the said direction of propagation of the oxidising gas in the cylindrical combustion chamber and the ratio between the specific rate of change of momentum of the burner and the specific rate of change of momentum of the oxidising gas being equal to or less than 1.0 and greater than zero.

(57) **Abrégé :** Procédé de combustion de combustible dans une chambre de combustion cylindrique, comprenant, dans cette chambre de combustion, une projection, à partir d'un brûleur, d'un jet de combustible solide pulvérulent déplacé par un air de transport, et éventuellement d'un flux d'air primaire, et une alimentation en un gaz comburant suivant un sens de propagation de manière à former un courant de gaz comburant autour du jet de combustible projeté par le brûleur, à une température occasionnant une combustion du combustible, le jet de combustible solide présentant une composante axiale de projection dans un même sens que ledit sens de propagation du gaz comburant dans la chambre de combustion cylindrique et le rapport entre débit spécifique de quantité de mouvement

*[Suite sur la page suivante]*

**(84) États désignés** *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

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

# Procédé de combustion de combustible dans une chambre de combustion cylindrique

La présente invention est relative à un procédé de combustion de combustible dans une chambre de combustion cylindrique, comprenant, dans cette chambre de combustion,

- une projection, à partir d'un brûleur, d'un jet de combustible solide pulvérulent déplacé par un air de transport, et éventuellement d'un flux d'air primaire, et
- une alimentation en un gaz comburant suivant un sens de propagation de manière à former un courant de gaz comburant autour du jet de combustible projeté par le brûleur, à une température occasionnant une combustion du combustible.

Dans le domaine de la calcination de roches minérales, en particulier de roches calcaires et dolomitiques, on utilise différents types de fours, notamment des fours rotatifs, des fours à cuve, et en particulier des fours droits annulaires.

Ces fours droits annulaires mettent en œuvre, pour chauffer la matière, des chambres de combustion supérieures et inférieures. Les chambres de combustion inférieures sont à l'origine conçues pour fonctionner avec du gaz naturel comme combustible et celui-ci brûle quasiment instantanément.

Or, il devient de plus en plus souhaitable de pouvoir remplacer, dans ces fours actuellement en service, le gaz combustible par un combustible moins coûteux, en particulier un combustible solide pulvérulent du type poudre de charbon, de coke ou de lignite, pépins de raisins, noyaux d'olives, sciure de bois, etc.

Un exemple non conforme à l'invention de brûleur est représenté schématiquement selon une coupe axiale sur la figure 3a et en perspective sur la figure 4a. Le brûleur comprend un conduit de combustible 120 entouré d'un manchon cylindrique 121 comprenant une portion évasée 127 vers l'extrémité du nez du brûleur et comprenant une pluralité de trous 128. Le manchon cylindrique

121 forme avec le conduit 120 un espace annulaire au travers duquel passe un gaz combustible 126. Le manchon 121 et le conduit 120 sont inclus dans une enveloppe externe 122 (représentée sur la figure 3a, non représentée sur la figure 4a) de telle sorte que le nez du conduit 120 dépasse de la portion évasée 127 du manchon 121 et du nez de l'enveloppe externe 122, que la portion évasée 127 du manchon soit en retrait par rapport au nez de l'enveloppe externe 122. De l'air primaire axial 105 peut circuler entre un espace formé par l'enveloppe externe 122 et le manchon 121, ainsi que par la pluralité de trous 128 sur la partie évasée du manchon.

L'alimentation des brûleurs dans les chambres de combustion inférieures de fours annulaires de calcination par un tel combustible pulvérulent solide s'est toutefois avérée, lors d'essais expérimentaux effectués par la demanderesse, difficilement appropriée. En effet la combustion est incomplète, ce qui conduit à une combustion des imbrûlés non plus dans la chambre de combustion, mais dans le lit de matière et même dans le cylindre intérieur du four annulaire, par lequel les gaz de fumée chauds sont récupérés. Il en résulte une détérioration de la qualité du produit cuit (perte de réactivité) et de la productivité (arrêts fréquents du four pour le nettoyer). Et on en arrive à devoir continuer à mettre en œuvre du gaz combustible en combinaison avec du combustible solide pulvérulent pour éviter ces problèmes. La diminution de prix escomptée en est ainsi largement réduite.

Il faut noter que les chambres de combustion inférieures des fours droits annulaires sont petites et courtes. Elles sont dimensionnées pour du gaz naturel qui brûle instantanément suivant la loi de « aussitôt mélangé, aussitôt brûlé » d'une combustion homogène (combustion gaz-gaz). Dans ces chambres également l'air nécessaire à la combustion arrive prémélangé avec des gaz de fumée remis en circulation, lesquels présentent une concentration réduite en oxygène.

Quand du combustible solide est projeté dans la chambre de combustion, la situation est différente, on est devant une combustion hétérogène (solide-gaz) où la loi de « aussitôt mélangé, aussitôt brûlé » n'est plus d'application. Le temps de combustion est très supérieur et dépend de beaucoup

de facteurs, tels que la taille des particules, la réactivité de la surface solide, la disponibilité de l'oxygène près de la surface solide.

Simplement remplacer du combustible gazeux par du combustible solide dans des chambres de combustion existantes s'est donc avéré réellement problématique.

En vue d'améliorer la combustion du combustible solide, on a déjà prévu des artifices mécaniques qui obligent le combustible solide à se mélanger plus intimement au comburant (voir par exemple BE 1015604 et EP2143998). Cependant de tels systèmes restent compliqués et coûteux à la fabrication et surtout à la maintenance. Ils présentent des risques non négligeables de dysfonctionnement, tels que bouchages, usure rapide des pièces mécaniques, etc.

La présente invention a pour but de porter remède à ces inconvénients et donc de proposer un procédé de combustion applicable dans les chambres de combustion de fours, en particulier de fours existants, qui soit efficace avec une consommation uniquement de combustible solide pulvérulent.

Pour résoudre ce problème on a prévu un procédé de combustion tel qu'indiqué au début, dans lequel le jet de combustible solide présente une composante axiale de projection dans un même sens que ledit sens de propagation du gaz comburant dans la chambre de combustion cylindrique et dans lequel le rapport entre débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur et débit spécifique de quantité de mouvement du gaz comburant est égal ou inférieur à 1,0 et supérieur à zéro.

Le débit spécifique de quantité de mouvement est la mesure de la force d'un jet (par exemple jet du brûleur ou courant du comburant) divisée par la puissance du brûleur.

Le débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur utilisé est calculé selon l'équation (1) suivante :

$$Gax_brûleur = (Qmcs+Qmat) \times Vinj / P + Qmap \times Vap / P, \text{ où}$$

Qmcs = débit massique du combustible solide (kg/sec),

Qmat = débit massique de l'air de transport (kg/sec),

Qmap = débit massique de l'air primaire (kg/sec),

Vinj = vitesse d'injection axiale du combustible (m/sec)

Vap = vitesse d'injection axiale de l'air primaire, et

P = puissance du brûleur (MW).

La vitesse d'injection axiale se calcule selon l'équation (2) suivante :

Pour le combustible

Vinj = Qvat/Sb, où

Qvat = débit volumique réel de l'air de transport ($m^3$/sec), et

Sb = section droite du conduit d'injection du combustible dans le brûleur ($m^2$).

Pour l'air primaire

Vap= Qvap/Sap

Qvap = débit volumique réel de l'air primaire (m3/sec)

Sap = section droite du conduit d'injection de l'air primaire dans le brûleur (m2)

La puissance du brûleur se calcule selon l'équation (3) suivante :

P = Qmcs x PCI, où

PCI = pouvoir calorifique inférieur du combustible (MJ/kg).

Le débit spécifique de quantité de mouvement du gaz comburant est calculé selon l'équation (4) suivante :

Gax_comburant = Qmgc x Vgc/P, où

Qmgc = débit massique du gaz comburant (kg/sec), et

Vgc = vitesse axiale du gaz comburant autour du jet de combustible solide (m/sec).

