

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 19.09.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 21.03.25 Bulletin 25/12.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablis-
sement public à caractère industriel et commercial —
FR.

72 Inventeur(s) : BERTHELLEMY Alain et DUCROS
Frédéric.

73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablis-
sement public à caractère industriel et commercial.

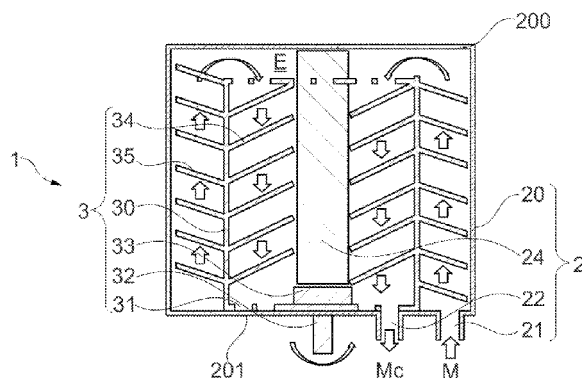
74 Mandataire(s) : Cabinet NONY.

54 Réacteur à rotor à double vis sans fin coaxiales pour la conversion thermochimique d'une charge de
matière carbonée.

57 Réacteur à rotor à double vis sans fin coaxiales pour
la conversion thermochimique d'une charge de matière car-
bonée.

L'invention consiste essentiellement en un réacteur, no-
tamment de conversion thermochimique de matière carbo-
née, à partie tournante formant un rotor au sein d'une cuve
cylindrique formant un élément de stator. Le rotor est sous
la forme d'un cylindre creux dont chacune des parois inté-
rieure et extérieure est filetée en formant une vis sans fin, la
vis sans fin intérieure étant dans un sens opposé à celle ex-
térieure, le cylindre étant monté coaxial à la cuve de stator
et autour d'une paroi cylindrique centrale qui forme un autre
élément de stator.

Figure pour l'abrégé: fig.4



Description

Titre de l'invention : Réacteur à rotor à double vis sans fin coaxiales pour la conversion thermochimique d'une charge de matière carbonée.

Domaine technique

- [0001] La présente invention concerne le domaine des procédés chimiques et des réacteurs continus ou « batch » avec ouverture et fermeture des sas d'entrée pour maîtriser les temps de séjours.
- [0002] Elle concerne plus particulièrement la conversion thermochimique de ressources organiques, c'est-à-dire de charges de matière carbonée.
- [0003] Par « charge de matière carbonée », on entend ici et dans le cadre de l'invention toute matière contenant une quantité de carbone, en particulier toute matière carbonée de résidus.
- [0004] Il peut donc s'agir de biomasse, c'est-à-dire tout matériau inhomogène d'origine végétale contenant du carbone, tel que de la biomasse ligno-cellulosique, des résidus forestiers ou agricoles (paille), qui peut être quasi-sec ou imbibé d'eau comme les déchets ménagers ou des déchets résultants de l'assainissement des eaux comme les boues de station d'épuration. La biomasse peut être choisie parmi le marc de raisin, des grignons d'olive, des tourteaux oléagineux, du lisier, des résidus de cultures comme des cosses, coquilles, coques, tiges, pulpe, etc., des déchets alimentaires, des déchets humides de l'industrie agroalimentaire ou un mélange de ceux-ci.
- [0005] Il peut aussi s'agir d'un combustible d'origine fossile, tel que le charbon.
- [0006] Il peut aussi s'agir de déchets combustibles d'origine industrielle, aussi appelés combustibles solides de récupération (CSR), en particulier de l'industrie agroalimentaire, contenant du carbone, tel que des matières plastiques ou des pneumatiques usagés, des huiles usagées, les solvants organiques
- [0007] Il peut aussi s'agir d'une combinaison de biomasse et de combustible d'origine fossile.
- [0008] Un réacteur selon l'invention est avantageusement mis en œuvre dans une installation de conversion thermochimique de ressources carbonées par carbonisation hydrothermale, pyrolyse ou torréfaction.
- [0009] De manière plus générale, un réacteur selon l'invention peut être mis en œuvre dans de nombreuses applications, et tout particulièrement dans les domaines industriels de l'agroalimentaire, de la chimie, de l'énergie, dont le secteur pétrolier et le secteur des transports.
- [0010] Bien que décrite en référence à une application de conversion thermochimique de

charges de matière carbonée, l'invention peut être mise en œuvre dans toutes applications du génie du procédé où les réacteurs dits agités, dans lesquels la composition est la même en tout point et à tout instant, sont une solution technologique envisageable et pour lesquels on vise une amélioration de la gestion du temps de séjour de la charge de matière carbonée en leur sein.

[0011] En particulier, l'invention peut être appliquée dans le domaine de l'agroalimentaire.

Technique antérieure

[0012] Bon nombre de procédés existants permettent de convertir par voie thermo-chimique une charge de matière carbonée en combustibles liquides (biocarburants, biochar), solides (granulés), et gazeux (biogaz, méthane, syngas, hydrogène).

[0013] Pour mettre en œuvre ces procédés, il est connu de mettre en œuvre une grande diversité de technologies de réacteurs chimiques, parmi lesquels on peut citer les réacteurs tubulaires à écoulement piston, à écoulement turbulent, à écoulement laminaire, les réacteurs parfaitement agités, les réacteurs parfaitement agités en cascade,

[0014] Le choix des réacteurs s'effectue habituellement en fonction des paramètres de fonctionnement souhaités, notamment les temps de séjour.

