(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
14 octobre 2021 (14.10.2021)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2021/204725 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F23C 3/00 (2006.01) *B01D 53/62* (2006.01)
F23C 9/06 (2006.01) *C04B 2/12* (2006.01)
F23D 99/00 (2010.01) *F27B 1/04* (2006.01)
F23L 7/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2021/058805

(22) Date de dépôt international :
02 avril 2021 (02.04.2021)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
BE2020/5223 07 avril 2020 (07.04.2020) 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).

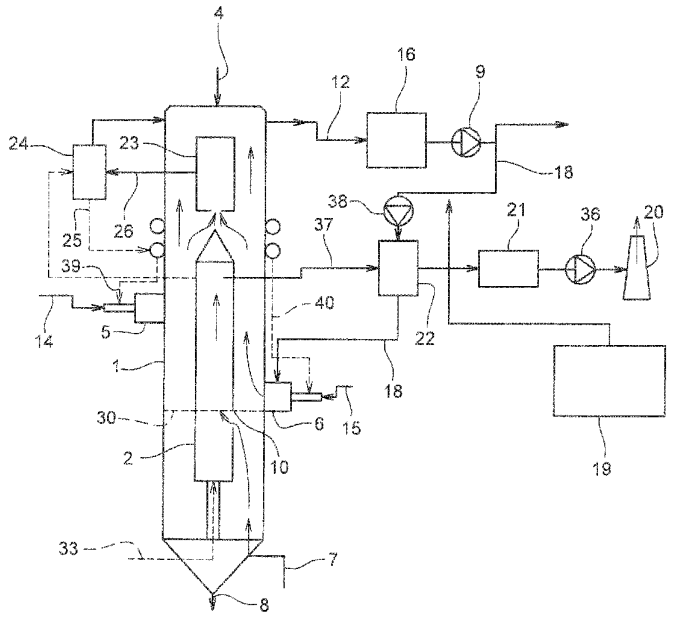
(74) Mandataire : **CALYSTA NV** ; Lambroekstraat 5A, 1831 Diegem (BE).

(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, IT, 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,

(54) **Title:** METHOD FOR CALCINING LIME OR DOLOMITE AND ANNULAR SHAFT FURNACE USED

(54) **Titre :** PROCÉDÉ DE CALCINATION DE CHAUX OU DOLOMIE ET FOUR DROIT ANNULAIRE MIS EN OEUVRE

Fig. 3



(57) **Abstract:** Method for calcination in an annular shaft furnace comprising a supply of material to be calcined at the top of an annular space (3) of the furnace into which the material descends, an introduction in (5) of first and in (6) of second combustion flue gases into this annular space, a discharge at the top of the furnace in (12) of an upper gas stream, a removal in (18) of a portion of the upper gas stream, a formation of a first oxidizing mixture by mixing this portion of the upper gas stream with pure dioxygen (19) and, to form the second combustion flue gases, a combustion of a fuel in this first oxidizing mixture, as well as an elimination in (20) of a lower gas stream containing the air for cooling the product, after said cooling.

(57) **Abrégé :** Procédé de calcination dans un four droit annulaire comprenant une alimentation en matière à calciner au haut d'un

[Suite sur la page suivante]

WO 2021/204725 A1

OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(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))*

espace annulaire (3) du four dans lequel elle descend, une introduction en (5) de premières et en (6) de secondes fumées de combustion dans cet espace annulaire, une évacuation au haut du four en (12) d'un courant gazeux supérieur, un prélèvement en (18) d'une partie du courant gazeux supérieur, une formation d'un premier mélange comburant par mélange de cette partie de courant gazeux supérieur avec du dioxygène pur (19), et, pour former lesdites secondes fumées de combustion, une combustion d'un combustible dans ce premier mélange comburant, ainsi qu'une élimination en (20) d'un courant gazeux inférieur contenant l'air de refroidissement de produit, après ce refroidissement.

Procédé de calcination de chaux ou dolomie et four droit annulaire mis en œuvre

La présente invention se rapporte à un procédé de calcination de chaux ou dolomie dans un four droit annulaire présentant un cylindre externe et un cylindre interne formant entre eux un espace annulaire. On connaît un procédé de ce type qui comprend

- une alimentation en matière à calciner calcaire ou dolomitique au haut de l'espace annulaire dans lequel elle descend,
- une introduction de premières fumées de combustion dans ledit espace annulaire, à un premier niveau du four,
- une introduction de secondes fumées de combustion dans ledit espace annulaire, à un second niveau du four inférieur au premier niveau susdit,
- un préchauffage et une calcination de la matière à calciner en cours de descente dans l'espace annulaire, au contact des premières fumées de combustion et de secondes fumées de combustion qui subissent un tirage vers le haut, en contre-courant de la matière à calciner, et sont évacuées au haut du four sous la forme d'un courant gazeux supérieur,
- un refroidissement de la matière calcinée par amenée d'air de refroidissement de produit au bas de l'espace annulaire,
- une aspiration de cet air de refroidissement à l'intérieur du cylindre interne, à un troisième niveau du four inférieur au second niveau susdit, en y formant un courant gazeux inférieur contenant l'air de refroidissement de produit, et
- un déchargement de chaux ou dolomie calcinée au bas du four (voir demande de brevet internationale WO2018/002151).

Au cours de ce processus, la matière calcaire ou dolomitique de départ dégage un important volume de CO_2 pendant sa calcination en chaux ou dolomie. De plus, pour réaliser cette calcination, il faut atteindre des températures élevées et donc procéder à la combustion de combustibles, ce qui, à son tour, provoque un dégagement important de CO_2. Globalement, les procédés de calcination présentent l'inconvénient de participer activement à l'augmentation de l'effet de serre.

Ce procédé tout à fait courant présente en outre l'inconvénient de prévoir une combustion de combustible avec de l'air et le refroidissement du produit calciné par de l'air. Il en résulte un dégagement au haut du four d'un courant gazeux présentant un taux élevé d'azote diatomique, et un taux comparativement faible de CO_2 (concentration en volume de l'ordre de 25% à 35% sur gaz sec), qu'il est coûteux de capturer en raison de la forte présence de diazote provenant de l'air utilisé.

Des tentatives ont déjà été mises en œuvre pour permettre d'éviter ces inconvénients.

On connaît déjà un four de calcination où un recyclage du CO_2 est prévu (US2020/0048146). Dans ce four, le CO_2 issu de la calcination est, en partie, chauffé et recyclé dans le four pour provoquer la calcination de la matière première et, en partie, dégagé hors de l'appareil sous forme d'effluent concentré en CO_2. Le gaz recyclé doit toutefois être chauffé à la température de calcination. Pour cela la combustion d'un combustible est requise et est effectuée dans l'air en dégageant un effluent gazeux où le CO_2 se trouve sous forme diluée.

On connaît également une chaudière à lit fluidisé dans laquelle on introduit du calcaire afin de capter, par la chaux formée, le soufre provenant du combustible utilisé et d'évacuer ainsi le soufre dans les cendres sous la forme de sulfate de calcium. Après plusieurs échanges

de chaleur, pour produire notamment de la vapeur, une partie des gaz de fumées est, après dépoussiérage, réchauffée par échange de chaleur avec ces mêmes gaz de fumées sortant de la chaudière et elle est ensuite mélangée à du dioxygène pour former un comburant adapté à la réalisation d'une combustion avec le combustible dans la chaudière (voir US2010/0077947).

La présente invention a pour but, à des fins d'utilisation ou de séquestration, de permettre une capture partielle ou totale du CO_2 dégagé au cours du procédé de calcination dans un four droit annulaire, non seulement lors de la calcination proprement dite, mais aussi au cours de la combustion du combustible nécessaire pour atteindre la température de calcination, et cela sans modification, ou sans modification majeure, du four droit annulaire et du procédé qui y est mis en œuvre. L'objectif principal des fours de calcination droits annulaires doit évidemment être maintenu, c'est-à-dire la production d'une matière calcinée de hautes qualité et pureté.

Pour résoudre ce problème il est prévu que le procédé indiqué plus haut comprenne

- un prélèvement d'une partie du courant gazeux supérieur, évacué du four,
- une formation d'un premier mélange comburant par mélange de cette partie de courant gazeux supérieur avec du dioxygène pur,
    - une combustion d'un combustible dans ce premier mélange comburant, pour former lesdites secondes fumées de combustion, et
    - une extraction du courant gazeux inférieur contenant l'air de refroidissement de produit hors du cylindre interne, suivie de son évacuation hors du four

Cette combustion dans du dioxygène donnant lieu aux secondes fumées de combustion a pour effet de produire dans celles-ci principalement du CO_2 à côté de quelques impuretés, présentes sous la forme de traces dans le combustible et dans la matière à calciner, et d'un peu d'oxygène non consommé par la combustion du combustible. Il en résulte évidemment une augmentation drastique de la teneur en CO_2 du courant gazeux dégagé au haut du four.