La vitesse axiale du gaz comburant se calcule selon l'équation (5) suivante :

Vgc = Qvgc/Sch, où

Qvgc = débit volumique du gaz comburant ($m^3$/sec), et

Sch = section droite de la chambre de combustion ($m^2$).

Le principe de base dans la conception des brûleurs est qu'un brûleur doit avoir un débit de quantité de mouvement (vitesse d'injection x débit massique) important et suffisant pour que le jet central de combustible puisse aspirer le comburant arrivant à sa périphérie, en forçant ainsi le mélange combustible/comburant, ce qui accélère la combustion. L'aérodynamique d'une

flamme de conception traditionnelle est donc déterminée par le brûleur lui-même (voir figure 1).

Au contraire, le procédé suivant la présente invention s'appuie sur une aérodynamique qui est déterminée par le comburant arrivant dans la chambre de combustion. Le comburant force ici le combustible à pénétrer dans son courant par une adaptation du débit de quantité de mouvement du brûleur à celle du comburant (voir figure 2). Ce n'est donc plus le jet de combustible qui est moteur, c'est le combustible qui est entraîné par le comburant. Il en résulte un temps de séjour augmenté du combustible, avec pour effet la possibilité de mettre en œuvre un combustible uniquement sous une forme solide pulvérulente et d'obtenir une combustion totale de ce combustible dans la chambre de combustion.

Pour adapter ce débit de quantité de mouvement du brûleur on peut par exemple prévoir d'augmenter la section d'injection du combustible dans le nez du brûleur, ce qui a pour effet immédiat de diminuer la vitesse d'injection du combustible tout en conservant inchangés les débits de combustible et de comburant et la vitesse du comburant et ce qui est sans influence sur le fonctionnement du four lui-même. Il s'agit d'une modification mineure et aisée du nez du brûleur, avec effet immédiat sur le rapport revendiqué entre les débits spécifiques de quantité de mouvement qui est adapté de façon à devenir égal ou inférieur à 1,0. De préférence ce rapport sera compris entre 0,5 et 0,9.

Suivant un mode de réalisation du procédé suivant l'invention, la chambre de combustion cylindrique présente une première et une seconde extrémités axiales et le jet de combustible solide pulvérulent est projeté par le brûleur depuis la première extrémité axiale de la chambre de combustion vers la seconde extrémité axiale. Avantageusement le brûleur est agencé dans un ouvreau prévu dans la paroi frontale de la première extrémité de la chambre de combustion. Le jet de combustible solide peut ainsi entrer en contact avec le comburant sur toute la longueur de la chambre de combustion.

Suivant l'invention le gaz comburant est principalement un gaz de fumée remis en circulation, par exemple depuis le four de calcination. Ce gaz de fumée peut être enrichi en oxygène, par exemple par un apport d'air.

Avantageusement, le gaz comburant est alimenté tangentiellement dans la chambre de combustion à ladite première extrémité de celle-ci, de manière à former un courant hélicoïdal de gaz comburant autour du jet de combustible projeté par le brûleur. Cela favorise le mélange combustible-comburant. On peut naturellement aussi prévoir que le gaz comburant soit alimenté dans la chambre de combustion à ladite première extrémité de celle-ci, parallèlement à son axe et autour du jet de combustible projeté par le brûleur. La propagation du gaz comburant doit de toute manière suivre un sens de propagation vers l'extrémité aval de la chambre de combustion.

Pour favoriser encore en outre le mélange combustible-comburant on peut prévoir, suivant l'invention, une mise en rotation partielle ou totale du jet de combustible transporté par de l'air de transport. Celle-ci peut par exemple être obtenue en donnant un mouvement de rotation à l'air de transport, à l'aide d'ailettes directrices.

Le procédé suivant l'invention est prévu pour être de préférence mis en œuvre dans une chambre de combustion inférieure de four droit annulaire de calcination de roche calcaire ou dolomitique.

La présente invention concerne également une telle chambre de combustion comprenant, à une première extrémité axiale, un brûleur agencé pour projeter un jet de combustible solide pulvérulent dans cette chambre, et éventuellement un flux d'air primaire axial, et une entrée d'alimentation pour un gaz comburant disposée de manière à former un courant de gaz comburant suivant un sens de propagation autour du jet de combustible projeté par le brûleur, le brûleur étant agencé pour projeter le combustible solide suivant une composante axiale de projection ayant un même sens que le sens de propagation du courant de gaz comburant dans la chambre de combustion cylindrique, de manière à permettre la mise en œuvre du procédé suivant l'invention. Elle concerne aussi un four droit annulaire de calcination de roche calcaire ou dolomitique, comprenant au moins une telle chambre de combustion ainsi qu'un four droit annulaire de calcination de roche calcaire ou dolomitique, mettant en œuvre un procédé suivant l'invention.

L'invention va à présent être décrite de manière plus détaillée en se référant aux dessins annexés donnés à titre non limitatif.

La figure 1 représente de manière schématique une projection non conforme à l'invention d'un jet de combustible solide pulvérulent dans un four rotatif conventionnel.

La figure 2 représente de manière schématique une projection suivant l'invention d'un combustible solide pulvérulent dans une chambre de combustion par exemple de four de calcination droit annulaire.

La figure 3a représente une vue schématique selon une coupe longitudinale d'un brûleur non conforme à l'invention.

La figure 3b représente une vue en coupe axiale d'un brûleur utilisable pour la mise en œuvre du procédé suivant l'invention.

La figure 4a représente une vue schématique en perspective d'un brûleur non conforme à l'invention.

La figure 4b représente une vue schématique en perspective d'une forme de réalisation d'un brûleur utilisable pour la mise en œuvre du procédé suivant l'invention.

La figure 4c représente une vue schématique en perspective d'une autre forme de réalisation d'un brûleur utilisable pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

La figure 5 représente une vue en coupe axiale d'un four de calcination droit annulaire pourvu de chambres de combustion inférieures mettant en œuvre le procédé suivant l'invention.

Sur les différents dessins les éléments identiques portent les mêmes références.

Il est usuel de mettre en œuvre, dans les chambres de combustion de fours rotatifs industriels, des brûleurs qui sont alimentés uniquement en combustible solide pulvérulent. Les conditions prévues pour le fonctionnement de brûleurs de ce genre, dont la puissance est de 66 MW, dans un four rotatif dont le débit est de 1100t/jour sont résumées dans le tableau 1 ci-dessous.

**Tableau 1**

| | Débit | T (°C) | Vitesse (m/sec) | Gax (N/MW) |
|---|---|---|---|---|
| Comburant* | 165806 $m^3$/h | 550 | 2,5 | 0,74 |
| Air de transport | 22127 $m^3$/h | 50 | 60 | 6,10 |
| Charbon | 9000 kg/h | 50 | 60 | 2,28 |
| Total brûleur | | | | 8,38 |
| Gax_brûleur/Gax_comburant | | | | 11,29 |

*Le comburant est dans ce cas de l'air.

Comme on peut le constater le débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur (air de transport + charbon) est très supérieur à celui du comburant.

Sur la figure 1 cette chambre de combustion 1 est illustrée de manière schématique. Le combustible est projeté par le brûleur 2 à une vitesse d'injection 3 très élevée et le cône d'injection 4 formé par le combustible projeté hors du nez du brûleur a une forme très effilée. Grâce à cette vitesse d'injection élevée le comburant 5, alimenté autour du jet de combustible, est aspiré dans celui-ci.