[0015] Dans les réacteurs existants, les temps de séjour de la matière ne sont pas toujours maîtrisés, ce qui induit un produit de sortie inhomogène, certaines fractions n'étant pas assez converties et d'autres trop. Cela conduit à diminuer les performances des réacteurs par la perte de rendement.

[0016] On peut ainsi citer le brevet EP3152166B1 qui divulgue un réacteur de traitement thermique, notamment par carbonisation hydrothermale, de boues chargées en matières organiques, qui présente une forme générale extérieure cylindrique à l'intérieur de laquelle est agencé un cylindre creux et un agitateur central de sorte que la matière injectée peut circuler entre les parois des cylindres intérieur et extérieur afin d'être recyclée et, à nouveau, d'être traitée thermiquement. Dans un tel réacteur, le temps de séjour de la matière n'est pas maîtrisé et le produit extrait en bas du réacteur n'est pas systématiquement homogène. De plus, pour certaines matières difficiles à déplacer selon leur viscosité et/ou tailles de particules, un tel réacteur peut présenter des risques de colmatage de la matière entre les parois des cylindres.

[0017] Il est déjà connu des réacteurs fonctionnant avec des vis d'Archimède, aussi appelées vis sans fin, qui permettent une plus grande maîtrise du temps de séjour. Ils ont néanmoins pour inconvénient de nécessiter des longueurs importantes, générant des encombrements importants et des pertes thermiques importantes (surface d'échange thermiques avec l'extérieur).

[0018] De plus, ces réacteurs ne permettent souvent pas un brassage important des matières à traiter thermiquement. Les rendements énergétiques de ces réacteurs ne sont donc pas

optimaux.

- [0019] Parmi ces réacteurs, on peut citer le brevet EP2484434B1 qui divulgue un réacteur de carbonisation hydrothermale en continu, dans lequel une pluralité de vis sans fin reliées les unes aux autres et synchronisées par des chaines et agencées pour convoyer et traiter thermiquement la matière carbonée. L'agencement des vis sans fin et leurs liaisons mécaniques rendent le réacteur encombrant et fragile mécaniquement.
- [0020] Le brevet EP1970431B1 décrit, quant à lui, une installation de carbonisation hydrothermale de biomasse, avec un réacteur de pression dans lequel un agitateur est agencé pour réaliser le transfert de matière dans un sens qui peut être vertical. Le réacteur avec un l'agitateur présente l'inconvénient de nécessiter une longueur importante pour atteindre les températures nécessaires au traitement thermique et à l'obtention d'un mélange homogène. Les pertes thermiques résultantes sont donc importantes.
- [0021] Il existe donc un besoin d'améliorer les réacteurs pour la conversion thermochimique d'une charge de matière carbonée afin de maîtriser le temps de séjour de cette charge, en palliant les inconvénients précités.
- [0022] Le but de l'invention est de répondre au moins en partie à ce besoin.

Exposé de l'invention

- [0023] Pour ce faire, l'invention concerne, sous l'un de ses aspects, un réacteur comprenant :
- [0024] - un stator délimité extérieurement par une cuve cylindrique d'axe central (Y) comprenant au moins une ouverture d'alimentation de la charge, une ouverture d'évacuation de la matière et une ouverture centrale, la cuve cylindrique logeant au moins une paroi cylindrique fixe, qui s'étend selon ou parallèlement à l'axe central (Y) et dont la hauteur est inférieure à celle de la cuve cylindrique;
- [0025] - un rotor comprenant au moins un cylindre creux ouvert au moins partiellement à l'une de ses deux extrémités longitudinales dont la hauteur est inférieure à celle de la cuve cylindrique du rotor et comprenant, à l'autre de ses extrémités longitudinales, une plaque ajourée au centre de laquelle est fixé un arbre formant un moyeu, le cylindre creux étant muni sur sa périphérie intérieure d'un premier filet formant une première vis sans fin, et sur sa périphérie extérieure d'un deuxième filet formant une deuxième vis sans fin dont le sens d'enroulement est opposé à celui de la première vis ;
- [0026] réacteur dans lequel le moyeu du rotor est logé de manière étanche et coaxiale dans l'ouverture centrale de la cuve cylindrique du stator de sorte qu'en fonctionnement, la rotation du rotor déplace, par l'une des première ou deuxième vis sans fin, la charge de matière alimentée par l'ouverture d'alimentation, dans un premier sens parallèle à l'axe central, jusqu'à l'extrémité longitudinale de la cuve du stator opposée à l'ouverture d'alimentation, pour y être retournée et déplacée, par l'autre des première ou deuxième vis sans fin dans un deuxième sens, opposé au premier sens, jusqu'à l'ouverture

d'évacuation.

