



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
12.02.2025 Bulletin 2025/07

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F27B 1/00 (2006.01) F27B 1/02 (2006.01)
F27B 1/10 (2006.01) F27B 1/22 (2006.01)
F27D 17/00 (2025.01)

(21) Numéro de dépôt: **23190297.4**

(22) Date de dépôt: **08.08.2023**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
F27B 1/02; F27B 1/005; F27B 1/10; F27B 1/22;
F27D 17/10

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(71) Demandeur: **S.A. LHOIST RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT**
1342 Ottignies-Louvain-la-Neuve (BE)

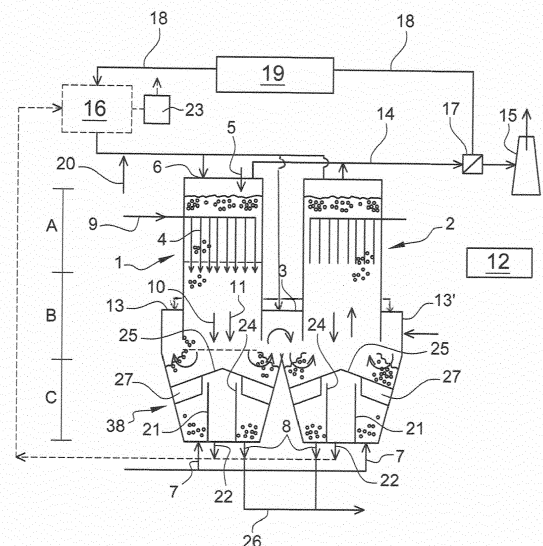
(72) Inventeurs:
• **HABIB, Ziad**
1630 Linkebeek (BE)
• **BILLARD, Philippe**
4537 Verlaine (BE)

(74) Mandataire: **Calysta NV**
Lambroekstraat 5a
1831 Diegem (BE)

(54) **FOUR DROIT VERTICAL À FLUX PARALLÈLES RÉGÉNÉRATIFS**

(57) Four droit vertical à flux parallèles régénératif, comprenant au moins deux cuves (1,2) interconnectées par une voie de transfert pour gaz (3), chacune des cuves comprenant, en position en service ou hors service, une entrée de chargement (5) d'une roche minérale carbonatée au haut de la cuve, des moyens de cuisson de celle-ci, une sortie de déchargement (8) de la matière calcinée décarbonatée produite au bas de la cuve, une entrée d'introduction (7) d'air de refroidissement au bas de la cuve pour refroidir en contre-courant la matière calcinée produite, et un élément collecteur central (21) présentant, à son extrémité haute, une ouverture de récolte (24) pour l'air de refroidissement chauffé par la matière calcinée et, à son extrémité basse, une sortie d'extraction (22), chaque cuve comprenant en outre un élément protecteur en forme de chapeau (25) qui est fixé dans la cuve dans une position indépendante de l'élément collecteur central (21), en recouvrant et entourant l'extrémité haute de celui-ci jusqu'à un niveau inférieur à l'ouverture de récolte (24), de façon à laisser, entre cette extrémité haute et le chapeau (25), un passage libre pour une collecte de l'air de refroidissement chauffé à travers l'ouverture de récolte (24).

Fig. 1



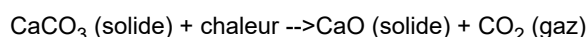
Description

[0001] La présente invention se rapporte à un four droit vertical à flux parallèles régénératif destiné à la calcination de roche minérale carbonatée.

[0002] Le four droit vertical à flux parallèles régénératif ou four à chaux régénératif dit « PFRK » (Parallel Flow Regenerative Kiln) a une efficacité énergétique de 85% à 90% ; c'est la plus élevée du secteur chaux, voire de tout le secteur de l'industrie énergivore : ciment, acier, verre... Environ 60% de la chaux en Europe sont produits dans ce type de four. Cette proportion est amenée à augmenter en Europe et dans le monde, en tenant compte des feuilles de route pour la transition énergétique et écologique.

[0003] Le four « PFRK » classique est un four droit à double cuve verticale où un combustible est injecté alternativement dans une cuve puis dans une autre pendant environ 10 à 15' avec une période d'arrêt entre cycles d'environ 1' à 2' pour inverser les circuits d'air et de combustibles. C'est la période d'« inversion ». Les deux cuves sont reliées par un carneau de liaison. Lorsqu'une cuve est en combustion (mode cuisson), les fumées de combustion chaudes traversent le carneau de liaison (voie de transfert pour gaz) et cèdent une partie de leur chaleur à la roche minérale à calciner pour la préchauffer dans l'autre cuve dite en mode régénération ou préchauffage. Les cuves du four PFRK sont soit cylindriques soit rectangulaires. Dans certains cas, il y a trois cuves, deux en préchauffage et une en cuisson.

[0004] Par roche minérale carbonatée, au sens de la présente invention, on entend en particulier de la roche calcaire, de la roche dolomitique et/ou de la magnésite qui se calcinent respectivement en chaux vive, en dolomie vive et /ou en magnésie. L'équation de calcination du calcaire en chaux est la suivante :



[0005] C'est une réaction endothermique réversible et la chaux se recombine avec le CO_2 à la première occasion en dessous de 900°C , avec un équilibre et une cinétique plus ou moins rapide en fonction de la température et de la concentration ambiante du CO_2 .

[0006] Au cours de ce processus, la roche calcaire ou dolomitique de départ dégage donc 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 pour ce faire on procède couramment à la combustion de combustibles, régulièrement fossiles, 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.

[0007] Ce procédé de calcination tout à fait courant présente aussi l'inconvénient de prévoir une combustion de combustible en présence d'air et le refroidissement du produit calciné par de l'air. Il en résulte un dégagement au haut du four d'un effluent gazeux présentant un taux élevé d'azote diatomique, et un taux comparativement faible de CO_2 (concentration en volume de l'ordre de 20% à 30% sur gaz sec), qu'il est coûteux de capturer en raison de la forte présence de diazote provenant de l'air utilisé.

[0008] Des tentatives ont déjà été mises en oeuvre pour extraire de la cuve en mode cuisson l'air de refroidissement qui a été chauffé au contact de la matière calcinée décarbonatée produite. Dans le cas des cuves circulaires on a prévu un élément collecteur central de forme tubulaire qui se dresse verticalement dans le fond de la cuve et qui présente à son sommet plusieurs ouvertures de récolte. Cet élément collecteur central communique généralement avec un élément de tirage extérieur à la cuve de manière à permettre, à un niveau inférieur au carneau de liaison, une extraction hors du four d'air de refroidissement chauffé (voir WO2022/111817 et WO2022/229119).