La combustion du combustible dans du dioxygène pur donnerait lieu à des températures de flamme trop élevées pour les équipements usuels du four. Aussi, il est prévu suivant l'invention de prélever une partie du courant gazeux supérieur riche en CO_2 et de le mélanger au dioxygène. Au lieu d'un comburant usuel formé du mélange $O_2 + N_2$ de l'air, on obtient ainsi un mélange $O_2 + CO_2$ à température de flamme appropriée, en produisant au haut du four un courant gazeux de plus en plus concentré en CO_2. Ce CO_2 devient ainsi utilisable ou séquestrable dans des conditions favorables, ce qui permet de diminuer radicalement la contribution à l'effet de serre du four.

Enfin, suivant ce procédé, l'air de refroidissement de produit introduit au bas du four est totalement canalisé de manière à ne pouvoir en aucune manière diluer l'effluent gazeux qui s'échappe au haut du four.

La mise en œuvre de ce procédé ne requiert pas nécessairement d'aménagement particulier du four en soi. Les seules modifications à apporter à celui-ci peuvent être simplement extérieures au four et consister à changer les circuits des fumées sortant du four, en particulier en prévoyant une sortie du courant gazeux inférieur séparée de celle du courant gazeux supérieur, ainsi qu'à prévoir au moins une source de dioxygène pur.

Par dioxygène pur (encore appelé oxygène dans la suite), il faut entendre suivant l'invention un gaz dont le taux en oxygène dépasse 50% en volume. Il sera de préférence égal ou supérieur à 95%, avantageusement de 98 à 100% en volume. La source de dioxygène pur peut, par exemple, être une unité de séparation d'air qui sépare l'air en dioxygène et diazote (encore appelé dans la suite azote) et qui travaille en parallèle au four, ou encore un réservoir de dioxygène installé à côté du four.

Par combustible, on entend, suivant l'invention, tout combustible solide, liquide ou gazeux, par exemple du gaz naturel, de l'hydrogène, du biogaz, du fioul, des huiles, du charbon ou du coke en poudre, de la biomasse solide, comme de la sciure de bois, du combustible solide de récupération, comme des plastiques, du papier, des cartons, etc.

Suivant un mode de réalisation de l'invention, ledit tirage vers le haut et ladite aspiration dans ledit cylindre interne sont réglés de manière à s'équilibrer dans l'espace annulaire de telle façon qu'une première partie des secondes fumées de combustion est amenée, par ledit tirage vers le haut de l'espace annulaire, en contre-courant de la matière à calciner, et qu'une seconde partie des secondes fumées de combustion est amenée vers le bas de l'espace annulaire, en co-courant de la matière à calciner, puis à l'intérieur du cylindre interne, par ladite aspiration de l'air de refroidissement de produit, en formant un mélange d'air de refroidissement de produit et de secondes fumées de combustion, à titre de courant gazeux inférieur susdit extrait hors du cylindre interne et évacué du four.

Conformément à ce mode de réalisation, le four n'a subi aucun aménagement intérieur, c'est-à-dire qu'il prévoit, comme dans les fours droits annulaires usuels, une zone de calcination en contre-courant

de la matière à calciner et une zone de calcination en co-courant de cette dernière. Dans le courant gazeux supérieur, la concentration en CO_2 sur gaz sec est égale ou supérieure à 80% en volume sur gaz sec, en particulier supérieure à 85% en volume sur gaz sec, et de préférence supérieure à 90% ou même à 95% en volume sur gaz sec, et est donc parfaitement capturable. Dans ce mode de réalisation, le courant gazeux inférieur, formé d'un mélange d'air de refroidissement de produit et de CO_2 à plus faible concentration en CO2 (environ 40-60% sur gaz sec en volume), est évacué séparément, par exemple par une cheminée, ou reconcentré en CO2 avec un procédé adapté ou même exploité tel quel dans d'autres procédés industriels. En effet à cette concentration plus faible, qui est toutefois plus élevée que celle du courant gazeux sortant d'un four droit annulaire usuel, le courant gazeux inférieur peut être utilisé industriellement.

Suivant un autre mode de réalisation de l'invention, ledit tirage vers le haut et ladite aspiration dans ledit cylindre interne sont réglés de manière à s'équilibrer dans l'espace annulaire de telle façon que la totalité des secondes fumées de combustion introduites dans l'espace annulaire subit le tirage vers le haut susdit et est incorporée dans ledit courant gazeux supérieur, le courant gazeux inférieur extrait hors du cylindre interne et évacué du four étant formé uniquement par l'air de refroidissement de produit. Un tel procédé est rendu possible par exemple par une modification de la localisation mutuelle entre les ouïes de reprise permettant une aspiration de l'air de refroidissement de produit à l'intérieur du cylindre interne et les chambres de combustion inférieures où sont produites les fumées de combustion inférieures. Suivant ce mode de réalisation, le courant gazeux inférieur est formé uniquement d'air de refroidissement de produit, dont la température a fortement augmenté au contact de la matière calcinée dans la zone de refroidissement et tout le CO_2 produit par la calcination et par la combustion donnant lieu aux

fumées de combustion inférieures est capturé dans le courant gazeux supérieur évacué hors du four, après son refroidissement au contact de la matière à calciner, pendant l'étape de préchauffage.

Suivant un mode particulier de réalisation de l'invention, en amont de ladite combustion donnant lieu aux secondes fumées de combustion, le procédé comprend un échange de chaleur entre, d'une part, ledit premier mélange comburant ou ladite partie prélevée du courant gazeux supérieur et, d'autre part, ledit courant gazeux inférieur, avant son évacuation du four. Comme on l'a indiqué ci-dessus, selon le cas, le courant gazeux inférieur est formé d'un mélange d'air de refroidissement de produit et de secondes fumées de combustion ou simplement d'air de refroidissement de produit. Ce courant gazeux inférieur a été chauffé au contact de la matière calcinée et permet avantageusement, par échange de chaleur, de réguler à la température adéquate la partie de courant gazeux supérieur qui va être ou est mélangée au dioxygène. En effet, à sa sortie du four, le courant gazeux supérieur a été largement refroidi au contact de la matière à calciner. Plus sa température est basse, plus le four est performant, car cela signifie que le préchauffage de la matière à calciner a été très efficace. Pour permettre la combustion de combustible donnant lieu aux secondes fumées de combustion, il est en effet préférable que le comburant atteigne une température appropriée. Par cette récupération de chaleur, le courant gazeux inférieur est aussi favorablement refroidi avant son évacuation que ce soit par élimination dans l'atmosphère, ou sa réutilisation à des fins diverses.

Suivant l'invention le dioxygène est mélangé à ladite partie prélevée du courant gazeux supérieur évacué hors du haut du four, en amont ou en aval dudit échange de chaleur.

Suivant un autre mode du procédé suivant la présente invention, celui-ci comprend, pour former lesdites premières fumées de combustion, une combustion d'un combustible dans un second mélange comburant de dioxyde de carbone et de dioxygène pur. Le comburant usuel à base d'air est ici aussi remplacé, au niveau des chambres de combustion où sont produites les premières fumées de combustion, par un mélange de dioxygène et d'un gaz concentré en CO_2. Le dioxygène pur peut provenir d'une unité de séparation d'air ou d'un réservoir à oxygène. Ceux-ci peuvent être les mêmes que ceux utilisés pour alimenter les chambres de combustion inférieures ou être des dispositifs différents. Le gaz concentré en CO_2, mélangé au dioxygène, peut provenir de n'importe quelle source de CO_2 extérieure au four ou propre à celui-ci. Le second mélange comburant peut aussi être un mélange gazeux O_2 + CO_2 utilisé préalablement pour refroidir l'enveloppe du cylindre interne.

Par exemple, le procédé peut comprendre

- un prélèvement d'une partie additionnelle du courant gazeux supérieur, évacué hors du four,
- un mélange de cette partie additionnelle du courant gazeux supérieur avec du dioxygène pur pour former ledit second mélange comburant, et
- une combustion d'un combustible dans ce second mélange comburant pour former lesdites premières fumées de combustion.

Dans ce cas, il n'y a plus utilisation d'air ni pour former les fumées de combustion inférieures, ni pour former les fumées de combustion supérieures. Il en résulte que le courant gazeux évacué hors du haut four est particulièrement concentré et donc parfaitement utilisable ou séquestrable.

Suivant un mode avantageux de réalisation, le procédé comprend en outre une récupération hors du four d'une fraction gazeuse formée des premières fumées de combustion et d'au moins une partie des secondes fumées de combustion tirées vers le haut du four et, en amont de ladite combustion donnant lieu aux premières fumées de combustion, un échange de chaleur entre, d'une part, cette fraction gazeuse récupérée et, d'autre part, le second mélange comburant susdit.

Suivant un mode de réalisation particulier de l'invention, le procédé comprend un refroidissement du cylindre interne par un mélange gazeux de dioxyde de carbone et de dioxygène. Après ce refroidissement, ce mélange gazeux peut servir de mélange comburant additionnel pour ladite combustion du combustible donnant lieu aux secondes fumées de combustion. Il peut aussi servir de second mélange comburant ou de mélange comburant additionnel pour ladite combustion du combustible donnant lieu aux premières fumées de combustion.

Selon le procédé suivant l'invention, le courant gazeux supérieur susdit présente une concentration en CO_2 sur gaz sec égale ou supérieure à 80% en volume, en particulier supérieure à 85% en volume, et de préférence supérieure à 90% ou même à 95% en volume sur gaz sec.