- [0027] Avantageusement, la paroi d'extrémité longitudinale de la cuve du stator contre laquelle la charge de matière est retournée est plate, ou présente une forme non plate adaptée pour un flux de matière, de préférence une forme de portion de tore faisant face, de préférence en étant centrée, au cylindre du rotor, pour orienter le flux de la charge d'une extrémité longitudinale d'une des première ou deuxième vis vers une extrémité longitudinale de l'autre des première ou deuxième vis.
- [0028] Selon un mode de réalisation:
- [0029] - la cuve de stator loge une seule paroi cylindrique fixe qui s'étend selon l'axe central ;
- [0030] - le rotor est constitué d'un seul cylindre creux ;
- [0031] - le moyeu du rotor est agencé en regard de la seule paroi cylindrique fixe ;
- [0032] - l'une des ouvertures d'alimentation et d'évacuation est agencée dans une paroi d'extrémité longitudinale de la cuve, en regard de l'espace entre la seule paroi fixe du stator et l'intérieur du cylindre creux de rotor, tandis que l'autre des ouvertures d'alimentation et d'évacuation est agencée entre la paroi cylindrique fixe logée dans la cuve et la paroi latérale de la cuve.
- [0033] Selon un mode de réalisation alternatif:
- [0034] - la cuve de stator loge plusieurs parois cylindriques fixes, concentriques, dont une qui s'étend selon l'axe central ;
- [0035] - le rotor est constitué d'une pluralité de cylindres creux concentriques reliés entre eux par l'une de leurs extrémités longitudinales par une plaque de fermeture;
- [0036] - le moyeu du rotor est agencé en regard de la paroi cylindrique fixe qui s'étend selon l'axe central et chacune des autres parois cylindriques concentriques étant logée à l'intérieur d'un espace délimité par deux cylindre creux concentriques adjacents et de leur plaque de fermeture ;
- [0037] - l'une des ouvertures d'alimentation et d'évacuation est agencée dans une paroi d'extrémité longitudinale de la cuve en regard de l'espace entre la paroi cylindrique fixe centrale et l'intérieur du cylindre creux central de rotor; tandis que l'autre des ouvertures d'alimentation et d'évacuation est agencée entre la paroi cylindrique fixe logée le plus à l'extérieur de l'axe central dans la cuve et la paroi latérale de la cuve.
- [0038] Autrement dit, cet autre mode alternatif prévoit un rotor avec plusieurs étages de vis en série au sein d'une même cuve de stator.
- [0039] Selon une variante de réalisation avantageuse, le réacteur comprend un dispositif de perte de charge variable dans l'ouverture d'évacuation de matière, de sorte à faire recirculer au moins une partie de la charge de matière au sein du réacteur avant son évacuation définitive. Ainsi, on peut prélever qu'une partie de charge de matière convertie et en refaire circuler une autre au sein du réacteur avant de l'évacuer.

- [0040] Selon une variante de réalisation avantageuse, le réacteur comprend au moins un bras de râblage fixé à l'intérieur de la cuve de stator, comprenant des dents de râblage fixées perpendiculairement au bras et adaptées pour râbler la matière en déplacement. Ainsi, les dents de râblage facilitent le transfert de matière au sein de la cuve de stator.
- [0041] De préférence, selon cette variante, au moins un bras de râblage est agencé entre une extrémité longitudinale du rotor et une paroi d'extrémité longitudinale de la cuve.
- [0042] De préférence encore, les dents de râblage sont agencées de sorte à déplacer la matière dans une direction radiale au-dessus et/ou au-dessous du rotor, selon un sens centrifuge ou centripète.
- [0043] Dans le cas d'une mise en œuvre à la carbonisation hydrothermale, le réacteur peut présenter l'une et/ou l'autre des caractéristiques avantageuses de fonctionnement, comme suit :
- [0044] - la température de fonctionnement au sein de la cuve est comprise entre 100 et 300°C, de préférence entre 150 et 250°C,
- [0045] - la pression de fonctionnement au sein de la cuve est comprise entre 1 et 100 bars, de préférence entre 5 et 40 bars,
- [0046] - le débit de matière au sein de la cuve est compris 10 à 500 kg/heure.
- [0047] - le temps de séjour de la matière est compris entre 20min et 10 heures.
- [0048] Le réacteur comprend avantageusement des moyens de chauffage agencés à l'extérieur de la cuve de stator et/ou au sein de la cuve de stator et/ou à l'intérieur de la paroi cylindrique fixe du stator. En fonction de la configuration et/ou du type matière et de réaction thermochimique à mettre en œuvre, on peut agencer et adapter à souhait les moyens de chauffage requis pour la réaction.
- [0049] Avantageusement, les moyens de chauffage comprennent des colliers chauffants et/ou un circuit d'échange par fluide caloporteur et/ou en une ou plusieurs résistances électriques pour chauffage par effet Joule et/ou des moyens d'injection de fumées récupérées et/ou des moyens d'injection de vapeur.
- [0050] L'invention concerne également l'utilisation d'un réacteur tel que décrit précédemment, pour la conversion thermochimique d'une charge de matière carbonée, notamment la carbonisation hydrothermale, la pyrolyse ou la torréfaction de biomasse, de préférence présentant un taux de matière sèche initiale compris entre 1% et 50%.
- [0051] De manière plus générale, l'invention peut être envisagée dans les applications du génie du procédé où les réacteurs parfaitement agités sont une solution technologique envisageable et pour lesquels on vise une amélioration de la gestion du temps de séjour de la matière à traiter en leur sein.
- [0052] Ainsi, l'invention consiste essentiellement en un réacteur, notamment de conversion thermochimique de matière carbonée, à partie tournante formant un rotor au sein d'une cuve cylindrique formant un élément de stator. Le rotor est sous la forme d'un cylindre

creux dont chacune des parois intérieure et extérieure est filetée en formant une vis sans fin, la vis sans fin intérieure étant dans un sens opposé à celle extérieure, le cylindre étant monté coaxial à la cuve de stator et autour d'une paroi cylindrique centrale qui forme un autre élément de stator.