[0009] Il faut noter que cet élément collecteur central doit être capable de supporter la pression d'un lit de matière d'au moins 12 m, régulièrement de 20 m de haut et qu'il doit donc présenter une structure très robuste. Il doit aussi résister à d'éventuels déséquilibres de forces dus à une descente non uniforme de ce lit de matière, avec possibilité de blocages locaux. L'élément collecteur central doit donc inévitablement présenter des dimensions minimales, ce qui représente un inconvénient majeur, en particulier pour les fours de petite dimension qui produisent moins de 400 tonnes par jour, comme c'est le cas de la plupart des fours PFRK en Europe. En effet la présence d'un élément collecteur central encombrant a pour conséquence de préjudicier l'écoulement vers le bas de la matière calcinée produite. En outre, la partie basse des cuves circulaires de ces petits fours usuels, dans laquelle est produite le refroidissement de la matière calcinée, présente habituellement une forme de tronc de cône inversé, c'est-à-dire de tronc de cône dont la base supérieure présente une aire de plus grande dimension que la base inférieure. Dans cette configuration, la présence d'un élément collecteur central encombrant est tout à fait préjudiciable étant donné l'étroitesse de la partie basse de la cuve à son niveau inférieur.

[0010] Par ailleurs ces éléments collecteurs centraux connus de la technique antérieure présentent l'inconvénient de ne pas permettre d'éviter d'une manière efficace une pénétration des fines de la matière calcinée produite par leurs ouvertures de récolte.

[0011] Dans le but de résoudre ce problème particulier, on a déjà prévu que l'élément collecteur central porte, à son sommet, un élément en forme de chapeau qui protège ainsi l'ouverture de récolte d'une pénétration non souhaitée de fines (voir DE102023102447). Malheureusement l'ajout de cet élément au sommet de l'élément collecteur central augmente

encore le poids que celui-ci doit supporter dans la partie basse de la cuve concernée et donc nécessite la présence d'un élément collecteur central extrêmement robuste et de ce fait encore plus encombrant. Une telle structure n'est pas adaptable dans un four existant de petite dimension où la partie basse de la cuve se rétrécit de plus en plus vers le bas.

[0012] La présente invention a pour but de réduire de manière significative les inconvénients et risques structurels présentés par les éléments collecteurs centraux de l'état de la technique, tout en conservant leur modèle fonctionnel et donc l'efficacité de l'extraction de l'air de refroidissement chauffé au centre de la cuve circulaire du four qui est en mode cuisson. Il est aussi souhaitable que ces éléments collecteurs centraux soient adaptables dans les fours existants de petite dimension.

[0013] Pour résoudre ces problèmes, il est prévu, suivant l'invention, un four droit vertical à flux parallèles régénératif, comprenant au moins deux cuves interconnectées par une voie de transfert pour gaz, chacune desdites cuves comportant, en position en service ou hors service,

- au moins une entrée de chargement d'une roche minérale carbonatée, au haut de la cuve,
- à un niveau supérieur à ladite voie de transfert pour gaz, des moyens de cuisson de ladite roche minérale carbonatée en cours de descente depuis ladite au moins une entrée de chargement destinés à produire une charge de matière calcinée décarbonatée,
- au moins une sortie de déchargement de la matière calcinée décarbonatée produite, au bas de la cuve,
- au moins un conduit d'évacuation d'effluent gazeux au haut de la cuve,
- à un niveau inférieur à ladite voie de transfert pour gaz, au moins une entrée d'introduction d'air de refroidissement au bas cette partie basse de la cuve pour refroidir en contre-courant la matière calcinée décarbonatée produite, et un élément collecteur central tubulaire présentant, à son extrémité haute, au moins une ouverture de récolte par où est collecté à l'intérieur de l'élément collecteur tubulaire central un air de refroidissement chauffé par la matière calcinée décarbonatée et, à son extrémité basse, au moins une sortie d'extraction permettant une récolte hors du four de cet air de refroidissement chauffé collecté,

dans lequel chaque cuve comprend en outre un élément protecteur en forme de chapeau qui est fixé dans la cuve dans une position indépendante de l'élément collecteur central tubulaire susdit, en recouvrant et entourant l'extrémité haute de celui-ci jusqu'à un niveau inférieur à ladite au moins une ouverture de récolte, de façon à laisser, entre cette extrémité haute et le chapeau, un passage libre pour une collecte de l'air de refroidissement chauffé à travers ladite au moins une ouverture de récolte.

[0014] Dans un tel four, la charge du lit de matière en cours de descente est supportée uniquement par l'élément protecteur en forme de chapeau. Cet agencement décharge l'élément collecteur central tubulaire qui peut alors être réalisé sous une forme plus légère et de ce fait moins encombrante dans la zone la plus étroite de la partie basse de la cuve. Avantagusement il peut avoir la forme d'un simple tube cylindrique. Lorsque le four présente des cuves dont la partie basse est en forme de tronc de cône inversé, l'élément protecteur en forme de chapeau se situe dans la zone la plus large de cette partie basse, en préjudicant ainsi le moins possible l'écoulement de la matière vers le bas.

[0015] En plus de sa fonction mécanique l'élément protecteur en forme de chapeau crée un vide en dessous de lui, vide par lequel l'air de refroidissement chauffé peut passer librement à l'intérieur de l'élément collecteur central pour sortir du four par le bas et ne pas se mélanger au courant gazeux issu de la calcination qui sort du four par le haut. Cet agencement est donc particulièrement robuste, simple et notamment adaptable dans un four de petite dimension où la sortie de l'air reste proportionnellement grande.

[0016] D'une manière classique le four suivant l'invention comprend un système d'inversion du fonctionnement des cuves, agencé pour que chaque cuve fonctionne, en régime production, alternativement en mode cuisson et en mode préchauffage, une cuve étant en mode cuisson pendant une période de temps prédéterminée pendant qu'au moins une autre cuve est en mode préchauffage, et inversement, ce système d'inversion commandant dans ce but lesdites positions en service et hors service.

[0017] Pendant le temps d'inversion le système d'inversion commande de manière synchronisée tous les changements nécessaires pour passer d'un mode à l'autre, par exemple en ouvrant l'entrée de chargement de roche minérale carbonatée dans la cuve lorsqu'elle est en mode cuisson et en la fermant lorsqu'elle passe en mode préchauffage. Le système d'inversion commande donc non seulement de nombreux clapets et vannes, mais aussi le fonctionnement des équipements de chargement et de déchargement ou encore celui de divers éléments d'aspiration, de pompage ou d'injection.

[0018] Selon les cas, ladite au moins une entrée d'introduction d'air de refroidissement est ainsi commandée en position en service dans toutes les cuves du four ou uniquement dans la cuve en mode cuisson.