D'autres détails et particularités du procédé suivant l'invention sont indiqués dans les revendications annexées.

L'invention concerne également un four droit annulaire pour la calcination de chaux ou de dolomie.

Un four droit annulaire usuel comprend

- un cylindre externe,
- un cylindre interne formant un espace annulaire avec le cylindre externe,
- au haut du four, une entrée d'alimentation pour introduire dans l'espace annulaire une matière à calciner calcaire ou dolomitique,

- plusieurs chambres de combustion supérieures, qui sont agencées à un premier niveau du four, et dans lesquelles a lieu une combustion d'un combustible, de manière à introduire dans l'espace annulaire des premières fumées de combustion,
- plusieurs chambres de combustion inférieures, qui sont agencées à un second niveau du four inférieur audit premier niveau et dans lesquelles a lieu une combustion d'un combustible, de manière à introduire dans l'espace annulaire des secondes fumées de combustion,
- une entrée d'air de refroidissement de produit au bas de l'espace annulaire,
- une décharge pour récolter la chaux ou dolomie calcinée au bas du four,
- des moyens de tirage vers le haut qui évacuent hors du haut du four, au travers d'un conduit de sortie, un courant gazeux supérieur formé des premières fumées de combustion et de secondes fumées de combustion,
- des ouïes de reprise prévues dans le cylindre interne à un troisième niveau inférieur au second niveau susdit, et
- des moyens d'aspiration qui, par lesdites ouïes de reprise, aspirent l'air de refroidissement de produit depuis l'espace annulaire dans le cylindre interne, en y formant un courant gazeux inférieur contenant l'air de refroidissement de produit.

Comme expliqué précédemment, un tel four présente l'inconvénient de dégager dans l'atmosphère des volumes importants de gaz de fumée contenant une teneur élevée en azote et une teneur peu concentrée en CO_2.

Un four droit annulaire suivant l'invention comprend en outre

- un circuit de recirculation qui est agencé entre le conduit de sortie du courant gazeux supérieur susdit et lesdites chambres de combustion inférieures et dans lequel est prélevée une partie du courant gazeux supérieur susdit évacué au haut du four,
- une source de dioxygène pur qui communique avec le circuit de recirculation et alimente en dioxygène la partie du courant gazeux supérieur susdit passant dans le circuit de recirculation, en formant ainsi un premier mélange comburant pour ladite combustion de combustible dans lesdites chambres de combustion inférieures, et
- au moins un conduit d'extraction par lequel ledit courant gazeux inférieur contenant l'air de refroidissement de produit est extrait du cylindre interne, puis évacué du four.

Suivant une forme de réalisation de l'invention, un échangeur de chaleur est agencé dans le circuit de recirculation de manière à permettre un échange de chaleur entre, d'une part, ledit premier mélange comburant ou ladite partie prélevée du courant gazeux supérieur passant dans ce circuit de recirculation et, d'autre part, le courant gazeux inférieur extrait hors du cylindre interne par ledit conduit d'extraction.

Le courant gazeux de fumées de combustion qui sort au haut du four est refroidi au cours de l'étape de préchauffage de la matière à calciner. Par passage dans l'échangeur de chaleur précité, la partie prélevée et remise en circulation de ce courant gazeux ainsi que le dioxygène peuvent être chauffés à une température adéquate pour la combustion dans les chambres de combustion inférieures.

Suivant une forme de réalisation particulièrement avantageuse du four suivant l'invention, il comprend en outre un conduit d'alimentation en mélange comburant qui alimente les chambres de combustion supérieures et qui est raccordé à une source de dioxygène

pur et à une source de CO_2 et/ou à une source d'un mélange gazeux O_2 + CO_2.

Suivant une forme particulière de réalisation de l'invention, le four comprend, comme source de CO_2, un circuit de recyclage qui est agencé entre le conduit de sortie du courant gazeux supérieur susdit et le conduit d'alimentation en mélange comburant des chambres de combustion supérieures et dans lequel passe une partie additionnelle prélevée du courant gazeux supérieur susdit.

Suivant une autre forme de réalisation, la source d'un mélange gazeux O_2 + CO_2, susdite est raccordée, par un conduit d'amenée, à un système de refroidissement du cylindre interne du four, et ensuite au conduit d'alimentation en mélange comburant.

Avantageusement, dans le four droit annulaire suivant l'invention, le conduit d'alimentation en mélange comburant est agencé de manière à alimenter non seulement les chambres de combustion supérieures, mais également les chambres de combustion inférieures.

Suivant une forme de réalisation avantageuse de l'invention, le four comporte, à son sommet, des moyens de séparation d'une fraction gazeuse formée des premières fumées de combustion et d'au moins une partie des secondes fumées de combustion tirées vers le haut du four, un conduit de récupération de cette fraction gazeuse séparée et un échangeur de chaleur monté dans le circuit de recyclage de manière à permettre un échange de chaleur entre, d'une part, la fraction gazeuse séparée passant dans le conduit de récupération et, d'autre part, le second mélange comburant.

D'autres détails et particularités de l'invention ressortiront de la description donnée ci-après, à titre illustratif, d'exemples de réalisation suivant l'invention.

La figure 1 représente une vue en section axiale d'un four de calcination droit annulaire usuel.

La figure 2 représente de manière schématique un four droit annulaire usuel semblable à celui de la figure1, de manière à illustrer de manière schématique son fonctionnement.

Les figures 3 à 5 représentent de manière schématique plusieurs formes de réalisation de four droit annulaire qui ont été aménagées suivant l'invention.

Ainsi qu'il ressort de la figure 1, qui représente un four tel que décrit et illustré dans la demande de brevet internationale WO2018/002151, un four droit annulaire usuel pour la calcination de roche calcaire ou dolomitique comprend un cylindre externe 1 et un cylindre interne 2 formant entre eux un espace annulaire 3 dans lequel descend la matière à calciner. La matière crue est introduite par le haut du four à l'entrée 4 et le produit cuit est déchargé par le bas par la décharge 8. Le combustible est injecté à deux niveaux au moyen des brûleurs de plusieurs chambres de combustion supérieures 5 et inférieures 6 (de 4 à 6 chambres selon la capacité du four). De manière générale, 1/3 du combustible est injecté dans les chambres 5 et 2/3 dans les chambres 6. La totalité des fumées des chambres supérieures 5 et une partie des fumées des chambres inférieures 6 sont tirées vers le haut par un ventilateur de tirage 9, donc à contre-courant du mouvement de la charge de matière, et évacuées par le conduit de sortie 12. Dans la zone A du four il se produit ainsi un préchauffage de la matière à calciner et dans la zone B une calcination à contre-courant. L'autre partie des gaz de fumées des chambres de combustion inférieures 6 est tirée vers le bas par une dépression créée au niveau des ouïes de reprise 10 prévues dans le cylindre interne 2, plus bas que les chambres de combustion 6. C'est la zone C de calcination en co-courant.

De l'air de refroidissement de produit est introduit par l'entrée 7 au bas de l'espace annulaire 3, pour refroidir la matière calcinée dans la zone D de refroidissement. Au niveau des ouïes 10 les fumées de la zone C de calcination en co-courant se mélangent alors avec l'air de refroidissement de produit introduit au bas du four en 7. Ce mélange forme un courant gazeux inférieur qui, par l'intermédiaire de plusieurs conduits de recyclage 41, est extrait hors du cylindre interne 2 par des moyens d'aspiration, tels que plusieurs éducteurs de recirculation 11 (un par chambre de combustion inférieure), et est remis en circulation dans les chambres de combustion inférieures 6 par des conduits de recirculation 13, et cela pour y servir de gaz comburant (voir aussi l'illustration schématique de cette recirculation sur la figure 2).

Ce four comporte en outre un cylindre supérieur 23 qui sert à séparer une fraction des fumées de combustion qui montent dans le four et qui dirige cette fraction gazeuse par un conduit de récupération 26 dans un récupérateur de chaleur 24. Dans celui-ci a lieu un échange de chaleur entre la fraction gazeuse récupérée et un air fourni par un conduit d'alimentation d'air moteur 31. Cet air moteur ainsi préchauffé est amené par un conduit de transfert 32 aux éducteurs de recirculation 11 pour permettre leur fonctionnement.

De l'air de refroidissement est aussi, par un conduit d'amenée 33, introduit dans un système de refroidissement du cylindre interne 2 pour refroidir celui-ci.

Exemple 1 (selon l'art antérieur).

La figure 2 représente un four droit annulaire usuel de manière schématique.

A titre d'exemple, ce four permet une production de 170 tonnes par jour de chaux. Du calcaire est introduit dans le four par l'entrée

4 et il est calciné pour former un produit sous forme de poudre de chaux vive qui est déchargée en 8.

Le combustible introduit dans les chambres de combustion 5 et 6 peut être un combustible solide, tel que du coke et du charbon en poudre, une biomasse, ou fluide, comme du gaz naturel, de l'hydrogène, entre autres. Il est brûlé dans ces chambres en présence d'un comburant. Il est amené aux brûleurs des chambres 5 par un conduit d'alimentation de combustible14 et aux brûleurs des chambres 6 par un conduit d'amenée de combustible15.