Ainsi qu'il ressort de la figure 5, un four droit annulaire usuel pour la calcination de roche calcaire ou dolomitique comprend un cylindre extérieur 6 et un cylindre intérieur 7 formant un espace annulaire 8 dans lequel descend la matière à cuire. La matière crue est introduite par le haut du four en 9 et le produit cuit est déchargé par le bas en 10. Le combustible est injecté à deux niveaux, à travers plusieurs chambres de combustion supérieures 11 et inférieures 12 (de 4 à 6 chambres selon la capacité du four). De manière générale, 1/3 du combustible est injecté dans les chambres 11 et 2/3 dans les chambres 12. La totalité des fumées des chambres supérieures 11 et une partie des fumées des chambres inférieures 12 sont tirées vers le haut par un ventilateur de tirage 13, donc à contre-courant du mouvement de la charge de matière. Dans cette zone il se produit une calcination à contre-courant. L'autre partie des gaz de fumées des

chambres de combustion inférieures 12 est tirée vers le bas par une dépression créée au niveau des ouïes de reprise 14 prévues dans le cylindre intérieur 7, plus bas que les chambres de combustion 12. C'est la zone de calcination en co-courant. Au niveau des ouïes les fumées de la zone de calcination en co-courant se mélangent avec l'air de refroidissement introduit au bas du four en 15. Ce mélange forme les fumées de recirculation qui, en 16, sont récupérées du cylindre intérieur 7 et ramenées aux chambres de combustion inférieures 12 pour y devenir le gaz comburant. Par un conduit 17, ce gaz comburant 31 arrive à chacune des chambres 12 de manière tangentielle à l'axe de la chambre et donc au jet du brûleur 18 injecté axialement. De ce fait, le gaz comburant 31 acquiert un mouvement rotationnel qui induit une force centrifuge poussant le gaz comburant 31 vers les parois de la chambre de combustion cylindrique.

Des essais expérimentaux ont alors été réalisés pour appliquer à chacune des chambres de combustion d'un tel four de calcination annulaire usuel une alimentation du brûleur uniquement en combustible solide pulvérulent.

La figure 3b représente une coupe axiale d'une forme de réalisation de brûleur selon l'invention. Le brûleur comprend un manchon 21 comprenant un conduit central 20 par lequel est amené le combustible solide pulvérulent. Le manchon 21 comprend en outre au moins un conduit supplémentaire 23 par lequel du gaz combustible 26 peut être alimenté au moment de l'allumage du four, et uniquement à ce moment-là. Une enveloppe externe 22 enveloppe le manchon 21 et forme avec lui un espace au travers duquel de l'air primaire axial 5 peut être alimenté pour aider à la combustion. L'enveloppe externe 22 comprend une portion 19 dont le diamètre interne se réduit progressivement vers le nez du brûleur, et le manchon comprend une portion 27 dont le diamètre externe augmente progressivement vers le nez du brûleur de sorte à réduire l'espace entre le nez de l'enveloppe externe 22 et le nez du manchon 21. Cette réduction d'espace entre l'enveloppe externe 22 et le manchon permet d'augmenter la vitesse d'injection de l'air primaire axial 5 dans la chambre de combustion sans avoir à fournir un débit élevé d'air primaire axial. Le nez de l'enveloppe externe 22, le nez du manchon 21, le nez du conduit central 20 et le nez dudit au moins un conduit supplémentaire 23 passent par un plan orthogonal à l'axe 30 du brûleur.

La figure 4b représente une vue en perspective d'une première forme de réalisation de brûleur suivant l'invention. Le manchon 21 comprend un conduit central 20 par lequel est amené le combustible solide pulvérulent. Le manchon 21 comprend en outre un conduit supplémentaire 23 formant un mince espace annulaire, par lequel du gaz combustible 26 peut être alimenté au moment de l'allumage du four, et uniquement à ce moment-là. Une enveloppe externe 22 (non représentée sur la figure 4b) enveloppe le manchon 21 et forme un espace au travers duquel de l'air primaire axial 5 peut être alimenté pour aider à la combustion.

La figure 4c représente une vue en perspective d'une autre forme de réalisation du brûleur suivant l'invention. Le manchon 21 comprend un conduit central 20 par lequel est amené le combustible solide pulvérulent. Le manchon 21 comprend en outre une pluralité de conduits supplémentaires 23 répartis autour du conduit central 20, ces conduits supplémentaires 23 par lequel du gaz combustible 26 peut être alimenté au moment de l'allumage du four, et uniquement à ce moment-là. Une enveloppe externe 22 (non représentée sur la figure 4c) enveloppe le manchon 21 et forme un espace au travers duquel de l'air primaire axial 5 peut être alimenté pour aider à la combustion.

Selon d'autres formes de réalisations possibles du brûleur, une réduction d'espace entre le manchon 21 et l'enveloppe externe 22 peut être réalisée uniquement en diminuant le diamètre interne de l'enveloppe 22 au niveau du nez du brûleur et en gardant le diamètre externe du manchon 21 constant, ou alternativement en augmentant le diamètre externe du manchon 21 au niveau du nez du bruleur tout en gardant le diamètre interne de l'enveloppe 22 constant. Cette réduction d'espace entre le manchon 21 et l'enveloppe permet de fournir une vitesse d'injection d'air primaire plus élevée à la sortie du brûleur.

Selon une autre forme de réalisation possible du brûleur, le diamètre interne de l'enveloppe 22, le diamètre externe du manchon 21 et l'espace entre le manchon 21 et l'enveloppe externe restent constant. Dans ce cas, le débit d'air primaire axial ou le volume du manchon 21 ou le volume de l'intérieur de l'enveloppe 22 sont adaptés pour permettre à l'air primaire axial de sortir à une vitesse prédéfinie au nez du brûleur.

La figure 5 représente un schéma d'un four annulaire et comprend une représentation d'une forme de réalisation d'une chambre de combustion 12 cylindrique selon l'invention. Dans cette forme de réalisation, la chambre de combustion comprend une entrée formant l'enveloppe 22 du brûleur 18 et l'axe 30 du brûleur est préférablement situé dans l'axe 30' de la chambre de combustion cylindrique 12. La chambre de combustion 12 comprend en outre une entrée de gaz comburant 31 située tangentiellement par rapport à l'axe 30, 30' du brûleur et de la chambre de combustion cylindrique, tel que décrit plus haut. Les gaz de combustion sont ensuite évacués de la chambre de combustion par un conduit.

Les conditions prévues pour le fonctionnement d'un brûleur tel que décrit à l'aide de l'exemple de la figure 3b, dont la puissance est de 1,13 MW, dans un four annulaire doté de 4 chambres de combustion inférieures et dont le débit de chaux est de 150t/jour, sont résumées dans le tableau 2 ci-dessous.

**Tableau 2**

| | Débit | T(°C) | Vitesse (m/sec) | Gax (N/MW) |
|---|---|---|---|---|
| Comburant* | 10995 $m^3$/h | 700 | 6,1 | 5,99 |
| Air primaire axial | 700 $m^3$/h | 200 | 34 | 1,89 |
| Air de transport | 199 $m^3$/h | 50 | 60 | 3,19 |
| Charbon | 185 kg/h | 50 | 60 | 2,73 |
| Total brûleur | | | | 7,81 |
| Gax_brûleur/Gax_comburant | | | | 1,30 |

*Le comburant est dans ce cas formé des gaz de recirculation.

La vitesse d'injection du combustible transporté par de l'air est obtenue par passage dans le conduit 20 qui présente une section de 0,001 $m^2$. La « force » du brûleur, c'est-à-dire son débit spécifique de quantité de mouvement (air primaire axial + air de transport + charbon) est encore légèrement supérieure à celle du comburant, mais elle est insuffisante pour aspirer le comburant dans le combustible. Elle n'est pas à comparer avec celle du four rotatif décrit plus haut. Et on observe donc une combustion insatisfaisante avec un four présentant les inconvénients décrits précédemment.

On a à présent prévu, pour un four de calcination annulaire ayant le même débit de chaux de 150 t/jour et doté de chambres de combustion inférieures identiques avec des brûleurs de même puissance, de diminuer le débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur, au contraire de ce qu'aurait imaginé l'homme de métier sur base de ses connaissances. Les conditions nouvelles appliquées sont celles indiquées dans le tableau 3.