[0019] Par régime production, il faut entendre que le four est dans son service normal pendant lequel il produit de manière continue de la matière calcinée. Ce régime ne concerne donc pas les phases de démarrage du four, d'arrêt de celui-ci ou de maintenance en cas de dysfonctionnement.

[0020] Suivant une forme de réalisation de l'invention, l'élément collecteur central tubulaire présente, à son extrémité

haute, une unique ouverture orientée axialement vers le haut et une partie supérieure de l'élément protecteur en forme de chapeau est agencée au-dessus et à distance de cette unique ouverture, en s'évasant vers le bas jusqu'à une partie inférieure cylindrique qui s'étend coaxialement et à distance de l'extrémité haute susdite de l'élément collecteur central tubulaire. Par la forme évasée vers le bas de sa partie haute l'élément protecteur facilite l'écoulement de la matière calcinée décarbonatée à l'écart de l'élément collecteur central tubulaire, ce qui permet d'éviter au maximum des blocages de ladite ouverture de récolte. Avantageusement l'élément protecteur est conique dans sa partie haute et cylindrique dans sa partie basse.

[0021] Suivant une forme avantageuse de réalisation de l'invention, plusieurs entretoises de support, de préférence 3 ou 4 entretoises, agencées entre la paroi extérieure de la cuve et l'élément protecteur en forme de chapeau soutiennent celui-ci au-dessus de l'élément collecteur central tubulaire.

[0022] De préférence, l'élément protecteur en forme de chapeau est parcouru par au moins un circuit de refroidissement qui est alimenté en fluide de refroidissement froid, par exemple de l'air froid, depuis au moins un conduit d'entrée parcourant au moins une entretoise de support susdite, un fluide de refroidissement chauffé étant évacué dudit au moins un circuit de refroidissement par au moins un conduit de sortie parcourant au moins une entretoise de support susdite. Il n'y a pas de conduits qui relient l'élément collecteur central tubulaire à l'élément protecteur en forme de chapeau ce qui est particulièrement favorable pour le passage de l'air de refroidissement chauffé. D'autre part le fluide de refroidissement est fourni par l'intermédiaire des entretoises qui sont refroidies à leur tour. Il s'agit d'un système simple et robuste à construire et à gérer, en particulier dans un four de petite dimension où la section de sortie de l'air reste proportionnellement grande.

[0023] Suivant une forme de réalisation de l'invention, l'élément collecteur central tubulaire est, dans une partie basse, fixé à la paroi extérieure de la cuve par plusieurs poutres, de préférence quatre poutres, disposées horizontalement. Avantageusement, l'élément protecteur en forme de chapeau est soutenu centralement au-dessus de l'extrémité haute de l'élément collecteur central tubulaire par des montants verticaux supportés par lesdites poutres horizontales.

[0024] De préférence, dans ce cas, l'élément protecteur en forme de chapeau est parcouru par au moins un autre circuit de refroidissement qui est alimenté en fluide de refroidissement froid, par exemple de l'air froid, depuis au moins un conduit d'alimentation parcourant au moins une poutre susdite et un montant susdit, un fluide de refroidissement chauffé étant évacué dudit au moins un autre circuit de refroidissement par au moins un conduit d'évacuation parcourant au moins un montant susdit et une poutre susdite.

[0025] Avantageusement, l'élément collecteur central tubulaire est parcouru par au moins un circuit de fluide de réfrigération qui est alimenté en fluide de réfrigération froid, par exemple de l'air froid, depuis l'extérieur du four, un fluide de réfrigération chauffé étant évacué de ce circuit à l'extérieur du four. L'élément collecteur central tubulaire et l'élément protecteur en forme de chapeau sont ainsi refroidis par des circuits indépendants. Chacun de ces circuits peut être court, ce qui augmente leur efficacité par rapport à un circuit qui devrait servir au refroidissement des deux éléments. En effet, dans ce dernier cas, le refroidissement de l'élément en forme de chapeau a lieu de façon défavorable en bout de circuit, alors que c'est l'élément qui est soumis aux conditions thermiques les plus élevées, de l'ordre de 900 à 1000°C, voire même jusqu'à 1200°C.

Suivant une forme de réalisation de l'invention, chaque cuve est pourvue en outre d'un collecteur annulaire qui communique avec elle par plusieurs portes situées en périphérie de la cuve et avec un dispositif d'extraction externe pour extraire du four de l'air de refroidissement chauffé. De cette manière l'efficacité de l'extraction est augmentée, elle se passe à la fois au centre de la cuve et en périphérie de celle-ci. Le risque d'un échappement de fines de la matière calcinée décarbonatée vers ladite au moins une ouverture de récolte de l'élément collecteur central, avec blocage potentiel de celle-ci, est ainsi fortement réduit.

[0026] Les moyens de cuisson susdits de la roche minérale carbonatée en cours de descente sont des éléments d'injection dans la cuve en mode cuisson d'un combustible et d'un comburant qui par combustion permettent d'atteindre une température de calcination de ladite roche. Dans un four classique le combustible pourra être de manière courante un combustible fluide, tel que du gaz naturel, ou un combustible solide, tel que de la poudre de charbon ou de lignite, et le comburant pourra être de l'air. On peut envisager aussi très avantageusement un comburant formé d'un mélange de CO₂ et de dioxygène.

[0027] Comme moyens de cuisson de la roche minérale carbonatée en cours de descente on peut aussi envisager des éléments d'injection dans la cuve en mode cuisson d'un gaz ou mélange gazeux porté, à l'extérieur de cette cuve, à une température de calcination de ladite roche. On peut envisager pour ce faire des dispositifs électriques, par exemple faisant intervenir des torches à plasma.

[0028] Comme on peut le constater le four selon l'invention ne présente que quelques modifications structurelles apportées à l'intérieur de la partie basse des cuves du four. Des fours existants et/ou nouveaux peuvent donc être aisément aménagés pour mettre en oeuvre un procédé de calcination pendant lequel on peut, de manière particulièrement efficace, extraire des cuves l'air de refroidissement introduit, sans provoquer une détérioration extrême de l'écoulement et du déchargement de la matière calcinée produite..

[0029] D'autres détails et particularités du four selon l'invention sont indiqués dans les revendications annexées.

[0030] D'autres particularités de l'invention ressortiront également de la description donnée ci-après, à titre non limitatif

et en faisant référence aux dessins annexés.

[0031] La figure 1 représente de manière schématique un four PFRK suivant l'invention.

[0032] Les figures 2 et 3 représentent des vues partiellement brisées de la partie basse en forme de tronc de cône inversé d'une cuve d'un four PFRK suivant l'invention.