Dans les chambres de combustion supérieures 5, le comburant est de l'air, qui, comme il est connu, contient en moyenne 79% en volume de N_2 et 21% en volume de O_2. Cet air est, dans cet exemple de réalisation, l'air de refroidissement du cylindre interne 2 fourni par le conduit d'amenée 33, chauffé lors de son parcours dans le système de refroidissement du cylindre interne 2 et recyclé sous forme d'air comburant aux brûleurs des chambres de combustion 5 et 6 par des conduits de recyclage 34 et 35 respectivement.

Le tirage vers le haut par des moyens de tirage usuels 9 entraîne vers le haut les fumées de combustion des chambres de combustion supérieures 5 et une partie des fumées de combustion des chambres de combustion inférieures 6. Par des moyens d'aspiration, tels que les éducteurs de recirculation 11, dont un seul est représenté, une autre partie des fumées de combustion des chambres de combustion inférieures 6 est aspirée vers le bas, puis entraînée à l'intérieur du cylindre interne 2 au travers des ouïes de reprise 10. L'équilibre entre le tirage vers le haut et l'aspiration vers le bas dans l'espace annulaire 3 est représenté par un trait interrompu 30. La partie descendante des fumées des chambres de combustion inférieures 6 représente typiquement 20% à 40% en volume de ces fumées.

Dans les chambres de combustion inférieures 6, le comburant est constitué du mélange des fumées de combustion tirées vers le bas et de l'air de refroidissement de produit, mélange qui est, à l'aide des éducteurs 11, extrait du cylindre interne 2 au travers des conduits de recyclage 41 et remis en circulation dans les chambres 6 par les conduits de recirculation 13. Ce mélange gazeux contient une faible concentration en CO_2 et en O_2, par exemple environ 9% en volume de CO_2 et 14% en volume de O_2, le reste comprenant du diazote et des impuretés habituelles, présentes sous forme de traces dans le combustible.

Chaque éducteur de recirculation 11 fonctionne à l'aide de l'air moteur qui est fourni par le conduit d'alimentation 31, préchauffé dans le récupérateur de chaleur 24 et ensuite amené à l'éducteur 11 par le conduit de transfert 32.

Le mélange comburant gazeux remis en circulation dans les chambres de combustion inférieures 6 présente une température approximative de 850°C, qui est adéquate pour assurer une combustion appropriée du combustible. Le débit de ce mélange comburant remis en circulation est variable et dépend du réglage du four.

Afin de maintenir des températures raisonnables, les chambres de combustion supérieures 5 fonctionnent en défaut d'air (environ 50% en volume) et les chambres de combustion inférieures 6 en excès d'air (environ 150%).

On prévoit dans cet exemple de l'air de refroidissement de produit à raison de 800 Nm^3/t de chaux produite, air qui à son introduction dans le four est à la température ambiante. Le mélange gazeux, qui est remis en circulation aux éducteurs à une température d'environ 850°C, représente environ 1600 Nm^3/t de chaux et le courant gazeux supérieur, qui est évacué au haut du four par le conduit de sortie 12 à une

température d'environ 250°C, soumis à une filtration dans un filtre à poussières 16 et dégagé dans l'atmosphère par la cheminée 17, représente 2000 Nm^3/t de chaux.

367 Nm^3 de CO_2/t de chaux sont dégagés au cours de la transformation du calcaire en chaux. 215 Nm^3 de CO_2/t de chaux sont produits par la combustion du combustible, à raison de 71 Nm^3 dans les chambres de combustion supérieures 5 et de 144 Nm^3 dans les chambres de combustion inférieures 6. Au total ce procédé produit donc 582 Nm^3 de CO_2/t de chaux qui sont évacués dans le courant gazeux passant par la cheminée 17. Ce courant gazeux contient environ 30% en volume de CO_2 sur gaz sec, ce CO_2 est donc difficilement directement séquestrable ou exploitable.

Exemple 2 (conforme à l'invention)

La figure 3 représente un four annulaire droit usuel, du type représenté sur la figure 2, mais aménagé suivant l'invention.

La même matière à calciner que dans l'exemple 1 est introduite dans le four. Les mêmes combustibles sont utilisés. Les chambres de combustion sont identiques. Toutefois les chambres de combustion inférieures 6 ont été abaissées à un niveau juste supérieur aux ouïes de reprise 10. Cette modification mineure dans l'intérieur du four facilite le fonctionnement de celui-ci totalement en contre-courant, avec une ligne d'équilibre 30 également abaissée. Dans ce four il n'y a plus de zone de calcination en co-courant et toutes les fumées de combustion sortant des chambres de combustion inférieures 6 sont tirées vers le haut comme celles sortant des chambres de combustion supérieures 5 pour former ensemble le courant gazeux supérieur.

Une partie du courant gazeux supérieur, évacué au haut du four par le conduit de sortie 12 à une température d'environ 250°C, est, à

l'aide d'un moyen d'aspiration 38 prélevée dans un circuit de recirculation 18 qui aboutit aux chambres de combustion inférieures 6.

Dans l'exemple illustré, pour former un premier mélange comburant, cette partie de courant gazeux supérieur est mélangée à du dioxygène pur. Celui-ci provient d'une source de dioxygène, telle qu'une unité de séparation d'air 19. Ce mélange gazeux CO_2 + O_2 est un mélange massique équivalent en CO_2 recyclé et en O_2 provenant de la source de dioxygène.

Le courant gazeux inférieur, aspiré dans le cylindre interne 2, est formé du seul air de refroidissement de produit, introduit à la température ambiante par l'entrée 7, et passé dans le cylindre interne 2 au travers des ouïes de reprise 10. Cet air de refroidissement de produit est extrait du cylindre interne 2 à l'aide d'un moyen d'aspiration, tel qu'un ventilateur d'aspiration 36, à une température d'environ 850°C, puis éliminé par un conduit d'évacuation 37 vers une cheminée 20, en passant par un filtre à poussières 21. Il n'y a donc plus d'éducteurs de recirculation 11, ni besoin d'air moteur pour leur fonctionnement, ni recirculation du courant gazeux inférieur. L'air de refroidissement suit, entre son entrée et sa sortie du four, un circuit propre séparé des fumées formant le courant gazeux supérieur.

Une partie de la chaleur de ce courant gazeux inférieur est, par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur 22, récupérée dans le mélange CO_2 + O_2 passant dans le circuit de recirculation 18. Le courant gazeux inférieur est ensuite éliminé vers la cheminée 2 à une température de 200°C, tandis que le mélange comburant présente à la sortie de l'échangeur de chaleur une température de 650°C.

Les chambres de combustion supérieures 5 sont, dans l'exemple illustré, alimentées en un second mélange comburant semblable au premier mélange comburant susdit. Cela peut se faire par

prélèvement dans le circuit de recirculation 18 ou pour plus de flexibilité par un mélange alimenté sur mesure depuis un système indépendant.

Dans l'exemple illustré sur la figure 3, un mélange gazeux CO_2 + O_2 est introduit dans le four par le conduit 33 pour refroidir le cylindre 2. Il passe ensuite dans le récupérateur de chaleur 24 avant d'être dirigé vers les brûleurs des chambres de combustion supérieures et inférieures par le conduit d'alimentation 25, puis les conduits de recyclage 39 et 40 respectivement, et servir ainsi de second mélange comburant pour les chambres de combustion supérieures 5 et de mélange comburant additionnel pour les chambres de combustion inférieures 6. Un échange de chaleur a lieu, comme dans le four usuel, avec une fraction des fumées du courant gazeux supérieur séparée par un cylindre supérieur 23.

Si le combustible alimenté aux brûleurs est un combustible solide, un mélange CO_2 + O_2 ou du CO_2 pur peut aussi être utilisé comme gaz porteur.

Il faut noter que, comme la densité du CO_2 est supérieure à celle de l'azote, l'équivalent volumique CO_2 + O_2 est inférieur au volume d'air remplacé de l'ordre de 30%. Il en résulte une diminution du même ordre du volume de CO_2 recyclé. Cela réduit la perte de charge du four (environ 20%) et compense l'augmentation de la perte de charge due au déplacement vers le bas des chambres de combustion inférieures 6 (environ 15%).

Comme pour le four de l'exemple 1 on prévoit dans le présent exemple 800 Nm^3/t de chaux d'air de refroidissement de produit à l'entrée 7. Comme dans l'exemple 1 également, 367 Nm^3 de CO_2/t de chaux sont dégagés au cours de la transformation du calcaire en chaux. Les mêmes quantités de combustible que dans l'exemple 1 sont appliquées aux chambres de combustion, à raison de 71 Nm^3/t de chaux dans les chambres de combustion supérieures 5 et de 144 Nm^3/t de chaux dans

les chambres de combustion inférieures 6. Et donc le bilan total de production de CO_2 est le même que dans le four de l'exemple 1, à savoir 582 Nm^3 de CO_2/t de chaux.

Toutefois, dans le présent exemple 2, l'air de refroidissement de produit introduit dans le four en 7 forme, dans sa totalité, l'effluent de la cheminée 20, sans avoir été mélangé à des fumées du processus.

D'autre part, la combustion du combustible dans les chambres de combustion supérieures ne s'effectue plus dans l'air, et la combustion dans les chambres de combustion inférieures ne s'effectue plus dans un mélange d'air et de fumées de combustion. Ces combustions s'effectuent à présent dans un mélange comburant de CO_2 + O_2. Il en résulte que, dans les fumées dégagées, le CO_2 n'est plus dilué dans un grand volume de diazote.