**Tableau 3**

| | Débit | T(°C) | Vitesse (m/sec) | Gax (N/MW) |
|---|---|---|---|---|
| Comburant* | 10995 $m^3$/h | 700 | 6,1 | 5,99 |
| Air primaire axial | 700 $m^3$/h | 200 | 34 | 1,89 |
| Air de transport | 199 $m^3$/h | 50 | 35 | 1,85 |
| Charbon | 185 kg/h | 50 | 35 | 1,58 |
| Total brûleur | | | | 5,32 |
| Gax_brûleur/Gax_comburant | | | | 0,88 |

*Le comburant est dans ce cas formé des gaz de recirculation.

Comme on peut le constater, seule la vitesse d'injection du combustible solide pulvérulent déplacé par l'air de transport a été modifiée, à presque la moitié de sa valeur. Une telle modification a pu être obtenue par une adaptation de la section du conduit 20, à une valeur de 0,002 $m^2$. Cette modification mineure a induit l'obtention d'un rapport entre débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur et débit spécifique de quantité de mouvement du comburant nettement inférieur à 1.

D'une manière surprenante, on a alors constaté que cette simple modification donnait lieu à une flamme, initiée très vite, aussi rapidement qu'avec du gaz naturel, et surtout que, à présent, c'était le combustible qui était aspiré dans le courant hélicoïdal du gaz comburant.

Ce phénomène est représenté de manière schématique sur la figure 2. Etant donné sa vitesse d'injection 3 faible, le combustible projeté par le brûleur 2 forme un cône de projection 4 plus ouvert et il est en outre aspiré dans le courant de gaz comburant qui devient le moteur.

Une expérience identique a été réalisée sur un brûleur, dont la puissance est de 1,81 MW, dans un four droit annulaire doté de 5 chambres de combustion et dont le débit est de 300t/jour. Les conditions de fonctionnement avec un brûleur dont la section du conduit d'alimentation de combustible est de 0,001 $m^2$ sont données dans le tableau 4.

**Tableau 4**

| | Débit | T (°C) | Vitesse (m/sec) | Gax (N/MW) |
|---|---|---|---|---|
| Comburant* | 17592 $m^3$/h | 700 | 6,2 | 6,13 |
| Air primaire axial | 1400 $m^3$/h | 200 | 34 | 1,89 |
| Air de transport | 318 $m^3$/h | 50 | 60 | 3,19 |
| Charbon | 296 kg/h | 50 | 60 | 2,73 |
| Total brûleur | | | | 7,81 |
| Gax_brûleur/Gax_comburant | | | | 1,27 |

*Le comburant est dans ce cas formé des gaz de recirculation.

Ce résultat s'est avéré insatisfaisant pour obtenir un mélange satisfaisant combustible-comburant dans la chambre de combustion et donc une combustion totale du combustible solide pulvérulent dans celle-ci.

En modifiant la vitesse d'injection du combustible, par un agrandissement de la section du conduit d'injection à 0,002 $m^2$, on obtient les conditions données dans le tableau 5 ci-dessous :

**Tableau 5**

| | Débit | T (°C) | Vitesse (m/sec) | Gax (N/MW) |
|---|---|---|---|---|
| Comburant* | 17592 $m^3$/h | 700 | 6,2 | 6,13 |
| Air primaire axial | 1400 $m^3$/h | 200 | 34 | 1,89 |
| Air de transport | 318 $m^3$/h | 50 | 35 | 1,86 |
| Charbon | 296 kg/h | 50 | 35 | 1,59 |
| Total brûleur | | | | 5,34 |
| Gax_brûleur/Gax_comburant | | | | 0,87 |

*Le comburant est dans ce cas formé des gaz de recirculation.

Cet agencement permet un temps de séjour des particules augmenté drastiquement dans la chambre de combustion et donc l'oxygène est mieux disponible et la combustion est complète à l'intérieur de la chambre de combustion.

Il doit être entendu que la présente invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation indiqués ci-dessus et que bien des modifications peuvent y être apportées sans sortir du cadre des revendications annexées.

On peut par exemple ajouter un mouvement propre au brûleur, soit en ajoutant des ailettes de rotation dans le circuit du combustible solide pulvérulent, soit en ajoutant des ailettes de rotation au circuit d'air de transport ou au circuit d'air primaire axial, ou encore une combinaison de ces mesures. On peut aussi ajouter en périphérie du brûleur un circuit d'air supplémentaire amené en rotation pour aider à l'ouverture du cône de projection du combustible dans la chambre.

On peut aussi injecter le combustible directement dans le courant de gaz comburant, par exemple au point d'arrivée de celui-ci dans la chambre de combustion, mais avant sa mise en rotation.

Il est aussi tout à fait envisageable de ne pas alimenter d'air primaire dans le brûleur, ce qui peut modifier les valeurs du rapport revendiqué par rapport à celles obtenues avec un brûleur dans lequel de l'air primaire est fourni.

Dans un brûleur sans air primaire, lorsqu'on met en œuvre un jet de combustible à une vitesse d'injection Vinj égale à 15 m/sec, le rapport revendiqué peut même devenir égal à 0,25. A une vitesse d'injection Vinj de 45 m/sec, il sera alors de 0,74.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de combustion de combustible dans une chambre de combustion cylindrique, comprenant, dans cette chambre de combustion,

- une projection, à partir d'un brûleur, d'un jet de combustible solide pulvérulent déplacé par un air de transport, et éventuellement d'un flux d'air primaire, et
- une alimentation en un gaz comburant suivant un sens de propagation de manière à former un courant de gaz comburant autour du jet de combustible projeté par le brûleur, à une température occasionnant une combustion du combustible,

caractérisé en ce que le jet de combustible solide présente une composante axiale de projection dans un même sens que ledit sens de propagation du gaz comburant dans la chambre de combustion cylindrique, et en ce que le rapport entre débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur et débit spécifique de quantité de mouvement du gaz comburant est égal ou inférieur à 1,0 et supérieur à zéro.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le rapport entre débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur et débit spécifique de quantité de mouvement du gaz comburant est compris entre 0,25 et 0,9.

3. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la chambre de combustion cylindrique présente une première et une seconde extrémités axiales et en ce que le jet de combustible solide pulvérulent est projeté par le brûleur depuis la première extrémité axiale de la chambre de combustion vers la seconde extrémité axiale.

4. Procédé suivant la revendication 3, caractérisé en ce que le gaz comburant est alimenté tangentiellement dans la chambre de combustion à ladite première extrémité de celle-ci, de manière à former un courant hélicoïdal de gaz comburant autour du jet de combustible projeté par le brûleur.

5. Procédé suivant la revendication 3, caractérisé en ce que le gaz comburant est alimenté dans la chambre de combustion à ladite première

extrémité de celle-ci, parallèlement à son axe et autour du jet de combustible projeté par le brûleur.

6. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend une mise en rotation partielle ou totale du jet de combustible transporté par de l'air de transport.

7. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend une mise en rotation partielle ou totale du flux d'air primaire.

8. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le gaz comburant est un gaz de fumée remis en circulation.

9. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ladite chambre de combustion est une chambre de combustion inférieure de four droit annulaire de calcination de roche minérale.

10. Chambre de combustion cylindrique comprenant, à une première extrémité axiale, un brûleur agencé pour projeter un combustible solide pulvérulent dans cette chambre et une entrée d'alimentation pour un gaz comburant disposée de manière à former un courant de gaz comburant suivant un sens de propagation autour du jet de combustible projeté par le brûleur, caractérisée en ce que le brûleur est agencé pour projeter le combustible solide suivant une composante axiale de projection ayant un même sens que ledit sens de propagation des gaz dans la chambre de combustion cylindrique, cette chambre étant agencée pour la mise en œuvre du procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 9.