[0033] La figure 4 représente une vue partiellement brisée de la partie basse en forme de tronc de cône inversé d'une cuve d'un autre four PFRK suivant l'invention.

[0034] Sur les figures, les éléments identiques ou analogues portent les mêmes références. D'une manière conventionnelle la cuve illustrée à gauche sur la figure 1 est en mode cuisson et la cuve illustrée à droite en mode préchauffage. Pour ne pas encombrer les dessins des éléments standards, comme par exemple les équipements de chargement ou déchargement, ils ne sont pas représentés ou ils le sont de manière très schématique.

[0035] Comme on peut le voir à la figure 1, le four PFRK illustré est un four droit à double cuve 1, 2 où le combustible est injecté alternativement dans une cuve 1 puis dans une autre 2 pendant environ 12' avec une période d'arrêt entre cycles de 30 secondes à 2' pour inverser les circuits. C'est la période d'« inversion ». Les deux cuves ont une section circulaire et sont pourvues de canaux périphériques 13, 13' qui sont interconnectés par un carneau de liaison 3. Les cuves sont divisées en hauteur en trois zones, la zone de préchauffage A où la roche carbonatée est préchauffée avant calcination, la zone de calcination B où a lieu la cuisson de la roche carbonatée et la zone de refroidissement C où a lieu le refroidissement de la matière calcinée. Dans cette dernière zone, la cuve à section circulaire présente ici une partie en forme de tronc de cône inversé 38.

[0036] Dans l'exemple illustré, lorsqu'une cuve est en mode cuisson, ici la cuve 1, un dispositif d'alimentation en combustible en forme de lances 4 injecte dans la cuve un combustible 9, qui, dans ce cas, est du gaz naturel. La roche carbonatée, chargée au haut de la cuve par une entrée 5 en position ouverte, descend progressivement dans celle-ci. Un comburant est introduit au haut de la cuve par une ouverture d'amenée 6, ce qui permet une combustion du combustible à la sortie des lances 4 et une décarbonatation de la roche carbonatée en matière calcinée 10. Le courant gazeux 11 formé par la combustion et la décarbonatation descend en co-courant de la matière calcinée et, par l'intermédiaire du canal périphérique 13, passe dans le carneau de liaison 3. De l'air de refroidissement est, par un conduit d'amenée 7, introduit au bas de la cuve, en contre-courant de la matière calcinée, pour la refroidir. La matière calcinée est déchargée par la sortie 8 dans un équipement de déchargement 26.

[0037] Lorsqu'une cuve est en mode préchauffage, ici la cuve 2, le dispositif d'alimentation en combustible est fermé et les lances 4 sont donc hors service. Il en est de même de l'entrée 5 pour la roche carbonatée et de l'ouverture 6 pour l'amenée du comburant. Par contre, le conduit d'amenée 7 pour l'air de refroidissement et la sortie 8 pour la matière calcinée restent en position d'ouverture. Le courant gazeux 11, en provenance du carneau de liaison 3, parvient dans la cuve 2 par le canal périphérique 13'. Ce courant gazeux 11 progresse jusqu'au haut de la cuve où il est évacué du four par un conduit d'évacuation 14 et transféré vers une cheminée 15, en passant avantageusement par un ventilateur de tirage et une unité de filtration non représentés. Dans la cuve en mode cuisson 1, ce conduit d'évacuation 14 est fermé.

[0038] Le four comprend un système d'inversion 12 représenté de manière schématique qui commande de façon synchronisée le fonctionnement des cuves, pendant le temps d'inversion des cuves, et cela de manière directe ou à distance. Il commande la mise en service ou hors service de tous les éléments du four de façon que, en régime production, chaque cuve fonctionne alternativement en mode cuisson et en mode préchauffage.

[0039] Dans certains cas, il y a trois cuves, deux en préchauffage et une en combustion.

[0040] Dans le four illustré sur la figure 1, on a prévu, sur le conduit d'évacuation 14, un organe de séparation 17, capable de prélever une partie de l'effluent gazeux évacué du four et de l'introduire dans un circuit de recirculation 18. Dans ce circuit la partie d'effluent gazeux prélevée est avantageusement traitée dans une unité de traitement 19, où elle peut par exemple être filtrée, refroidie et/ou séchée. Du dioxygène est amené au circuit de recirculation 18 par le conduit d'amenée 20. Ce circuit 18 conduit ensuite le mélange comburant formé de la fraction recirculée d'effluent gazeux et de O₂ concentré au sommet de chacune des cuves à l'ouverture d'amenée 6. Dans certains cas, il est aussi possible d'amener ce mélange comburant au carneau 3 ou aux canaux périphériques 13, 13', comme représenté sur la figure 1.

[0041] Le fonctionnement du four PFRK de la figure 1 est le suivant. L'organe de séparation 17 est en service en continu, de même que l'unité de traitement 19 et l'amenée d'oxygène 20. Comme on l'a déjà vu, le système d'inversion 12 ferme le conduit d'évacuation 14 au haut de la cuve en mode cuisson. Il ouvre par contre, au sommet de cette cuve, l'ouverture d'amenée 6 pour permettre l'introduction du mélange comburant, tandis qu'elle est fermée au sommet de la cuve en mode préchauffage.

[0042] Le four illustré sur la figure 1 comprend suivant l'invention, au bas de chaque cuve, un élément collecteur central tubulaire 21 présentant, à son extrémité basse, au moins une sortie d'extraction 22 et, à son extrémité haute située à un niveau inférieur au carneau 3, une ouverture de récolte 24 orientée axialement vers le haut. Par cette ouverture, l'air de refroidissement chauffé au contact de la matière calcinée décarbonatée est collecté à l'intérieur de l'élément collecteur tubulaire central 21, de manière à permettre son extraction hors du four. Dans l'exemple illustré, cet air chaud extrait du four est transféré, à l'aide d'un ventilateur de tirage 23, à un échangeur de chaleur 16 monté sur le circuit de recirculation 18, de manière à préchauffer la partie prélevée de l'effluent gazeux sortant du four, de préférence avant son mélange avec

du dioxygène concentré.

[0043] Chaque cuve comprend en outre un élément protecteur en forme de chapeau 25 qui, fixé dans la cuve dans une position indépendante de l'élément collecteur central tubulaire 21, recouvre l'extrémité haute de celui-ci en l'entourant jusqu'à un niveau inférieur à l'ouverture de récolte 24. Dans l'exemple illustré une partie supérieure de l'élément protecteur en forme de chapeau 25 est agencée au-dessus et à distance de l'ouverture de récolte 24, en s'évasant vers le bas de manière conique jusqu'à une partie inférieure cylindrique qui s'étend coaxialement et à distance de l'extrémité haute de l'élément collecteur central tubulaire 21. Cet agencement laisse ainsi, entre l'extrémité haute de l'élément collecteur 21 et le chapeau 25, un passage libre pour une collecte de l'air de refroidissement chauffé à travers l'ouverture 24 de l'élément collecteur central tubulaire.