Dans le présent exemple, le courant gazeux supérieur, à sa sortie du haut du four, représente 1550 Nm^3/t de chaux, il en est prélevé 900 Nm^3/t de chaux dans le circuit de recirculation 18 et on obtient donc 650 Nm^3/t de chaux d'un effluent concentré, où la teneur en CO_2 est supérieure à 85% en volume sur gaz sec.

La fraction gazeuse prélevée du courant gazeux supérieur présente donc cette même teneur en CO_2 et est mélangée à 200 Nm^3 /t de chaux de dioxygène, ce qui donne, aux chambres de combustion inférieures 6, une alimentation en mélange comburant de 1100 Nm^3/t de chaux.

Dans ces conditions d'effluent concentré à la sortie du haut du four, une capture à 100% du CO_2 présent devient possible pour une séquestration ou une exploitation.

Exemple 3 (conforme à l'invention)

La figure 4 représente un four annulaire droit semblable à un four usuel, tel que représenté sur la figure 2, et aménagé comme dans l'exemple 2.

Toutefois, dans cet exemple 3, au lieu de déplacer les chambres de combustion inférieures 6 vers le bas, on a relocalisé les ouïes de reprise 10 vers le haut, juste en dessous du niveau de ces chambres. Cette adaptation du four usuel est plus simple et donc moins coûteuse.

Le reste du procédé est inchangé par rapport au four de l'exemple 2. Il n'y a plus de zone de calcination en co-courant, celle-ci devient dans ce four une zone de refroidissement. Comme dans le four de l'exemple 2, la combustion du combustible s'effectue en présence de premier et second mélanges comburants $CO_2 + O_2$, et l'effluent obtenu au haut du four est très concentré en CO_2, à une valeur supérieure à 85% en volume sur gaz sec.

Exemple 4 (conforme à l'invention)

La figure 5 représente un four annulaire droit semblable à un four usuel, tel que représenté sur la figure 2. Ici, seul l'agencement des éléments externes au four est modifié conformément à ce qui a été prévu dans les fours suivant l'invention des exemples 2 et 3. Par contre, le four en soi n'est pas modifié, les chambres de combustion inférieures 6 et les ouïes de reprise 10 ne sont pas relocalisées et il subsiste ici une zone de calcination en co-courant.

Par conséquent, une partie des fumées de combustion provenant des chambres de combustion inférieures 6 est mélangée avec l'air de refroidissement de produit introduit dans le four à l'entrée 7. Ce mélange gazeux extrait du cylindre interne 2 et évacué par la cheminée 20 est donc un effluent dilué, car en plus d'une partie du CO_2 de

combustion et d'une partie du CO_2 de calcination, il contient tout l'air de refroidissement de la chaux. Toutefois, grâce à cette canalisation de l'air de refroidissement, celui-ci ne peut plus en aucune façon diluer l'effluent gazeux sortant au haut du four. La teneur en CO_2 du courant gazeux inférieur reste toutefois plus élevée que dans les effluents sortant au haut des fours droits annulaires traditionnels, environ 40-60% sur gaz sec au lieu de 30%, mais elle est inférieure à celle obtenue dans le courant gazeux évacué au haut du four. Celui-ci n'est en effet pas dilué dans de l'air et contient une teneur en CO_2 supérieure à 85% sur gaz sec.

Dans cet exemple de réalisation on a également représenté en traits interrompus des variantes pour l'alimentation en CO_2 et en O_2 du conduit d'alimentation en mélange comburant 25. Le dioxygène peut provenir d'une unité de séparation d'air 28, de l'unité de séparation d'air 19 ou encore de tout autre source de O_2. Le CO_2 peut provenir d'une source de CO_2 indépendante 27. Il peut aussi provenir du courant gazeux supérieur passant dans le conduit de sortie 12 dont une partie additionnelle est prélevée dans un circuit de recyclage 29. Ici, on peut aussi prévoir, comme dans les exemples 2 et 3, un mélange gazeux $CO_2 + O_2$ pour refroidir le cylindre interne, alimenter le conduit 25, puis les chambres de combustion 5 et 6.

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

Dans toutes les formes de réalisation, aussi bien celle de l'exemple 1 de l'art antérieur, que des exemples 2 à 4 suivant l'invention, on peut envisager une variante où le cylindre supérieur 23 est absent, ce qui empêche une récupération de chaleur dans un récupérateur 24.

Suivant, l'invention, on peut aussi prévoir que l'apport de dioxygène dans le circuit de recirculation 18 ait lieu en aval de l'échangeur de chaleur 22.

De même, suivant l'invention, on peut prévoir d'agencer le moyen d'aspiration 38, qui sert à prélever une partie du courant gazeux supérieur dans le circuit de recirculation 18, dans la section de ce circuit qui se trouve en aval de l'échangeur de chaleur 22 et en amont des chambres de combustion inférieures 6.

REVENDICATIONS

1. Procédé de calcination de chaux ou dolomie dans un four droit annulaire présentant un cylindre externe et un cylindre interne formant entre eux un espace annulaire, comprenant

- une alimentation en matière à calciner calcaire ou dolomitique au haut de l'espace annulaire dans lequel elle descend,
- une introduction de premières fumées de combustion dans ledit espace annulaire, à un premier niveau du four,
- une introduction de secondes fumées de combustion dans ledit espace annulaire, à un second niveau du four inférieur au premier niveau susdit,
- un préchauffage et une calcination de la matière à calciner en cours de descente dans l'espace annulaire, au contact des premières fumées de combustion et de secondes fumées de combustion qui subissent un tirage vers le haut, en contre-courant de la matière à calciner, et sont évacuées au haut du four sous la forme d'un courant gazeux supérieur
- un refroidissement de la matière calcinée par amenée d'air de refroidissement de produit au bas de l'espace annulaire,
- une aspiration de cet air de refroidissement de produit à l'intérieur du cylindre interne, à un troisième niveau du four inférieur au second niveau susdit, en y formant un courant gazeux inférieur contenant l'air de refroidissement de produit,

et

- un déchargement de chaux ou dolomie calcinée au bas du four,

caractérisé en ce qu'il comprend

- un prélèvement d'une partie du courant gazeux supérieur, évacué du four,
- une formation d'un premier mélange comburant par mélange de cette partie de courant gazeux supérieur avec du dioxygène pur,
- une combustion d'un combustible dans ce premier mélange comburant, pour former lesdites secondes fumées de combustion, et
- une extraction du courant gazeux inférieur contenant l'air de refroidissement de produit hors du cylindre interne, suivie de son évacuation hors du four.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que ledit tirage vers le haut et ladite aspiration dans ledit cylindre interne sont réglés de manière à s'équilibrer dans l'espace annulaire de telle façon qu'une première partie des secondes fumées de combustion est amenée, par ledit tirage vers le haut de l'espace annulaire, en contre-courant de la matière à calciner, et qu'une seconde partie des secondes fumées de combustion est amenée vers le bas de l'espace annulaire, en co-courant de la matière à calciner, puis à l'intérieur du cylindre interne, par ladite aspiration de l'air de refroidissement de produit, en formant un mélange d'air de refroidissement de produit et de secondes fumées de combustion, à titre de courant gazeux inférieur susdit extrait hors du cylindre interne et évacué du four.

3. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que ledit tirage vers le haut et ladite aspiration dans ledit cylindre interne sont réglés de manière à s'équilibrer dans l'espace annulaire de telle façon que la totalité des secondes fumées de combustion introduites dans l'espace annulaire subit le tirage vers le haut susdit et est incorporée dans ledit courant gazeux supérieur, le courant gazeux inférieur extrait

hors du cylindre interne et évacué du four étant formé uniquement d'air de refroidissement de produit.

4. Procédé suivant la revendication 2, caractérisé en ce que, en amont de ladite combustion donnant lieu aux secondes fumées de combustion, il comprend un échange de chaleur entre, d'une part, ledit premier mélange comburant ou ladite partie prélevée du courant gazeux supérieur et, d'autre part, ledit courant gazeux inférieur formé du mélange d'air de refroidissement de produit et de secondes fumées de combustion, avant son évacuation du four.

5. Procédé suivant la revendication 3, caractérisé en ce que, en amont de ladite combustion donnant lieu aux secondes fumées de combustion, il comprend un échange de chaleur entre, d'une part, ledit premier mélange comburant ou ladite partie prélevée du courant gazeux supérieur et, d'autre part, l'air de refroidissement de produit formant ledit courant gazeux inférieur, avant son évacuation du four.

6. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le courant gazeux supérieur et le courant gazeux inférieur contenant l'air de refroidissement sont soumis à une filtration.

7. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend, pour former lesdites premières fumées de combustion, une combustion d'un combustible dans un second mélange comburant de dioxyde de carbone et de dioxygène pur.

8. Procédé suivant la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comprend

- un prélèvement d'une partie additionnelle du courant gazeux supérieur, évacué hors du four,
- un mélange de cette partie additionnelle du courant gazeux supérieur avec du dioxygène pur pour former ledit second mélange comburant, et

- une combustion d'un combustible dans ce second mélange comburant pour former lesdites premières fumées de combustion.