11. Four droit annulaire de calcination de roche minérale, comprenant au moins une chambre de combustion suivant la revendication 10.

12. Four droit annulaire de calcination de roche minérale, mettant en œuvre un procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 11.

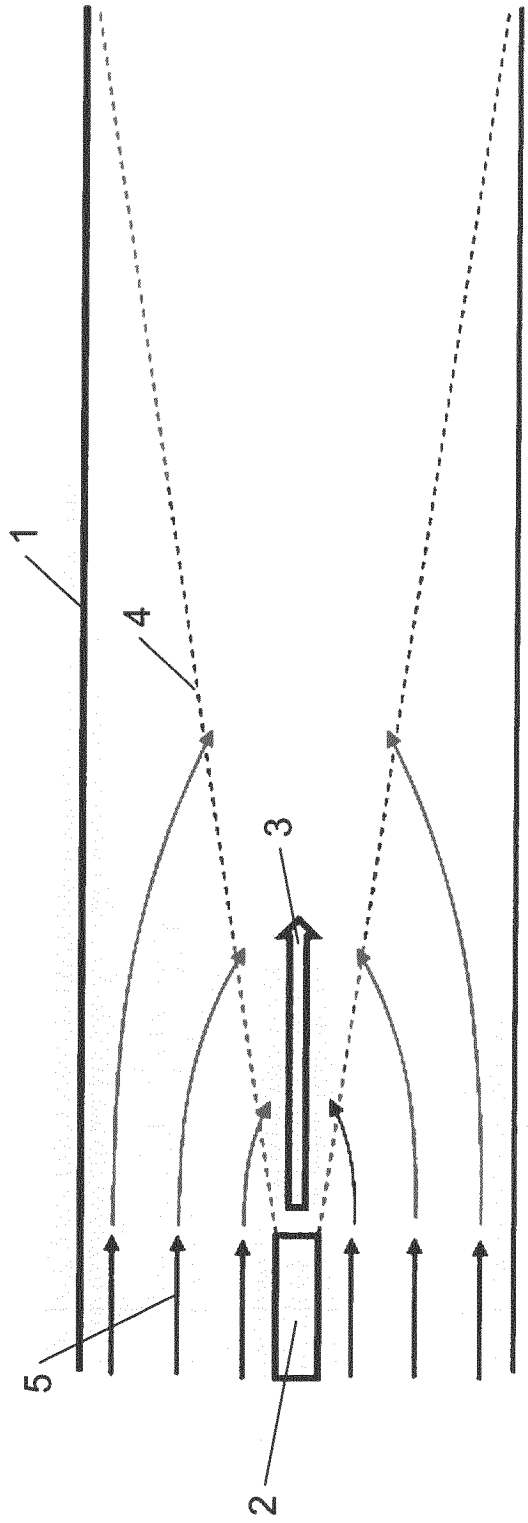



Fig. 1

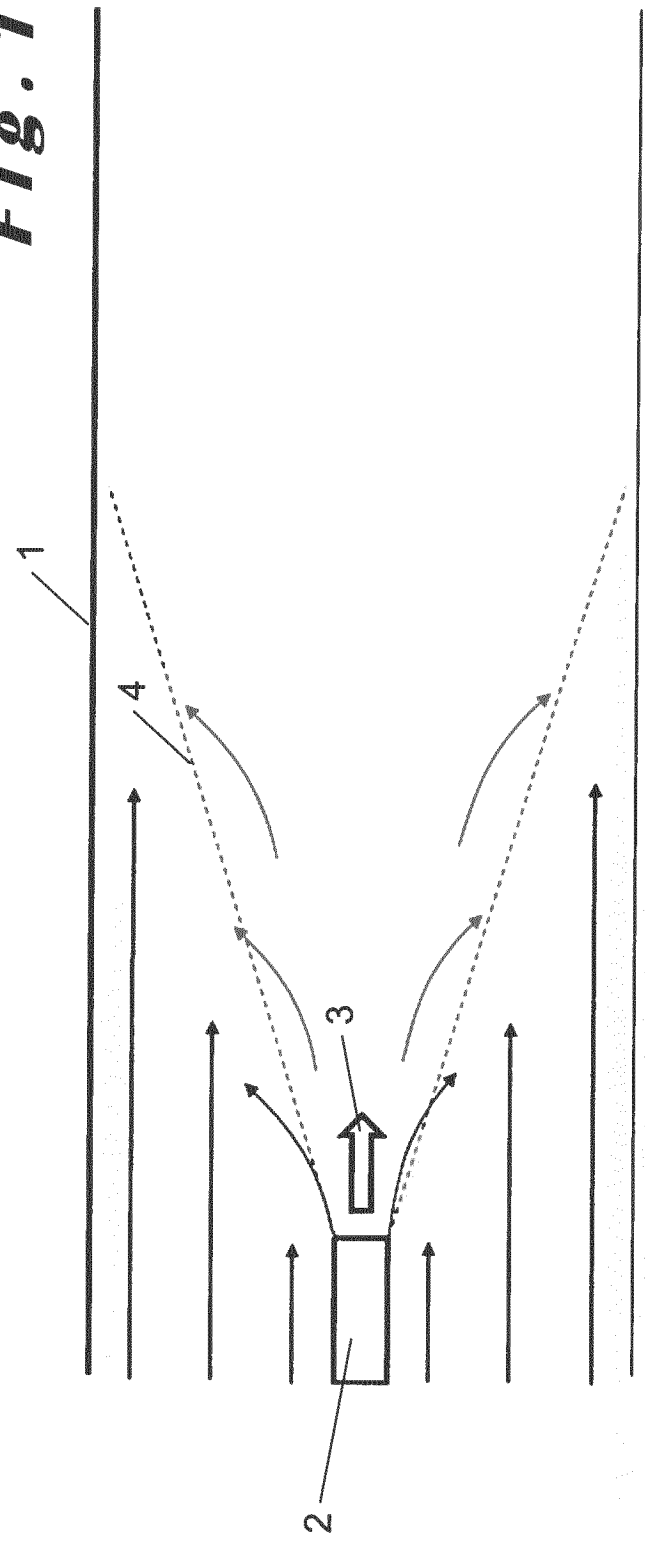



Fig. 2

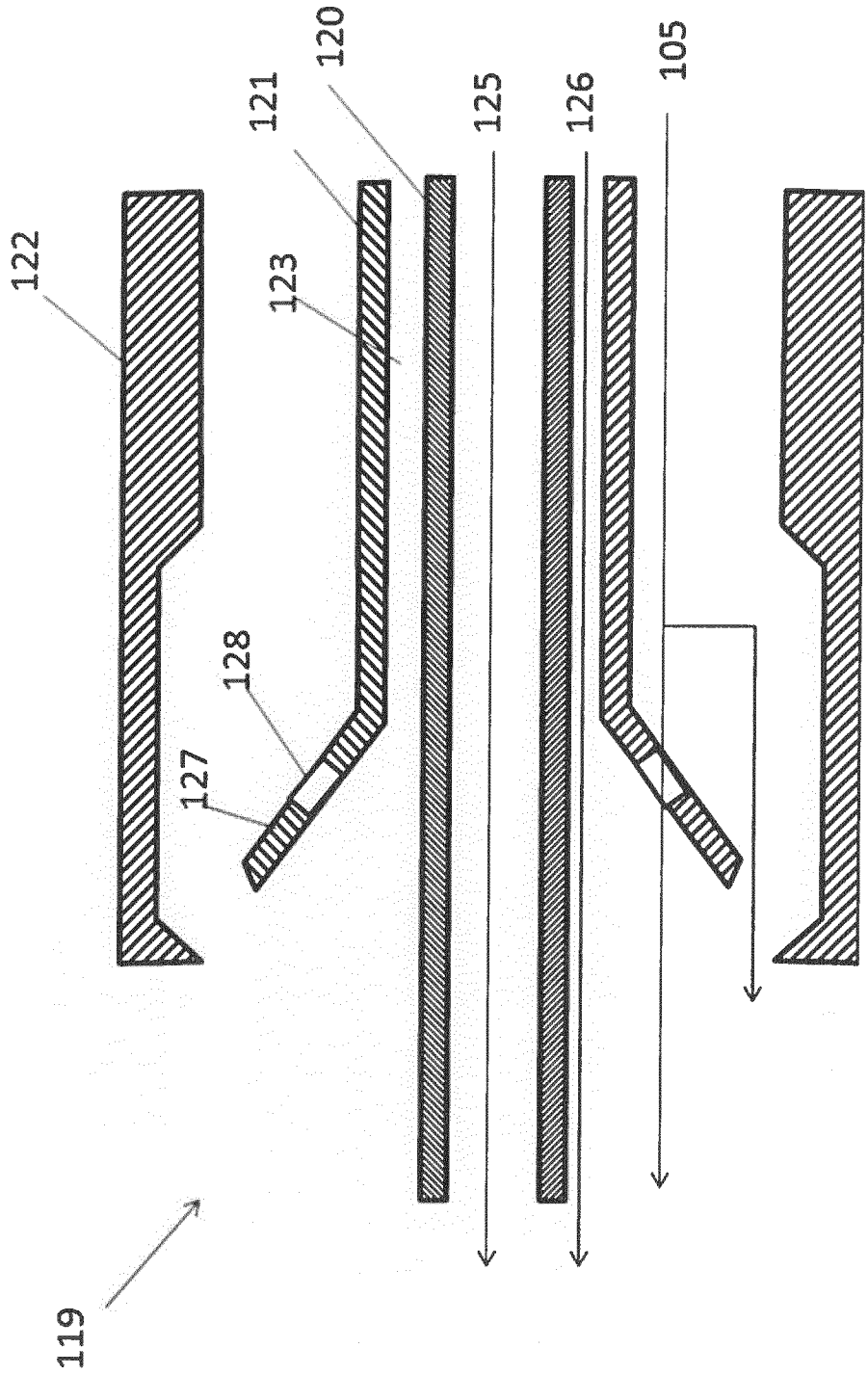



Fig. 3a

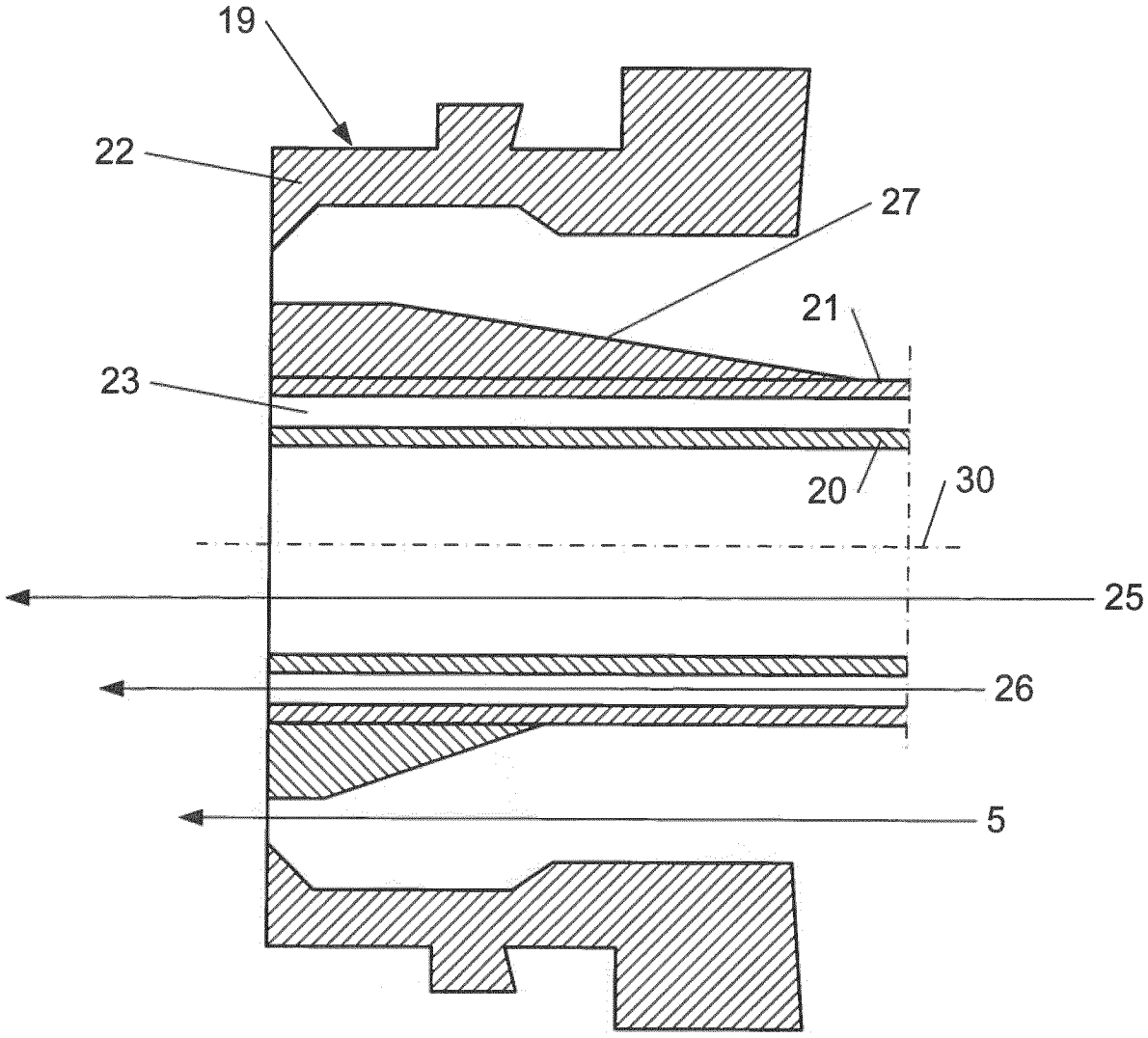



Fig. 3b

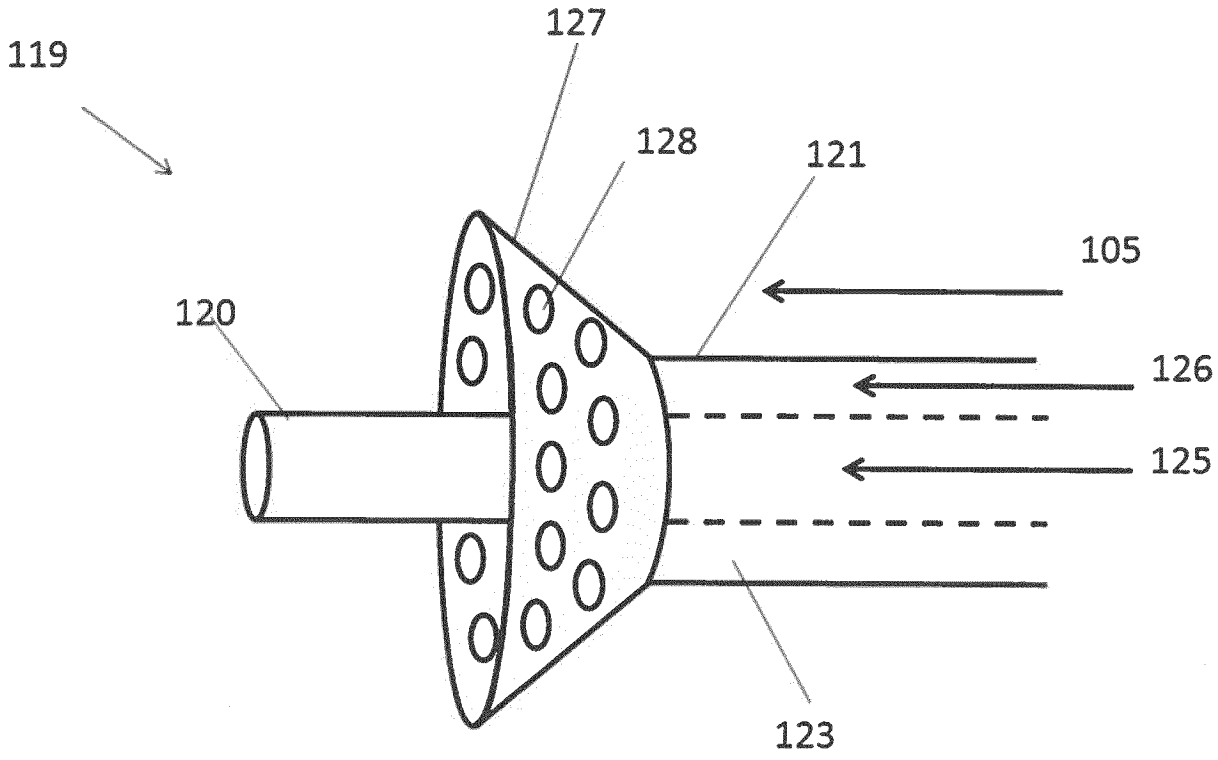



*Fig. 4a*

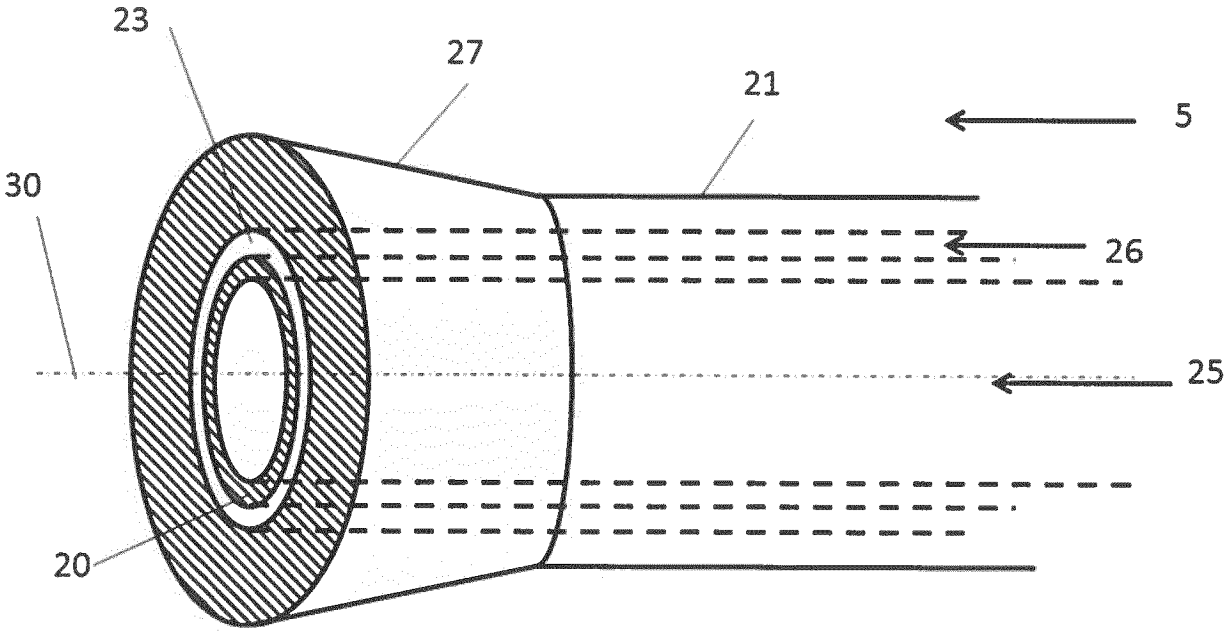



Fig. 4b

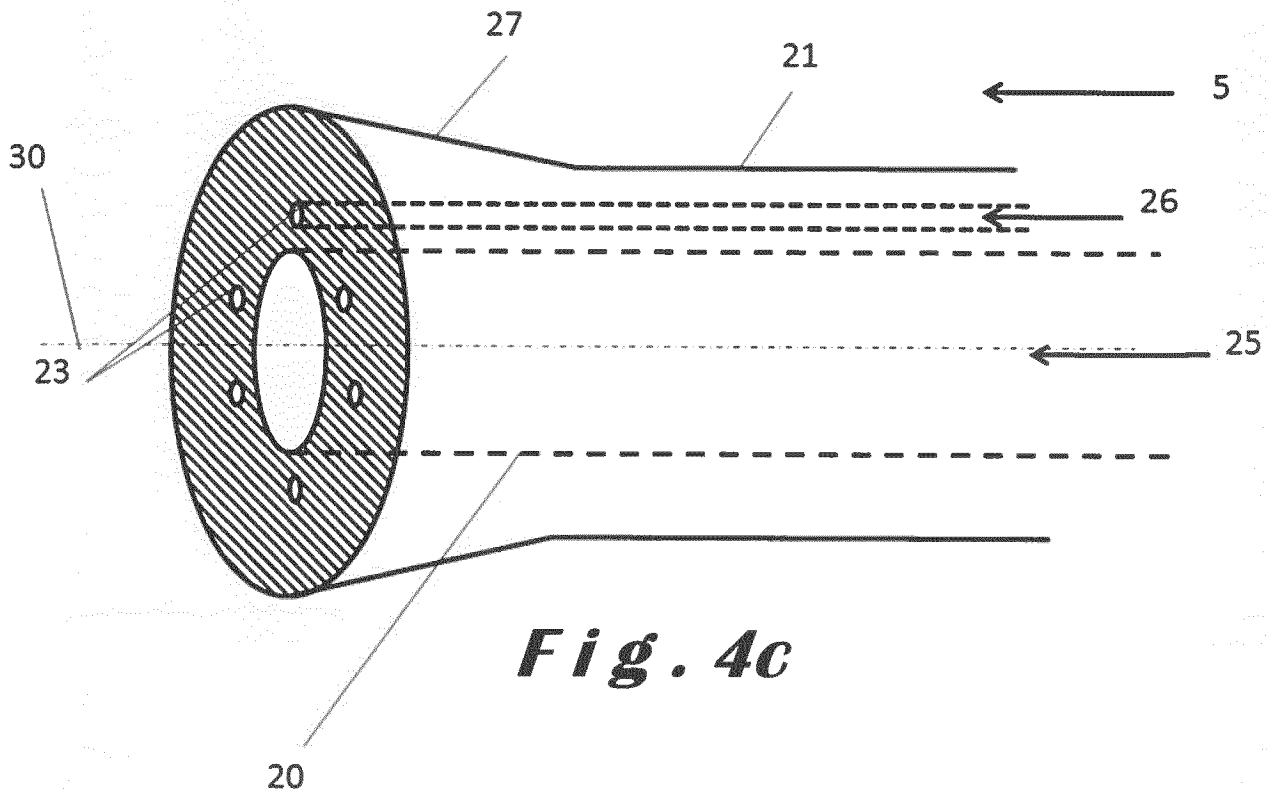



Fig. 4c

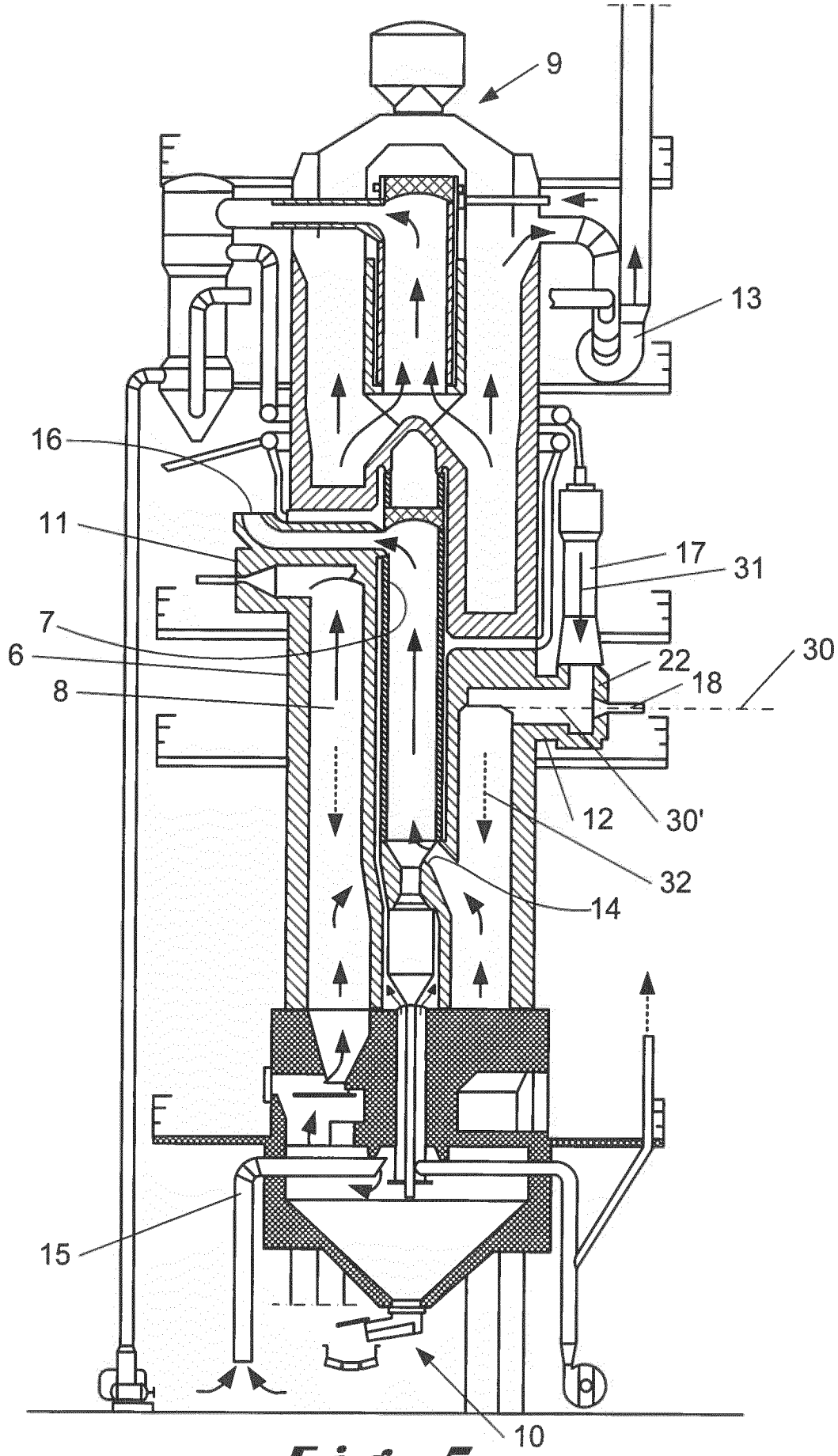



Fig. 5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/066018

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F23C3/00 F23D1/02 F23D99/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F23C F23D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| Y | BE 1 015 604 A3 (SCHOPPE FRITZ [DE])<br>7 June 2005 (2005-06-07)<br>cited in the application<br>page 1, line 6 - line 11<br>page 3, line 18 - page 5, line 24<br>page 13, line 13 - page 14, line 2<br>figures 1,4 | 1-12 |