[0044] Ainsi qu'il est représenté sur les figures 1 à 3, l'élément protecteur en forme de chapeau 25 est supporté centralement dans la cuve par plusieurs entretoises de support 27, ici 4 entretoises. Ainsi qu'il ressort en particulier de la figure 2, la partie basse en forme de tronc de cône inversé 38 est, dans cet exemple, formée de deux étages tronconiques successifs séparés par un épaulement de la paroi extérieure 28 sur lequel ces entretoises sont fixées ce qui permet de réaliser avec le chapeau 25 une structure très robuste qui est capable de recevoir la charge de la roche carbonatée et de la matière calcinée en cours de descente. Ainsi que cela ressort en particulier de la figure 3, l'élément collecteur central tubulaire 21 peut ainsi être conçu sous la forme d'une structure plus légère qui ne devient pas encombrante pour la descente de la matière calcinée qui a lieu entre les entretoises 27. Dans l'exemple illustré, l'élément collecteur central 21 est fixé dans la cuve par quatre poutres 34 disposées horizontalement en croix en fond de cuve.

[0045] Etant donné la température élevée de la matière calcinée en cours de descente, il est avantageux de refroidir l'élément de recouvrement en forme de chapeau 25 par un circuit de refroidissement 29 représenté de manière schématique, dans lequel circule un fluide de refroidissement, par exemple de l'air (voir en particulier la figure 2). Dans l'exemple illustré ce circuit est alimenté en fluide de refroidissement froid suivant la flèche F1 depuis un conduit d'entrée 30 parcourant chacune des entretoises de support 27. Le fluide de refroidissement chauffé pendant son parcours dans le circuit 29 est évacué de celui-ci suivant la flèche F2 par un conduit de sortie 31 parcourant chaque entretoise de support 27. L'élément protecteur en forme de chapeau, qui est en contact avec des matières présentant une température très élevée, est ainsi refroidi par un circuit de refroidissement court, particulièrement efficace.

[0046] Avantageusement, les entretoises présentent vers le haut un recouvrement en forme de toit à double pente 32 de façon à faciliter la descente de la matière calcinée.

[0047] Ainsi qu'il ressort en particulier de la figure 3, l'air de refroidissement chauffé au contact de la matière calcinée en cours de descente est récolté dans le passage laissé libre entre le chapeau 25 et l'élément collecteur tubulaire 21, et cela en suivant le parcours F3. Cet air présente une température très élevée et il est donc préférable de prévoir, pour protéger la paroi tubulaire de l'élément collecteur 21, un circuit de réfrigération 33 qui parcourt cette paroi tubulaire ainsi que représenté de manière schématique. Ce circuit 33 est alimenté en fluide de réfrigération, par exemple en air froid, depuis l'extérieur de la cuve, puis le fluide chauffé en est évacué.

[0048] Comme on vient de le voir ci-dessus, l'agencement, prévu suivant l'invention, entre l'élément protecteur en forme de chapeau 25 et l'élément collecteur central 21, permet de récolter l'air de refroidissement qui est chauffé par contact avec la matière calcinée et qui est ascendant au centre de la cuve. Ainsi qu'il est illustré en particulier sur la figure 3, la cuve peut être aussi pourvue, à un niveau inférieur au carneau de liaison 3 et aux canaux périphériques 13 et 13', d'un anneau collecteur 35 qui communique à l'extérieur avec un élément de soutirage, par exemple le ventilateur de tirage 23, et débouche dans la cuve par plusieurs portes périphériques 36 de manière à permettre une extraction hors du four de l'air de refroidissement chauffé qui est ascendant en périphérie de la cuve.

[0049] On peut imaginer que l'élément protecteur en forme de chapeau 25 soit, d'une autre manière, soutenu dans la cuve indépendamment de l'élément collecteur tubulaire 21. Par exemple ainsi qu'il est représenté sur la figure 4, l'élément protecteur en forme de chapeau 25 est soutenu centralement au-dessus de l'extrémité haute de l'élément collecteur central tubulaire 21 par des montants verticaux 37 supportés par les poutres horizontales 34.

[0050] Dans ce cas, l'élément protecteur en forme de chapeau est parcouru par au moins un circuit de refroidissement 29 qui est alimenté en fluide froid, par exemple de l'air froid, depuis au moins un conduit d'alimentation parcourant, suivant la flèche F4, une poutre 34 et un montant vertical 37. Le fluide de refroidissement chauffé est évacué du circuit de refroidissement par au moins un conduit d'évacuation parcourant un montant vertical 37 et une poutre 34, suivant la flèche F5.

[0051] Il doit être entendu que le four suivant l'invention n'est en aucune façon limitée aux exemples décrits ci-dessus et que bien des modifications peuvent y être apportées sans sortir du cadre des revendications qui suivent.

[0052] On peut par exemple prévoir que l'ouverture d'entrée 6 pour le comburant puisse être utilisée, de manière partagée, en sortie d'effluent gazeux en fonction de la mise en oeuvre de la cuve en mode cuisson ou en mode préchauffage. En mode cuisson l'ouverture 6 est reliée au conduit de recirculation 18 et en mode préchauffage au conduit d'évacuation 14.

[0053] On peut aussi envisager la présence d'un réservoir tampon de CO₂ en parallèle du four, pour permettre un recyclage de CO₂ durant la période d'inversion où le four est stoppé durant un court instant pour l'inversion du

fonctionnement des cuves, permettre une alimentation de l'aval de l'installation (unité de concentration, purification du CO₂ par exemple) sans subir l'arrêt de débit gazeux du four, et compenser les différents petits arrêts journaliers du four pour défaut, petites pannes, en assurant une alimentation de l'aval durant ces arrêts courts.