- [0053] La structure du réacteur ainsi proposée oblige la matière, lors du fonctionnement avec le rotor en rotation, à suivre un parcours défini entre le rotor et le stator, de telle sorte que la matière carbonée qui est convertie soit guidée et qu'elle ne puisse se déplacer que dans le sens défini par la rotation du rotor. Cela permet de résoudre le problème de l'homogénéité du temps de séjour de la matière selon l'état de l'art.
- [0054] De plus, la vitesse de rotation du rotor étant maîtrisée et constante, la vitesse de déplacement de la matière au sein du réacteur est stable.
- [0055] Autrement dit, l'invention permet de résoudre le problème de longueur des réacteurs à vis sans fin ou d'Archimède selon l'état de l'art et de pertes thermiques afférentes, du fait de la création d'un flux de matière aller et d'un flux de matière retour dans une même cuve.
- [0056] L'invention permet de conjuguer le principe des vis sans fin ou d'Archimède et des cuves de réacteurs avec des rapports d'aspects longueur/diamètre arbitraires.
- [0057] L'invention de par sa simplicité et sa faible vitesse de rotation, permet a priori de mettre un procédé de conversion thermochimique, de manière fiable et à moindre coût d'entretien.
- [0058] Avec un dispositif de perte de charge variable au sein de l'ouverture d'évacuation de la matière, l'invention permet en outre un retraitement d'une partie de la matière au sein du réacteur, ce qui permet de décorrélérer le temps de séjour, de la vitesse de circulation de la matière au sein du réacteur.
- [0059] La distance séparant les parois du stator et du rotor peut être très faible, éventuellement être quasi-nulle si on dote les parois du stator d'un ou plusieurs bras de raclage avec ou sans dents. Le raclage peut par exemple être réalisé au moyen d'une ou plusieurs bandes en polymère résistant à des hautes températures. On peut ainsi ajouter une fonction de raclage et donc de limitations/suppressions de l'encrassement du réacteur. Ceci est particulièrement utile en cas de matière à convertir, qui présente une forte adhérence.
- [0060] Selon une variante avantageuse, les moyens de chauffage peuvent être agencés notamment par un circuit de fluide caloporteur au sein de la ou des parois cylindriques fixes. Ainsi, la chaleur peut être injectée directement à l'intérieur de la cuve de réacteur, ce qui permet de limiter les pertes thermiques par les parois externes en contact avec l'environnement extérieur.
- [0061] Dans la variante où la matière est injectée dans l'espace situé entre la paroi externe de la cuve de réacteur et la partie extérieure du rotor, la zone froide du réacteur se

trouve sur la zone la plus à la périphérie, ce qui va dans le sens de limiter à son maximum les pertes thermiques. Par conséquent, un transfert maximal de chaleur a lieu pour chauffer la matière, la chauffe des parois externes de cuve étant quant à elle limitée.

[0062] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront mieux à la lecture de la description détaillée d'exemples de mise en œuvre de l'invention faite à titre illustratif et non limitatif en référence aux figures suivantes.

Brève description des dessins

[0063] [Fig.1] la [Fig.1] est une vue schématique en transparence d'une partie d'un réacteur pour la conversion thermochimique d'une charge de matière carbonée, selon l'invention.

[0064] [Fig.2], [Fig.2A] les figures 2, 2A sont des vues schématiques respectivement en perspective et en transparence du stator du réacteur selon la [Fig.1].

[0065] [Fig.3] la [Fig.3] est une vue schématique en perspective du rotor du réacteur selon la [Fig.1].

[0066] [Fig.4] la [Fig.4] est une représentation schématique en vue de coupe longitudinale d'un réacteur selon une variante de l'invention, qui montre en fonctionnement, le transfert de matière carbonée au sein du réacteur lors de la rotation de son rotor.

[0067] [Fig.5] la [Fig.5] est une représentation schématique en vue de coupe longitudinale d'un réacteur selon une autre variante de l'invention, qui montre en fonctionnement, le transfert de matière carbonée au sein du réacteur lors de la rotation de son rotor.

[0068] [Fig.6] la [Fig.6] est une représentation schématique en vue de coupe longitudinale d'un réacteur selon plusieurs autres variantes de l'invention, qui montre en fonctionnement, le transfert de matière carbonée au sein du réacteur lors de la rotation de son rotor ainsi que des fonctions de chauffage interne de la charge.

[0069] [Fig.7] la [Fig.7] illustre sous forme de courbes, les conséquences de la mise en œuvre de l'invention sur les temps de présence d'une charge. Pour cela, on considère le résultat de simulations numériques modélisant le transport d'un scalaire passif (transport d'un pulse de température initié en entrée de réacteur selon l'invention, et à titre comparatif, en entrée d'un réacteur dit parfaitement agité, selon l'état de l'art).

Description détaillée

[0070] Dans l'ensemble de la demande, les termes « amont », « aval », « entrée », « sortie » sont à considérer par rapport au sens de circulation d'un flux de matière dans un réacteur selon l'invention.

[0071] Dans l'ensemble de la demande, les termes « inférieur », « supérieur », « au-dessus », « au-dessous », « intérieur », « extérieur », « interne », « externe » sont à considérer dans une configuration en fonctionnement d'un réacteur selon l'invention, agencé avec

son axe central Y du stator à la verticale.