| Y | US 2006/169181 A1 (YOUN JONG-OG [KR] ET AL) 3 August 2006 (2006-08-03)<br>page 1, paragraph 1<br>page 6, paragraph 172 - page 7, paragraph 176<br>figures 4-5B | 1-12 |

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

| Date of the actual completion of the international search | Date of mailing of the international search report |
|---|---|
| 14 July 2017 | 25/07/2017 |

| Name and mailing address of the ISA/ | Authorized officer |
|---|---|
| European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Gavriliu, Costin |

1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/066018

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| A | EP 2 143 998 A2 (RHEINKALK GMBH [DE])<br>13 January 2010 (2010-01-13)<br>cited in the application<br>column 1, paragraph 1<br>column 5, paragraph 24 - column 7,<br>paragraph 37<br>figures 2,3<br>----- | 1,8,9,<br>11,12 |

1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2017/066018

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---|---|---|
| BE 1015604 A3 | 07-06-2005 | BE 1015604 A3 | 07-06-2005 |
| | | DE 10232373 A1 | 29-01-2004 |
| | | FR 2842584 A1 | 23-01-2004 |
| US 2006169181 A1 | 03-08-2006 | DE 112004000319 T5 | 02-02-2006 |
| | | JP 2006518695 A | 17-08-2006 |
| | | US 2006169181 A1 | 03-08-2006 |
| | | WO 2004087601 A1 | 14-10-2004 |