5

Revendications

1. Four droit vertical à flux parallèles régénératif, comprenant au moins deux cuves (1,2) interconnectées par une voie de transfert pour gaz (3), chacune desdites cuves

10

- au moins une entrée de chargement (5) d'une roche minérale carbonatée, au haut de la cuve,
- à un niveau supérieur à ladite voie de transfert pour gaz (3), des moyens de cuisson de ladite roche minérale carbonatée en cours de descente depuis ladite au moins une entrée de chargement (5), destinés à produire une
- charge de matière calcinée décarbonatée,
- au moins une sortie de déchargement (8) de la matière calcinée décarbonatée produite, au bas de la cuve,
- au moins un conduit d'évacuation (14) d'effluent gazeux au haut de la cuve, et

15

- à un niveau inférieur à ladite voie de transfert pour gaz (3), au moins une entrée d'introduction (7) d'air de refroidissement au bas de la cuve pour refroidir en contre-courant la matière calcinée décarbonatée produite, et un élément collecteur central tubulaire (21) présentant, à son extrémité haute, au moins une ouverture de récolte (24) par où est collecté à l'intérieur de l'élément collecteur tubulaire central un air de refroidissement chauffé par la matière calcinée décarbonatée et, à son extrémité basse, au moins une sortie d'extraction (22) permettant une récolte hors du four de cet air de refroidissement chauffé collecté,

20

25

caractérisé en ce que chaque cuve comprend en outre un élément protecteur en forme de chapeau (25) qui est fixé dans la cuve dans une position indépendante de l'élément collecteur central tubulaire susdit (21), en recouvrant et entourant l'extrémité haute de celui-ci jusqu'à un niveau inférieur à ladite au moins une ouverture de récolte (24), de façon à laisser, entre cette extrémité haute et le chapeau (25), un passage libre pour une collecte de l'air de refroidissement chauffé à travers ladite au moins une ouverture de récolte (24).

30

2. Four suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que**, à son extrémité haute, l'élément collecteur central tubulaire (21) présente une unique ouverture de récolte (24) orientée axialement vers le haut et **en ce qu'**une partie supérieure de l'élément protecteur en forme de chapeau (25) est agencée au-dessus et à distance de cette unique ouverture, en s'évasant vers le bas jusqu'à une partie inférieure cylindrique qui s'étend coaxialement et à distance de l'extrémité haute susdite de l'élément collecteur central tubulaire (21).

35

3. Four suivant l'une ou l'autre des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** chaque cuve comprend une paroi extérieure (28) à partir de laquelle plusieurs entretoises de support (27), de préférence 3 ou 4 entretoises, soutiennent centralement l'élément protecteur en forme de chapeau (25) au-dessus de l'élément collecteur central tubulaire (21).

40

4. Four suivant la revendication 3, **caractérisé en ce que** l'élément protecteur en forme de chapeau (25) est parcouru par au moins un circuit de refroidissement (29) qui est alimenté en fluide de refroidissement froid depuis au moins un conduit d'entrée (30) parcourant au moins une entretoise de support susdite (27), un fluide de refroidissement chauffé étant évacué dudit au moins un circuit de refroidissement (29) par au moins un conduit de sortie (31) parcourant au moins une entretoise de support susdite (27).

45

5. Four suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** chaque cuve comprend une paroi extérieure (28) et **en ce que** l'élément collecteur central tubulaire (21) est, dans une partie basse, fixé à cette paroi par plusieurs poutres (34), de préférence quatre poutres, disposées horizontalement.

50

6. Four suivant l'une des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** chaque cuve comprend une paroi extérieure (28), **en ce que** l'élément collecteur central tubulaire (21) est, dans une partie basse, fixé à cette paroi par plusieurs poutres (34), de préférence quatre poutres, disposées horizontalement et **en ce que** l'élément protecteur en forme de chapeau (25) est soutenu centralement au-dessus de l'extrémité haute de l'élément collecteur central tubulaire (21) par des montants verticaux (37) supportés par lesdites poutres horizontales (34).

55

7. Four suivant la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'élément protecteur en forme de chapeau (25) est parcouru

par au moins un circuit de refroidissement (29) qui est alimenté en fluide de refroidissement froid depuis au moins un conduit d'alimentation parcourant au moins une poutre susdite (34) et un montant susdit (37), un fluide de refroidissement chauffé étant évacué dudit au moins un circuit de refroidissement (29) par au moins un conduit d'évacuation parcourant au moins un montant susdit (37) et une poutre susdite (34).

- 5
8. Four suivant l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** l'élément collecteur central tubulaire (21) est parcouru par au moins un circuit de réfrigération (33) qui est alimenté en fluide de réfrigération froid depuis l'extérieur du four, un fluide de réfrigération chauffé étant évacué de ce circuit à l'extérieur du four.
- 10
9. Four suivant l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** chaque cuve est pourvue en outre d'un collecteur annulaire (35) qui communique avec elle par plusieurs portes (36) situées en périphérie de la cuve et avec un dispositif d'extraction externe pour extraire du four de l'air de refroidissement chauffé.
- 15
10. Four suivant l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** l'élément collecteur central tubulaire (21) a la forme d'un tube cylindrique.
11. Four suivant l'une quelconque des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** qu'au niveau inférieur à ladite voie de transfert pour gaz susdite (3), chaque cuve présente une partie basse (38) en forme de tronc de cône inversé.
- 20
12. Four suivant l'une quelconque des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de cuisson de la roche minérale carbonatée en cours de descente sont des éléments d'injection (4, 6) dans la cuve en mode cuisson d'un combustible et d'un comburant qui par combustion permettent d'atteindre une température de calcination de ladite roche.
- 25
13. Four suivant l'une quelconque des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de cuisson de la roche minérale carbonatée en cours de descente sont des éléments d'injection dans la cuve en mode cuisson d'un gaz ou mélange gazeux porté, à l'extérieur de cette cuve, à une température de calcination de ladite roche.