- [0072] On a représenté en figures 1 à 3, un réacteur 1 selon l'invention et ses différents composants, destiné à mettre en œuvre une conversion thermochimique de matière carbonée. Il peut s'agir avantageusement d'une carbonisation hydrothermale, d'une pyrolyse ou d'une torréfaction d'une biomasse.
- [0073] Le réacteur 1 comprend un stator 2 dans lequel est agencé coaxialement monté en rotation et avec étanchéité un rotor 3.
- [0074] Le stator 2 est délimité extérieurement par une cuve cylindrique 20 d'axe central (Y) qui est percée d'une ouverture d'alimentation 21 de la charge de matière à convertir, d'une ouverture d'évacuation de la matière 22 et d'une ouverture centrale 23.
- [0075] La cuve cylindrique 20 loge une paroi cylindrique fixe, qui s'étend selon l'axe central (Y) et dont la hauteur h est inférieure à la hauteur H de la cuve cylindrique.
- [0076] Le rotor 3 comprend un cylindre creux ouvert 30 à ses deux extrémités longitudinales dont la hauteur H1 est inférieure à la hauteur H de la cuve cylindrique du rotor. Ainsi, en configuration montée du rotor 3 dans le stator 2, un espace E est dégagé entre au moins une des extrémités longitudinales du rotor 3 et une paroi d'extrémité 200 de la cuve 20 qui est en regard. Cet espace E constitue un espace de transfert et de retournement de la matière en circulation dans la cuve 20. Un espace E peut être ménagé dans le haut et/ou dans le bas de la cuve 20.
- [0077] Le cylindre creux 30 comprend à une des extrémités longitudinales, une plaque ajourée 31 au centre de laquelle est fixé un arbre 32 à moyeu 33. Ce moyeu d'entraînement 33 est monté avec étanchéité à travers l'ouverture centrale 23 de la cuve 20 du stator 2.
- [0078] Le cylindre creux 30 est muni sur sa périphérie intérieure d'un premier filet 34 formant une première vis sans fin, et sur sa périphérie extérieure d'un deuxième filet formant une deuxième vis sans fin 35 dont le sens d'enroulement est opposé à celui de la première vis.
- [0079] Des moyens de chauffage, non représentés, sont agencés à l'extérieur de la cuve 20 de stator et/ou au sein de la cuve de stator et/ou à l'intérieur de la paroi cylindrique fixe 24 du stator.
- [0080] Il peut s'agir de colliers chauffants autour de la cuve 20 et/ou un circuit d'échange par fluide caloporteur à l'intérieur de la paroi cylindrique fixe 24 et/ou en une ou plusieurs résistances électriques pour chauffage par effet Joule et/ou des moyens d'injection de fumées récupérées et/ou des moyens d'injection de vapeur au sein de la cuve 20. Le fait d'intégrer les moyens de chauffage dans la paroi cylindrique fixe 24 a pour avantage majeur d'injecter directement la chaleur nécessaire à la réaction de conversion thermochimique, à l'intérieur de la cuve 20, ce qui permet de limiter les pertes thermiques par les parois externes en contact avec l'environnement extérieur.

- [0081] Le fonctionnement d'un réacteur 1 selon l'invention va maintenant être décrit en relation avec les figures 3 et 4.
- [0082] Les moyens de chauffage amènent l'intérieur de la cuve 20 à la température requise pour la conversion thermochimique visée. Typiquement, la température de fonctionnement au sein de la cuve 20 est comprise entre 100 et 300°C, de préférence entre 150 et 250°C.
- [0083] La pression de fonctionnement au sein de la cuve est de préférence comprise entre 1 et 100 bars, de préférence entre 5 et 40 bars.
- [0084] Le rotor 3 est mis en rotation à l'intérieur de la cuve 20. La vitesse de rotation du rotor 3 est réglable, par exemple de 2 à 120 tr/min en fonction de divers paramètres, dont notamment les caractéristiques de la matière à convertir et les temps de séjour cibles au sein de la cuve 20.
- [0085] L'injection/l'alimentation de la matière à convertir M et le cas échéant d'eau est réalisée par l'ouverture 21 réalisée dans une paroi d'extrémité longitudinale 201 de la cuve 20. Le débit de matière à convertir au sein de la cuve est de préférence compris 10 à 500 kg/heure.
- [0086] En fonctionnement, la rotation du rotor 3 déplace, par la vis sans fin 35 extérieure, la charge de matière selon un premier sens parallèle à l'axe central (Y) (flèches vers le haut en figures 3 et 4), entre la cuve 20 et le cylindre creux 30 du rotor et ce jusqu'à l'extrémité longitudinale de la cuve 20 du stator opposée à l'ouverture d'alimentation, qui est délimitée par une plaque 200.
- [0087] La matière est retournée au niveau de cette plaque 200 dans l'espace E (flèches courbes en figures 3 et 4) puis est déplacée, par la vis sans fin 34 intérieure dans un deuxième sens, opposé au premier sens (flèches vers le bas en figures 3 et 4), jusqu'à l'ouverture d'évacuation 22.
- [0088] Ainsi, la rotation du rotor 3 fait transiter la matière M en conversion thermochimique dans un sens ascendant par la vis sans fin 35 tandis que l'autre vis sans fin 34 fait transiter la matière M dans le sens descendant. Grâce à ce transfert en sens opposés, on décorrèle le régime hydrodynamique du temps de parcours de la matière M au sein du réacteur, sans avoir à augmenter le volume de ce dernier.
- [0089] Le temps de séjour de la matière est de préférence compris entre 20min et 10 heures.
- [0090] Le soutirage ou l'évacuation de la matière convertie thermochimiquement Mc et le cas échéant d'eau est réalisé par l'ouverture 22 réalisée dans la plaque 201.
- [0091] La plaque 200 d'extrémité longitudinale de la cuve qui permet de faire le transfert de la matière M par retournement peut être de forme plate ([Fig.4]), ou de préférence sous la forme d'une portion torique ([Fig.5]) avec la concavité du tore orientée vers l'intérieur de la cuve 20. Cette portion de tore 200 permet d'orienter de manière optimale le flux de matière d'une vis sans fin 35 vers l'autre vis sans fin 34.