| EP 2143998 A2 | 13-01-2010 | EP 2143998 A2 | 13-01-2010 |
| | | EP 2304316 A2 | 06-04-2011 |
| | | ES 2394539 T3 | 01-02-2013 |
| | | PT 2143998 E | 10-12-2012 |
| | | SI 2143998 T1 | 31-01-2013 |
| | | WO 2010004009 A2 | 14-01-2010 |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2017/066018

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. F23C3/00 F23D1/02 F23D99/00
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
F23C F23D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie* | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées |
|---|---|---|
| Y | BE 1 015 604 A3 (SCHOPPE FRITZ [DE])<br>7 juin 2005 (2005-06-07)<br>cité dans la demande<br>page 1, ligne 6 - ligne 11<br>page 3, ligne 18 - page 5, ligne 24<br>page 13, ligne 13 - page 14, ligne 2<br>figures 1,4 | 1-12 |
| | ----- | |
| Y | US 2006/169181 A1 (YOUN JONG-OG [KR] ET AL) 3 août 2006 (2006-08-03)<br>page 1, alinéa 1<br>page 6, alinéa 172 - page 7, alinéa 176<br>figures 4-5B | 1-12 |
| | ----- | |
| | -/-- | |

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

| Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée | Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale |
|---|---|
| 14 juillet 2017 | 25/07/2017 |

| Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale | Fonctionnaire autorisé |
|---|---|
| Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Gavriliu, Costin |

1

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie* | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées |
|---|---|---|
| A | EP 2 143 998 A2 (RHEINKALK GMBH [DE])<br>13 janvier 2010 (2010-01-13)<br>cité dans la demande<br>colonne 1, alinéa 1<br>colonne 5, alinéa 24 - colonne 7, alinéa 37<br>figures 2,3<br>----- | 1,8,9,<br>11,12 |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

**Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets**

**Demande internationale n°**
PCT/EP2017/066018

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|---|---|---|
| BE 1015604 A3 | 07-06-2005 | BE 1015604 A3 | 07-06-2005 |
| | | DE 10232373 A1 | 29-01-2004 |
| | | FR 2842584 A1 | 23-01-2004 |
| US 2006169181 A1 | 03-08-2006 | DE 112004000319 T5 | 02-02-2006 |
| | | JP 2006518695 A | 17-08-2006 |
| | | US 2006169181 A1 | 03-08-2006 |
| | | WO 2004087601 A1 | 14-10-2004 |
| EP 2143998 A2 | 13-01-2010 | EP 2143998 A2 | 13-01-2010 |
| | | EP 2304316 A2 | 06-04-2011 |
| | | ES 2394539 T3 | 01-02-2013 |
| | | PT 2143998 E | 10-12-2012 |
| | | SI 2143998 T1 | 31-01-2013 |
| | | WO 2010004009 A2 | 14-01-2010 |