9. Procédé suivant l'une des revendications 7 et 8, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une récupération hors du four d'une fraction gazeuse formée des premières fumées de combustion et d'au moins une partie des secondes fumées de combustion tirées vers le haut du four et, en amont de ladite combustion donnant lieu aux premières fumées de combustion, un échange de chaleur entre, d'une part, cette fraction gazeuse récupérée et, d'autre part, le second mélange comburant susdit.

10. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend un refroidissement du cylindre interne par un mélange gazeux de dioxyde de carbone et de dioxygène pur qui, après ce refroidissement, sert de mélange comburant additionnel pour ladite combustion du combustible donnant lieu aux secondes fumées de combustion.

11. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 7 à 10, caractérisé en ce qu'il comprend un refroidissement du cylindre interne par un mélange gazeux de dioxyde de carbone et de dioxygène pur qui, après ce refroidissement, sert de second mélange comburant ou de mélange comburant additionnel pour ladite combustion du combustible donnant lieu aux premières fumées de combustion.

12. Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le courant gazeux supérieur susdit présente une concentration en CO_2 sur gaz sec égale ou supérieure à 80% en volume, en particulier à 85% en volume, avantageusement à 90% en volume, de préférence à 95% en volume.

13. Procédé suivant l'une des revendications 2 et 4, caractérisé en ce que le courant gazeux inférieur susdit présente une concentration en CO_2 sur gaz sec égale ou supérieure à 40% en volume.

14. Four droit annulaire pour la calcination de chaux ou de dolomie, comprenant

- un cylindre externe (1),
- un cylindre interne (2) formant un espace annulaire (3) avec le cylindre externe,
- au haut du four, une entrée d'alimentation (4) pour introduire dans l'espace annulaire une matière à calciner calcaire ou dolomitique,
- plusieurs chambres de combustion supérieures (5), qui sont agencées à un premier niveau du four, et dans lesquelles a lieu une combustion d'un combustible de manière à introduire dans l'espace annulaire des premières fumées de combustion,
- plusieurs chambres de combustion inférieures (6), qui sont agencées à un second niveau du four inférieur audit premier niveau et dans lesquelles a lieu une combustion d'un combustible, de manière à introduire dans l'espace annulaire des secondes fumées de combustion,
- une entrée d'air de refroidissement de produit (7) au bas de l'espace annulaire,
- une décharge (8) pour récolter la chaux ou dolomie calcinée au bas du four,
- des moyens de tirage vers le haut (9) qui évacuent hors du haut du four, au travers d'un conduit de sortie(12), un courant gazeux supérieur formé des premières fumées de combustion et de secondes fumées de combustion,
- des ouïes de reprise (10) prévues dans le cylindre interne (2) à un troisième niveau inférieur au second niveau susdit, et

- des moyens d'aspiration qui, par lesdites ouïes de reprise (10), aspirent l'air de refroidissement depuis l'espace annulaire dans le cylindre interne (2) en y formant un courant gazeux inférieur contenant l'air de refroidissement de produit,

caractérisé en ce qu'il comprend en outre

- un circuit de recirculation (18) qui est agencé entre le conduit de sortie (12) du courant gazeux supérieur susdit et lesdites chambres de combustion inférieures (6) et dans lequel est prélevée une partie du courant gazeux supérieur susdit évacué au haut du four,
- une source de dioxygène pur (19) qui communique avec le circuit de recirculation et alimente en dioxygène la partie du courant gazeux supérieur susdit passant dans le circuit de recirculation (18), en formant ainsi un premier mélange comburant pour ladite combustion de combustible dans lesdites chambres de combustion inférieures (6), et
- au moins un conduit d'extraction (37) par lequel ledit courant gazeux inférieur contenant l'air de refroidissement de produit est extrait du cylindre interne (2), puis évacué du four.

15. Four droit annulaire suivant la revendication 14, caractérisé en ce qu'un échangeur de chaleur (22) est agencé dans le circuit de recirculation (18) de manière à permettre un échange de chaleur entre, d'une part, ledit premier mélange comburant passant dans ce circuit de recirculation (18) ou ladite partie prélevée du courant gazeux supérieur et, d'autre part, le courant gazeux inférieur extrait hors du cylindre interne (2) par ledit conduit d'extraction (37).

16. Four droit annulaire suivant l'une des revendication 14 et 15, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un conduit d'alimentation en mélange comburant (25) qui alimente les chambres de combustion supérieures (5) et qui est raccordé à une source de dioxygène

pur (27) et à une source de CO_2 (28, 29) et/ou à une source d'un mélange gazeux O_2 + CO_2.

17. Four droit annulaire suivant la revendication 16, caractérisé en ce qu'il comprend, comme source de CO_2, un circuit de recyclage (29) qui est agencé entre le conduit de sortie (12) du courant gazeux supérieur susdit et le conduit d'alimentation en mélange comburant (25) des chambres de combustion supérieures (5) et dans lequel passe une partie additionnelle prélevée du courant gazeux supérieur susdit.

18. Four droit annulaire suivant la revendication 16, caractérisé en ce que la source d'un mélange gazeux O_2 + CO_2, susdite est raccordée, par un conduit d'amenée (33), à un système de refroidissement du cylindre interne (2) du four, et ensuite au conduit d'alimentation en mélange comburant (25).

19. Four droit annulaire suivant l'une des revendications 16 à 18, caractérisé en ce que le conduit d'alimentation en mélange comburant (25) est agencé de manière à alimenter également les chambres de combustion inférieures (6).

20. Four droit annulaire suivant l'une des revendications 16 à 19, caractérisé en ce qu'il comporte au sommet du four des moyens de séparation (23) d'une fraction gazeuse formée des premières fumées de combustion et d'au moins une partie des secondes fumées de combustion tirées vers le haut du four, un conduit de récupération (26) de cette fraction gazeuse séparée et un échangeur de chaleur (24) monté dans ce conduit de récupération de manière à permettre un échange de chaleur entre, d'une part, la fraction gazeuse séparée passant dans le conduit de récupération (26) et, d'autre part, le mélange gazeux comburant passant par le conduit d'alimentation en mélange comburant (25).