- [0092] Dans les figures 1 à 5, le rotor 3 comprend un seul cylindre 30 qui est mis en rotation autour de la paroi cylindrique centrale 24.
- [0093] On peut prévoir d'agencer un rotor 3 à plusieurs étages de cylindres à vis sans fin, en série au sein d'une même cuve 20 de stator.
- [0094] Ainsi, comme illustré à la [Fig.6], le rotor 3 comprend un cylindre creux supplémentaire 36 à vis sans fin intérieure 37 et vis sans fin extérieure 38, qui est concentrique au cylindre 30 et relié à ce dernier par une paroi de liaison 39.
- [0095] Une paroi fixe supplémentaire 25 est agencée dans la cuve 20 et de manière concentrique à la paroi centrale 24.
- [0096] Le rotor 3 est donc monté dans la cuve 20 de sorte que le cylindre creux central 30 est coaxial à la paroi centrale fixe 24, la paroi cylindrique supplémentaire 25 étant agencée entre les deux cylindres 30, 36 concentriques du rotor 3.
- [0097] Ainsi, la matière M, injectée dans l'ouverture 21 sur la paroi d'extrémité du dessus 200 de la cuve 20 est déplacée par la vis sans fin intérieure 34 du cylindre 30 en bas jusqu'à traverser sa plaque ajourée 31. Puis elle est retournée par la paroi d'extrémité du dessous 201 de la cuve 20 pour être déplacée dans le sens ascendant par la vis sans fin extérieure 35 du cylindre 30 jusque dans l'espace entre le haut de la paroi fixe supplémentaire 25 et la paroi de liaison 39 dans lequel elle est retournée.
- [0098] La vis sans fin intérieure 37 du cylindre supplémentaire 36 transfère alors la matière dans un sens descendant jusqu'à la paroi d'extrémité du dessous 201 de la cuve 20 où elle peut être évacuée par l'ouverture d'évacuation 25.
- [0099] Un dispositif 4 de perte de charge variable dans l'ouverture d'évacuation 22 peut être prévu. Ce dispositif 4 permet de gérer éventuellement les proportions du flux de matière qui peut recirculer à l'intérieur ou être évacuée de la cuve 20. Autrement dit, ce dispositif 4 permet de faire recirculer au moins une partie de la charge de matière M au sein du réacteur avant son évacuation définitive. Comme illustré à la [Fig.6], la recirculation peut être assurée par la vis sans fin extérieure 38 du cylindre supplémentaire de rotor 3 entre celui-ci et la paroi latérale de la cuve 2.
- [0100] Un bras de râblage 5 à dents de râblage 50 peut être intégré à l'intérieur de la cuve 20. De préférence, les dents de râblage 50 sont agencées en bas et en haut de l'intérieur de la cuve 20, avec une inclinaison adaptée de manière à permettre un transfert de la matière dans la direction radiale de la cuve 20 et de préférence dans des sens en fonction de la configuration du réacteur 1. Comme montré en [Fig.6], le sens peut être centrifuge avec un dispositif de râblage dans le bas de la cuve 20 et centripète dans le haut de la cuve 20.
- [0101] La [Fig.7] illustre le résultat d'une simulation numérique réalisée sur un réacteur 1 comme illustré aux figures 1 et 3, et à titre comparatif sur un réacteur parfaitement agité à arbre centrale à pales selon l'état de l'art. Pour ce faire, le logiciel Solidworks a

été utilisé pour la réalisation de la géométrie du modèle, les simulations thermo hydrauliques ont été réalisées par Flowsimulation, adossée à Solidworks.

- [0102] Dans cette simulation, chaque réacteur est alimenté par un flux de matière constant en débit, assez visqueux (le fluide modèle considéré est de la boue, dont le comportement est décrit au travers du modèle d'Herschel-Bulkley), et à température fixe.
- [0103] La simulation a consisté à générer un pulse de température en entrée sur un temps faible comparé au temps de présence moyen τ dans la cuve de réacteur, i.e. évalué comme le rapport du volume de la cuve par rapport au débit volumique de la charge.
- [0104] Dans la simulation, la durée d'un pulse en entrée est environ égale à $0,2 \tau$.
- [0105] La température a été enregistrée en sortie.
- [0106] La réponse en sortie du réacteur selon l'état de l'art correspond aux données de la littérature, et notamment un important étalement temporel du signal. La réponse modélisée d'un réacteur selon l'invention montre une probabilité d'étalement du temps de présence plus restreinte (sortie e1 ou e2) que celle de l'état de l'art. Cette probabilité de temps e1 ou e2 est dépendante de divers paramètres, notamment des fuites potentielles entre le rotor 3 et le stator 2.
- [0107] L'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits; on peut notamment combiner entre elles des caractéristiques des exemples illustrés au sein de variantes non illustrées.
- [0108] D'autres variantes et améliorations peuvent être envisagées sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

Revendications

[Revendication 1]

Réacteur (1) comprenant :

- un stator (2) délimité extérieurement par une cuve cylindrique (20) d'axe central (Y) comprenant une ouverture d'alimentation d'une charge de matière, une ouverture d'évacuation de la matière et une ouverture centrale, la cuve cylindrique logeant au moins une paroi cylindrique fixe, qui s'étend selon ou parallèlement à l'axe central (Y) et dont la hauteur est inférieure à celle de la cuve cylindrique;
- un rotor comprenant au moins un cylindre creux ouvert au moins partiellement à l'une de ses deux extrémités longitudinales dont la hauteur est inférieure à celle de la cuve cylindrique du rotor et comprenant, à l'autre de ses extrémités longitudinales, une plaque ajourée au centre de laquelle est fixé un arbre formant un moyeu, le cylindre creux étant muni sur sa périphérie intérieure d'un premier filet formant une première vis sans fin, et sur sa périphérie extérieure d'un deuxième filet formant une deuxième vis sans fin dont le sens d'enroulement est opposé à celui de la première vis ;

réacteur dans lequel le moyeu du rotor est logé de manière étanche et coaxiale dans l'ouverture centrale de la cuve cylindrique du stator de sorte qu'en fonctionnement, la rotation du rotor déplace, par l'une des première ou deuxième vis sans fin, la charge de matière, alimentée par l'ouverture d'alimentation, selon un premier sens parallèle à l'axe central (Y), jusqu'à l'extrémité longitudinale de la cuve du stator opposée à l'ouverture d'alimentation, pour y être retournée et déplacée, par l'autre des première ou deuxième vis sans fin dans un deuxième sens, opposé au premier sens, jusqu'à l'ouverture d'évacuation.