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

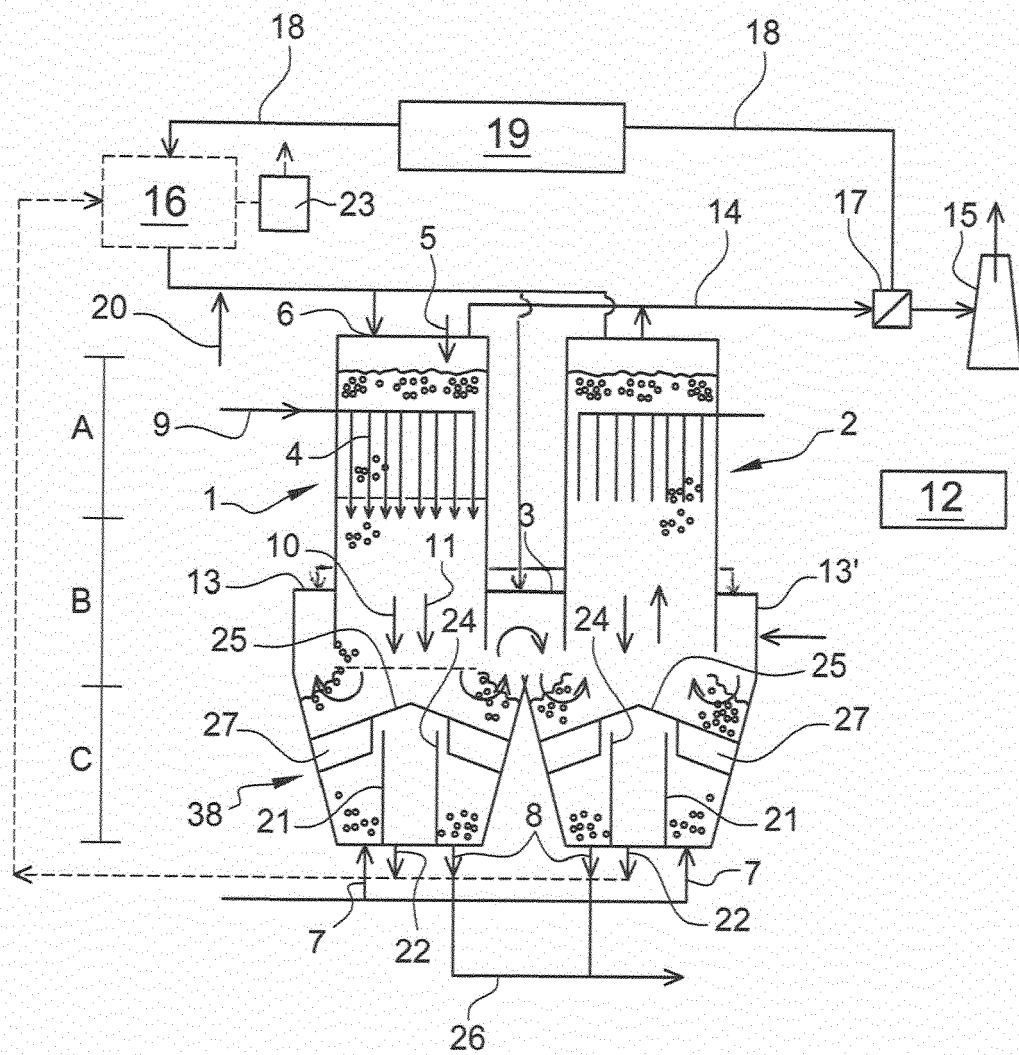


Fig. 2

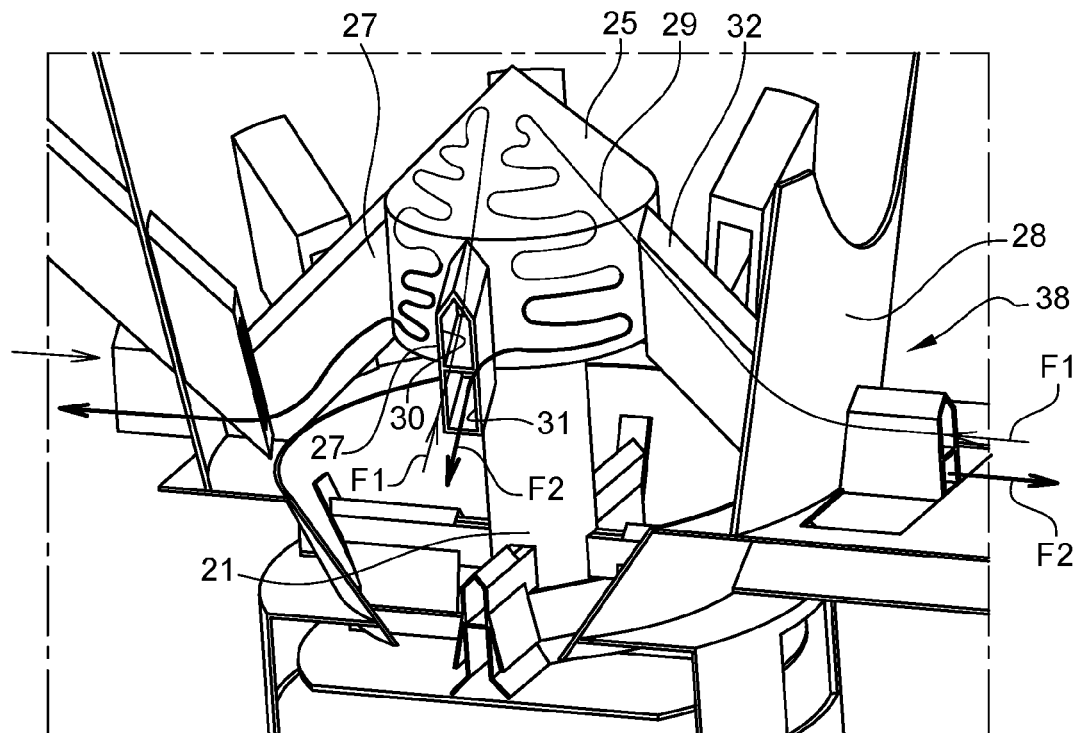


Fig. 3

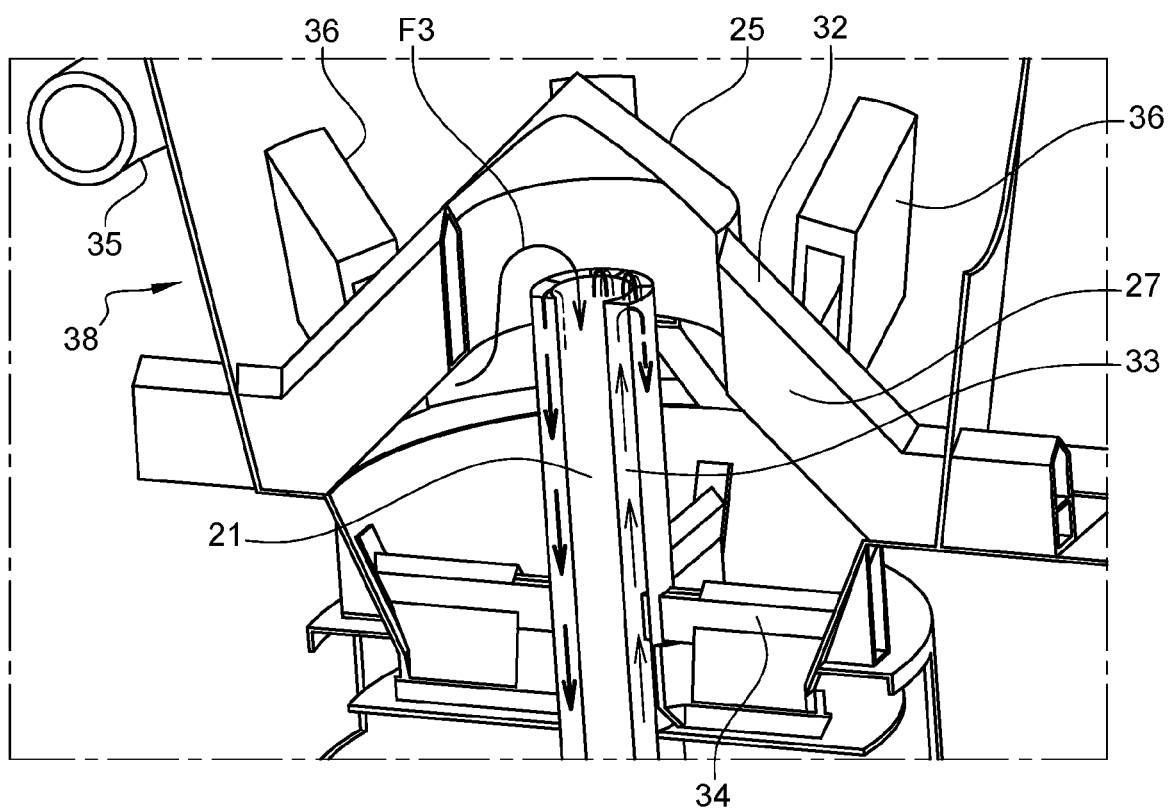
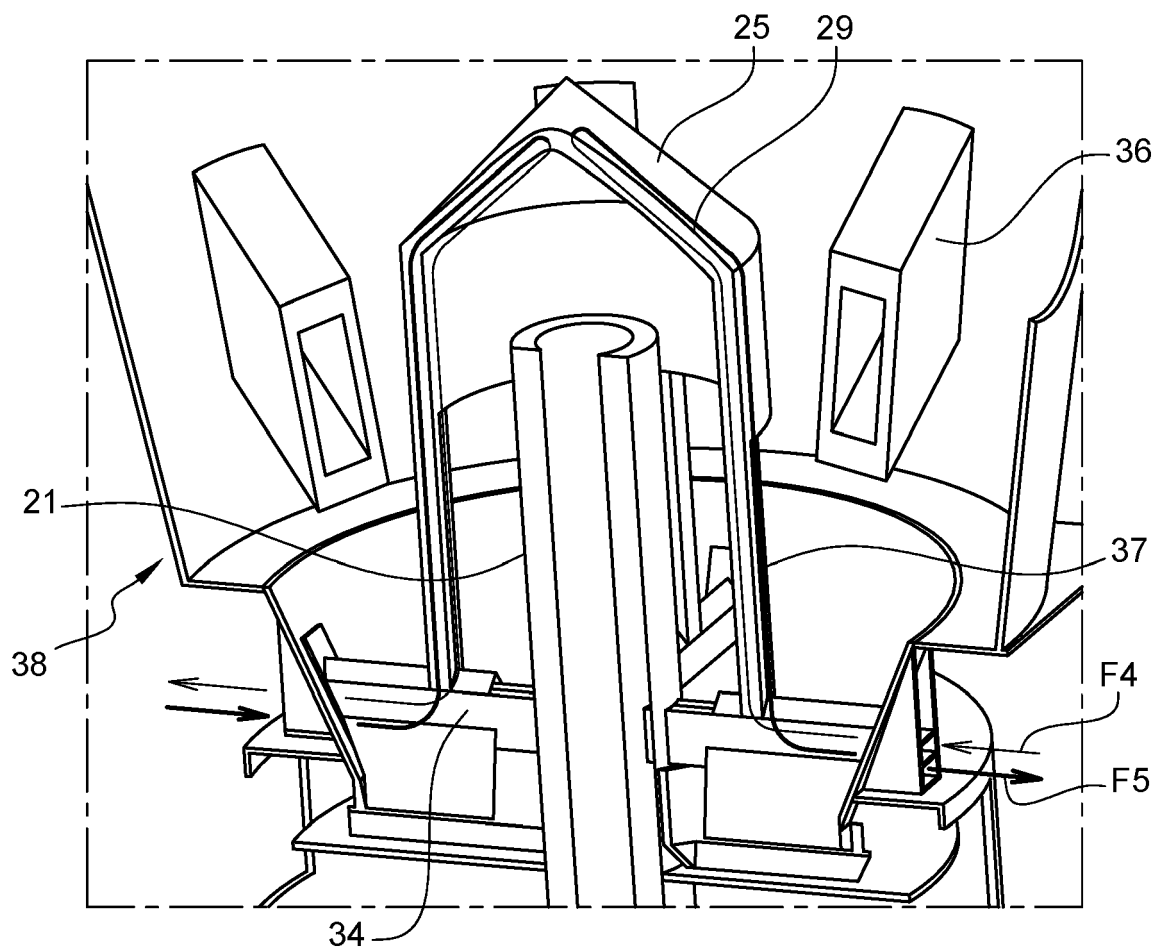


Fig. 4





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 23 19 0297

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	DE 10 2023 102447 A1 (MAERZ OFENBAU [CH]; THYSSENKRUPP AG [DE] ET AL.) 6 juillet 2023 (2023-07-06) * figures 1-5 * * alinéa [0001] * * alinéa [0005] - alinéa [0039] * * alinéa [0041] - alinéa [0077] * -----	1-13	INV. F27B1/00 F27B1/02 F27B1/10 F27B1/22 F27D17/00
X	DE 10 2013 108410 B3 (MAERZ OFENBAU [CH]) 6 novembre 2014 (2014-11-06) * figures 1-5 * * alinéa [0001] * * alinéa [0006] - alinéa [0016] * * alinéa [0024] - alinéa [0036] * -----	1-13	
A	WO 2022/111817 A1 (LHOIST RECH ET DEVELOPPEMENT SA [BE]) 2 juin 2022 (2022-06-02) * figures 1-5 * * revendications 1-18 * -----	1-13	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F27B F27D
Lieu de la recherche La Haye			Examineur Jung, Régis
Date d'achèvement de la recherche 22 janvier 2024			
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 23 19 0297

- 5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

22-01-2024

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102023102447 A1	06-07-2023	AUCUN	

DE 102013108410 B3	06-11-2014	BR 112016002340 A2	01-08-2017
		CN 105452186 A	30-03-2016
		DE 102013108410 B3	06-11-2014
		EP 3030532 A1	15-06-2016
		JP 6371392 B2	08-08-2018
		JP 2016530201 A	29-09-2016
		MY 172379 A	21-11-2019
		NO 2911238 T3	10-02-2018
		PL 3030532 T3	31-08-2018
		RU 2016104622 A	14-09-2017
		TR 201806988 T4	21-06-2018
		US 2016176760 A1	23-06-2016
		WO 2015018504 A1	12-02-2015

WO 2022111817 A1	02-06-2022	AUCUN	

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- WO 2022111817 A [0008]
- WO 2022229119 A [0008]
- DE 102023102447 [0011]