Fig. 1

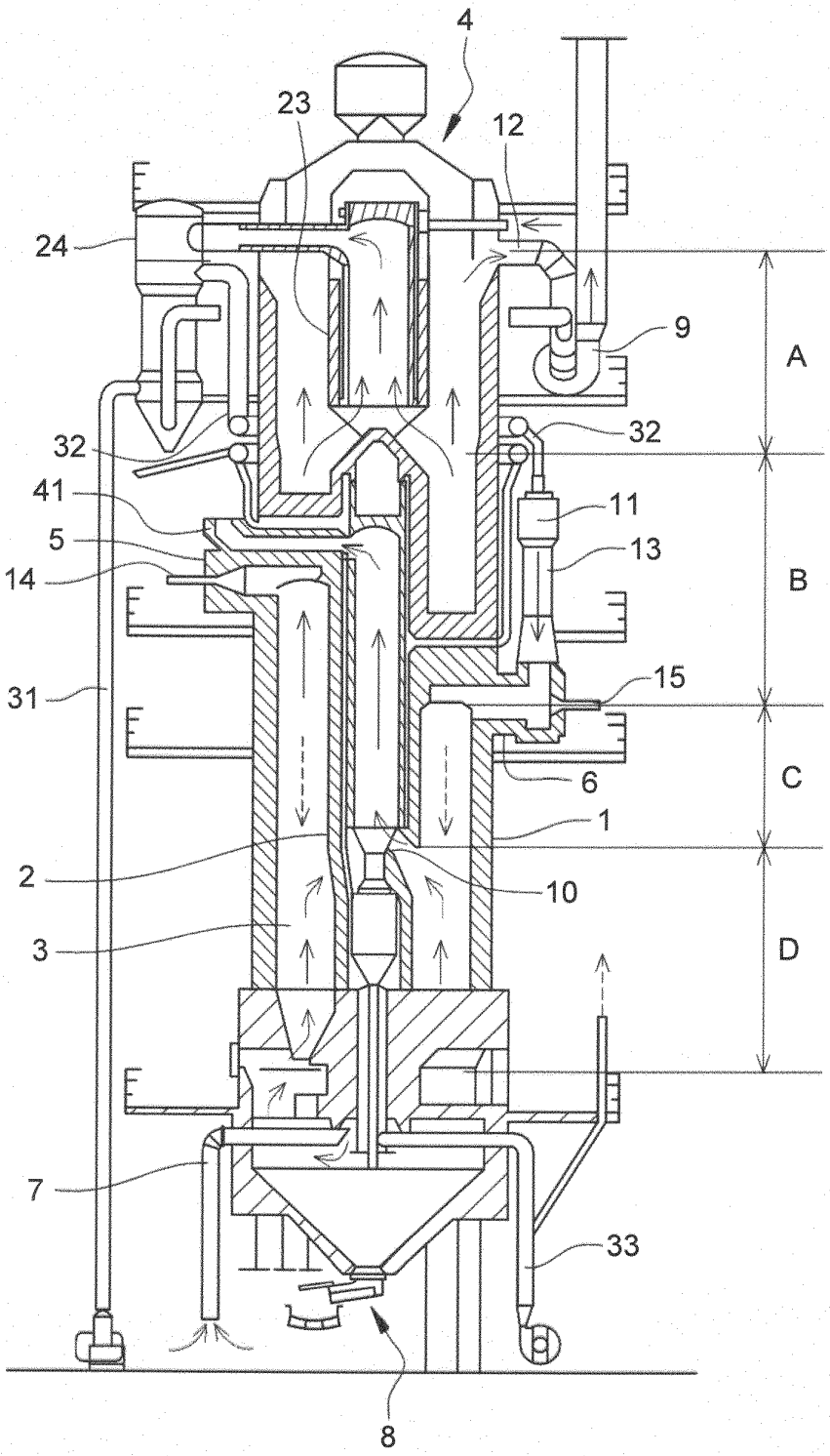


Fig. 2

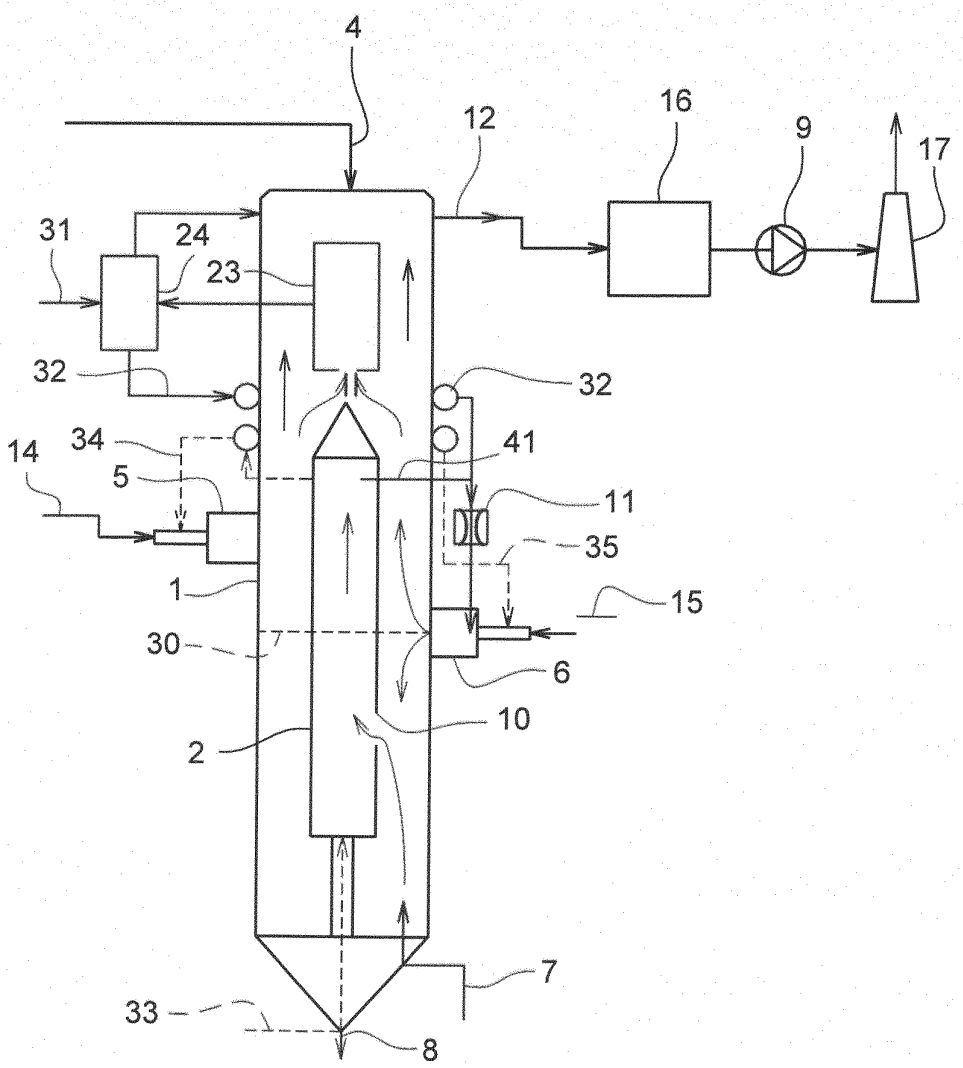


Fig. 3

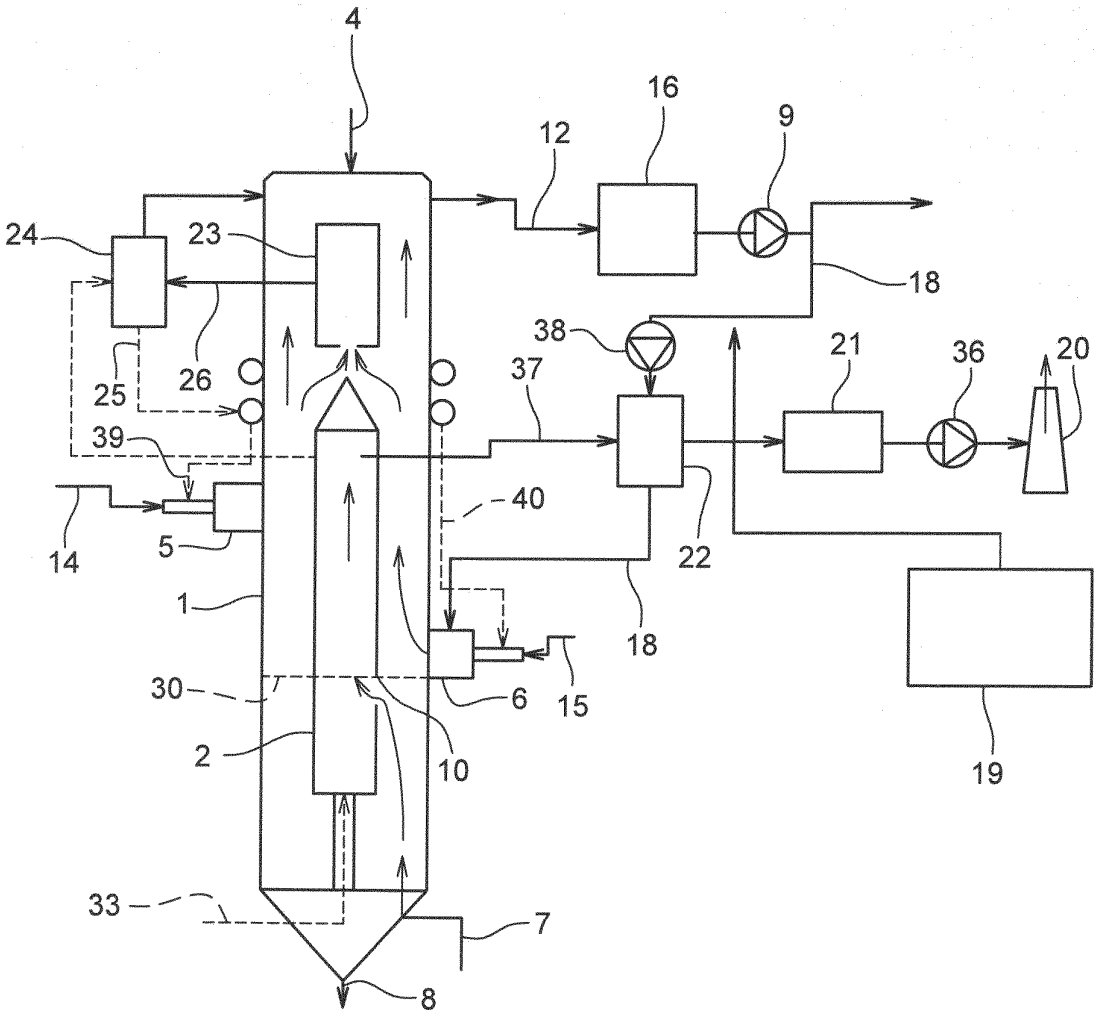

4
16
12
9
24
23
18
38
21
36
20
25
26
37
39
40
14
5
22
1
18
30
6
15
2
10
19
33
7
8