[Revendication 2]

Réacteur selon la revendication 1, la paroi d'extrémité longitudinale de la cuve du stator contre laquelle la charge de matière est retournée étant plate ou présente une forme non plate adaptée pour rediriger un flux de matière, de préférence une forme de portion de tore faisant face, de préférence en étant centrée, au cylindre du rotor, pour orienter le flux de la charge d'une extrémité longitudinale d'une des première ou deuxième vis vers une extrémité longitudinale de l'autre des première ou

deuxième vis.

[Revendication 3]

Réacteur (1) selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel :

- la cuve de stator loge une seule paroi cylindrique fixe qui s'étend selon l'axe central ;
- le rotor est constitué d'un seul cylindre creux ;
- le moyeu du rotor est agencé en regard de la seule paroi cylindrique fixe ;
- l'une des ouvertures d'alimentation et d'évacuation est agencée dans une paroi d'extrémité longitudinale de la cuve, en regard de l'espace entre la seule paroi fixe du stator et l'intérieur du cylindre creux de rotor, tandis que l'autre des ouvertures d'alimentation et d'évacuation est agencée entre la paroi cylindrique fixe logée dans la cuve et la paroi latérale de la cuve.

[Revendication 4]

Réacteur (1) selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel :

- la cuve de stator loge plusieurs parois cylindriques fixes, concentriques, dont une qui s'étend selon l'axe central ;
- le rotor est constitué d'une pluralité de cylindres creux concentriques reliés entre eux par l'une de leurs extrémités longitudinales par une plaque de fermeture;
- le moyeu du rotor est agencé en regard de la paroi cylindrique fixe qui s'étend selon l'axe central et chacune des autres parois cylindriques concentriques étant logée à l'intérieur d'un espace délimité par deux cylindres creux concentriques adjacents et de leur plaque de fermeture ;
- l'une des ouvertures d'alimentation et d'évacuation est agencée dans une paroi d'extrémité longitudinale de la cuve en regard de l'espace entre la paroi cylindrique fixe centrale et l'intérieur du cylindre creux central de rotor; tandis que l'autre des ouvertures d'alimentation et d'évacuation est agencée entre la paroi cylindrique fixe logée le plus à l'extérieur de l'axe central dans la cuve et la paroi latérale de la cuve.

[Revendication 5]

Réacteur (1) selon l'une des revendications précédentes, comprenant un dispositif de perte de charge variable dans l'ouverture d'évacuation de matière, de sorte à faire recirculer au moins une partie de la charge de matière au sein du réacteur avant son évacuation définitive.

[Revendication 6]

Réacteur (1) selon l'une des revendications précédentes, comprenant au moins un bras de râblage fixé à l'intérieur de la cuve de stator, comprenant des dents de râblage fixées perpendiculairement au bras et adaptées pour râbler la matière en déplacement.

[Revendication 7]

Réacteur selon la revendication 6, comprenant au moins un bras de

râblage agencé entre une extrémité longitudinale du rotor et une paroi d'extrémité longitudinale de la cuve.

- [Revendication 8] Réacteur selon la revendication 7, les dents de râblage étant agencées de sorte à déplacer la matière dans une direction radiale au-dessus et/ou au-dessous du rotor, selon un sens centrifuge ou centripète.
- [Revendication 9] Réacteur (1) selon l'une des revendications précédentes, comprenant des moyens de chauffage agencés à l'extérieur de la cuve de stator et/ou au sein de la cuve de stator et/ou à l'intérieur de la paroi cylindrique fixe du stator.
- [Revendication 10] Réacteur (1) selon la revendication 9, les moyens de chauffage comprennent des colliers chauffants et/ou un circuit d'échange par fluide caloporteur et/ou en une ou plusieurs résistances électriques pour chauffage par effet Joule et/ou des moyens d'injection de fumées récupérées et/ou des moyens d'injection de vapeur.
- [Revendication 11] Procédé de fonctionnement d'un réacteur (1) selon l'une des revendications précédentes, la température de fonctionnement au sein de la cuve étant comprise entre 100 et 300°C, de préférence entre 150 et 250°C.
- [Revendication 12] Procédé de fonctionnement d'un réacteur (1) selon l'une des revendications 1 à 10, la pression de fonctionnement au sein de la cuve étant comprise entre 1 et 100 bars, de préférence entre 5 et 40 bars.
- [Revendication 13] Procédé de fonctionnement d'un réacteur (1) selon l'une des revendications 1 à 10, le débit de matière au sein de la cuve étant compris 10 à 500 kg/heure.
- [Revendication 14] Procédé de fonctionnement d'un réacteur (1) selon l'une des revendications 1 à 10, le temps de séjour de la matière étant compris entre 20min et 10 heures.
- [Revendication 15] Utilisation d'un réacteur (1) selon l'une des revendications 1 à 10, pour la conversion thermochimique d'une charge de matière carbonée, notamment la carbonisation hydrothermale, la pyrolyse ou la torréfaction de biomasse, de préférence présentant un taux de matière sèche initiale compris entre 1% et 50%.