Fig. 4

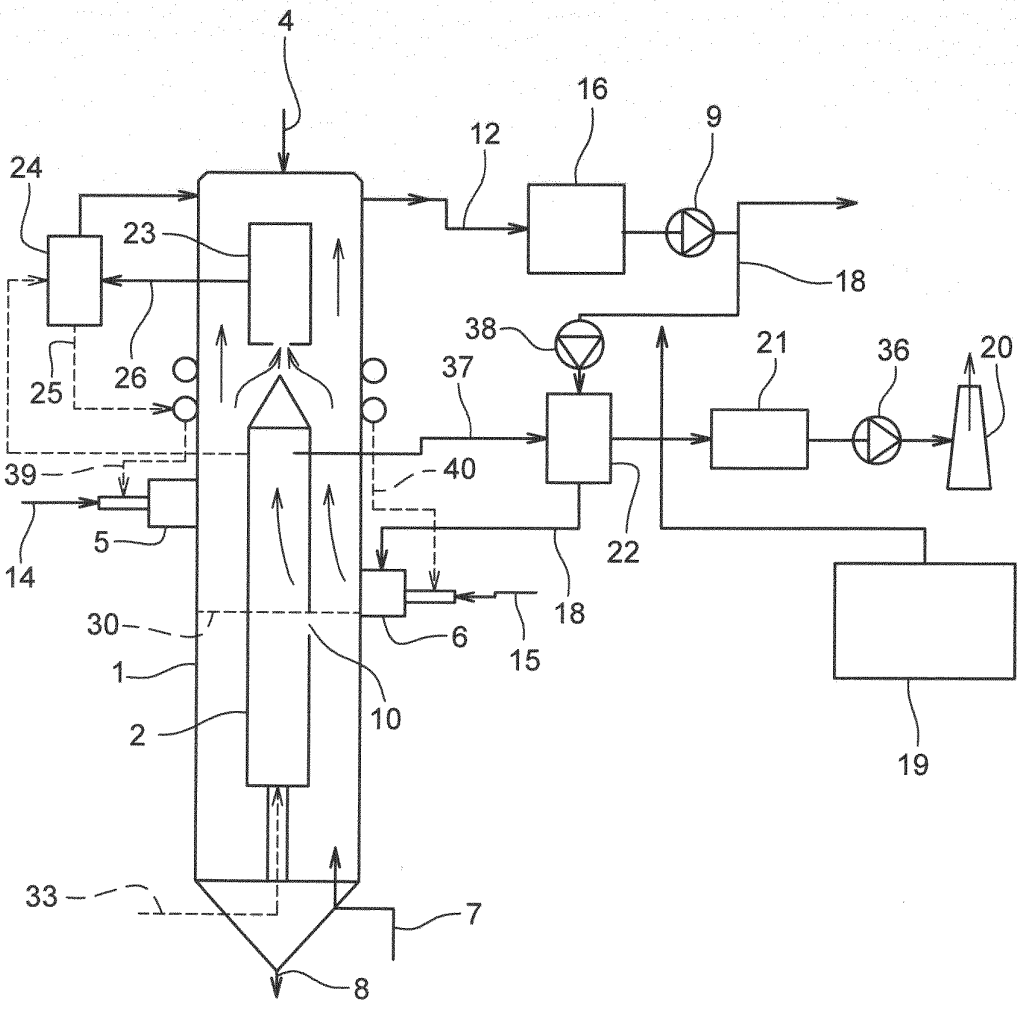
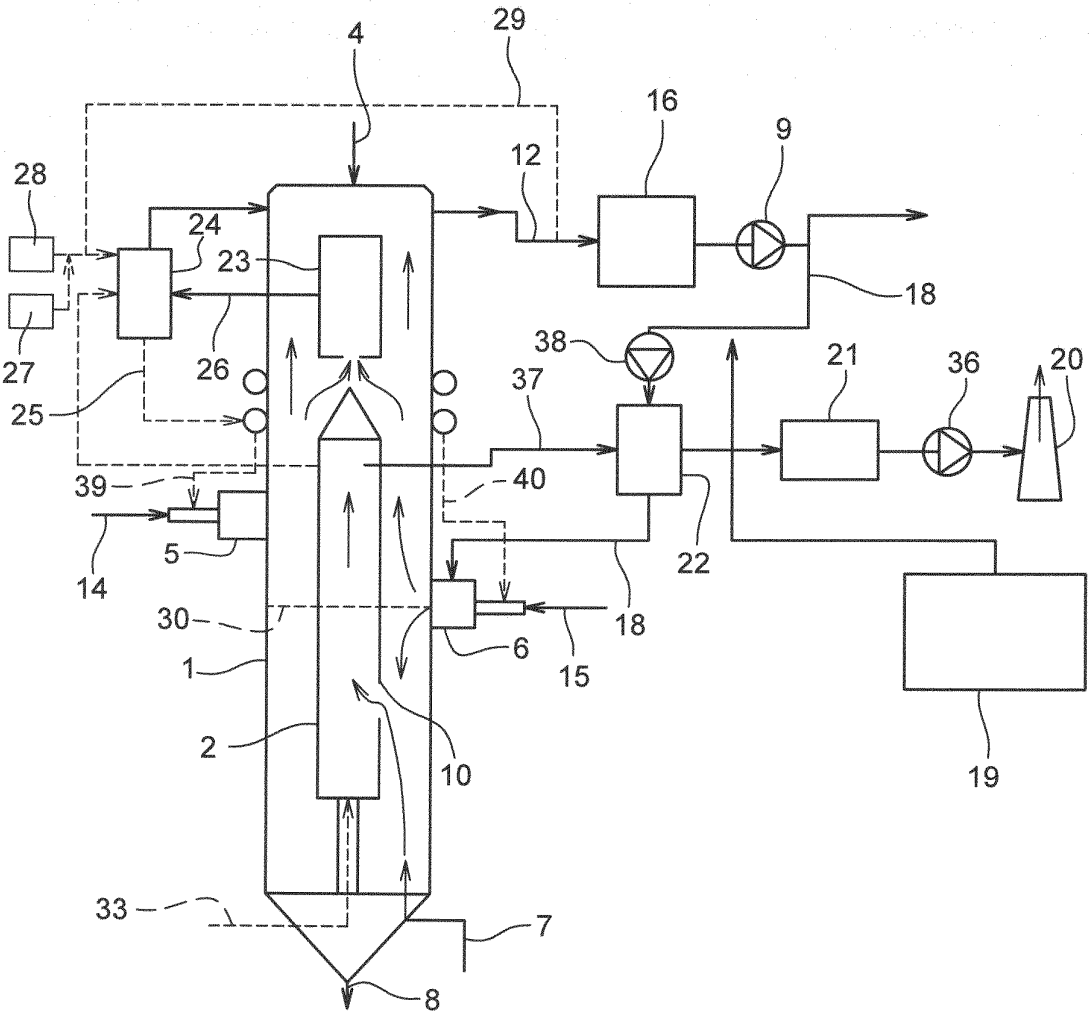

4
16
12
9
24
23
18
38
21
36
20
25
26
37
39
40
5
14
22
18
30
6
15
1
10
2
19
33
7
8

Fig. 5


4
29
16
9
12
28
24
23
18
27
26
38
21
36
20
25
37
39
40
5
22
14
30
18
6
15
1
19
2
10
33
7
8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2021/058805

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F23C 3/00(2006.01)i; ***F23C 9/06***(2006.01)i; ***F23D 99/00***(2010.01)i; ***F23L 7/00***(2006.01)i; ***B01D 53/62***(2006.01)i; ***C04B 2/12***(2006.01)i; ***F27B 1/04***(2006.01)i

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; F23L; B01D; C04B; F27B

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	WO 2018002151 A1 (LHOIST RECH ET DEVELOPPEMENT SA [BE]) 04 January 2018 (2018-01-04) cited in the application	1,2,6,10,11,14-17
A	page 8, line 13 - page 9, line 15 figure 5	3-5,7-9,12,13,18-20
Y	US 2010077947 A1 (HACK HORST [US]) 01 April 2010 (2010-04-01) cited in the application	1,2,6,10,11,14-17
A	page 2, paragraph 25 - page 3, paragraph 32 figure 1	3-5,7-9,12,13,18-20
A	EP 2724770 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 30 April 2014 (2014-04-30) column 7, paragraph 37 - column 11, paragraph 53 figure 1	1,14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ 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
21 June 2021	**02 July 2021**
Name and mailing address of the ISA/EP **European Patent Office** **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	Authorized officer **Gavriliu, Costin** Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2021/058805

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2018002151 A1	04 January 2018	BE 1024784 A1	27 June 2018
		EP 3475609 A1	01 May 2019
		FR 3053102 A1	29 December 2017
		WO 2018002151 A1	04 January 2018
US 2010077947 A1	01 April 2010	US 2010077947 A1	01 April 2010
		WO 2010035233 A2	01 April 2010
EP 2724770 A1	30 April 2014	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2021/058805

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. F23C3/00 F23C9/06 F23D99/00 F23L7/00 B01D53/62
C04B2/12 F27B1/04
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 F23L B01D C04B F27B

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	WO 2018/002151 A1 (LHOIST RECH ET DEVELOPPEMENT SA [BE]) 4 janvier 2018 (2018-01-04) cité dans la demande	1,2,6, 10,11, 14-17
A	page 8, ligne 13 - page 9, ligne 15 figure 5	3-5,7-9, 12,13, 18-20

Y	US 2010/077947 A1 (HACK HORST [US]) 1 avril 2010 (2010-04-01) cité dans la demande	1,2,6, 10,11, 14-17
A	page 2, alinéa 25 - page 3, alinéa 32 figure 1	3-5,7-9, 12,13, 18-20

	-/--	

[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
21 juin 2021	02/07/2021

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

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2021/058805

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 2 724 770 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 30 avril 2014 (2014-04-30) colonne 7, alinéa 37 - colonne 11, alinéa 53 figure 1 -----	1,14

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2021/058805

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2018002151 A1	04-01-2018	BE 1024784 A1	27-06-2018
		EP 3475609 A1	01-05-2019
		FR 3053102 A1	29-12-2017
		WO 2018002151 A1	04-01-2018
US 2010077947 A1	01-04-2010	US 2010077947 A1	01-04-2010
		WO 2010035233 A2	01-04-2010
EP 2724770 A1	30-04-2014	AUCUN	