[Fig. 1]

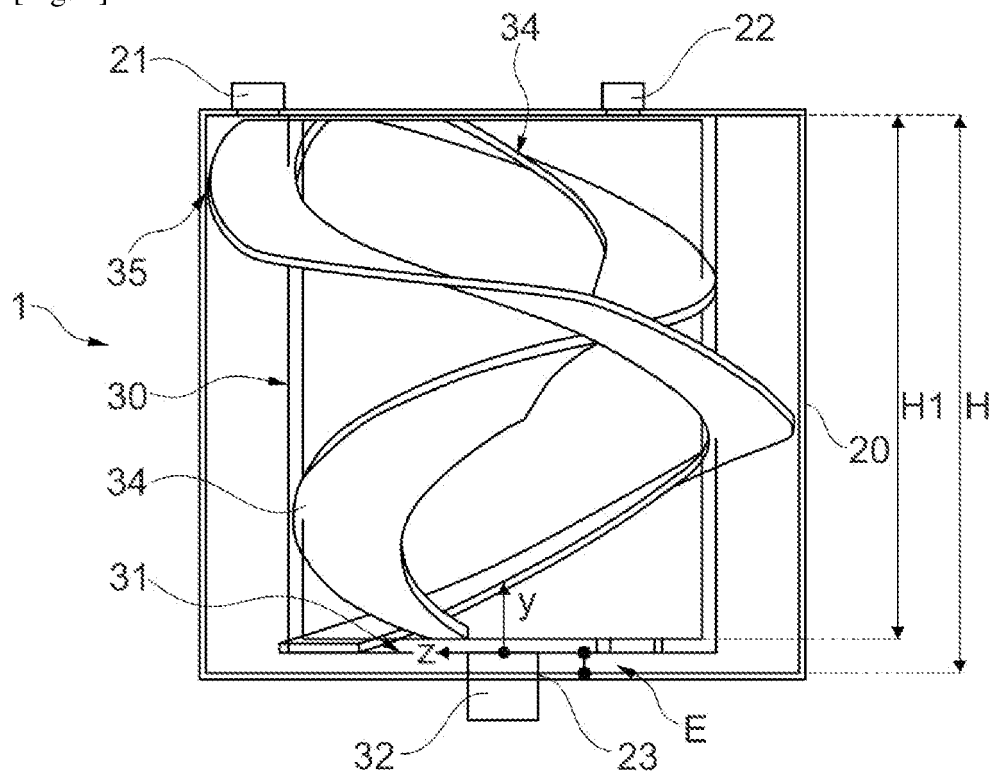


Fig. 1

[Fig. 2]

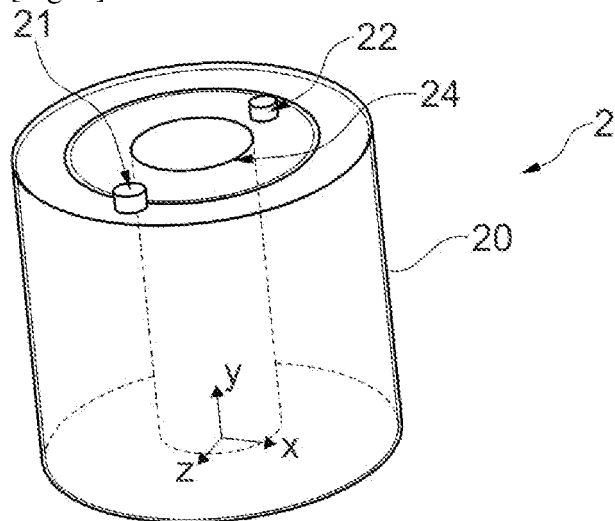


Fig. 2

[Fig. 2A]

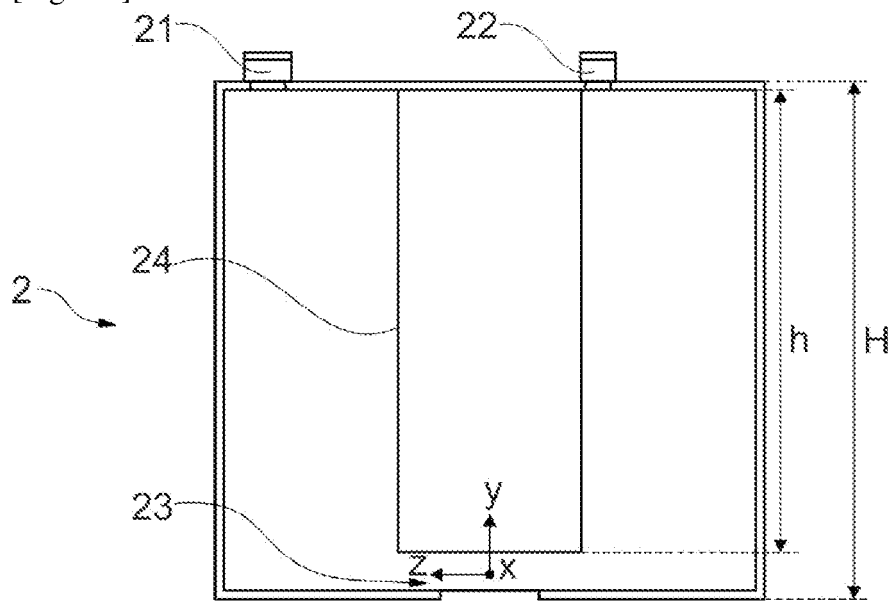


Fig. 2A

[Fig. 3]

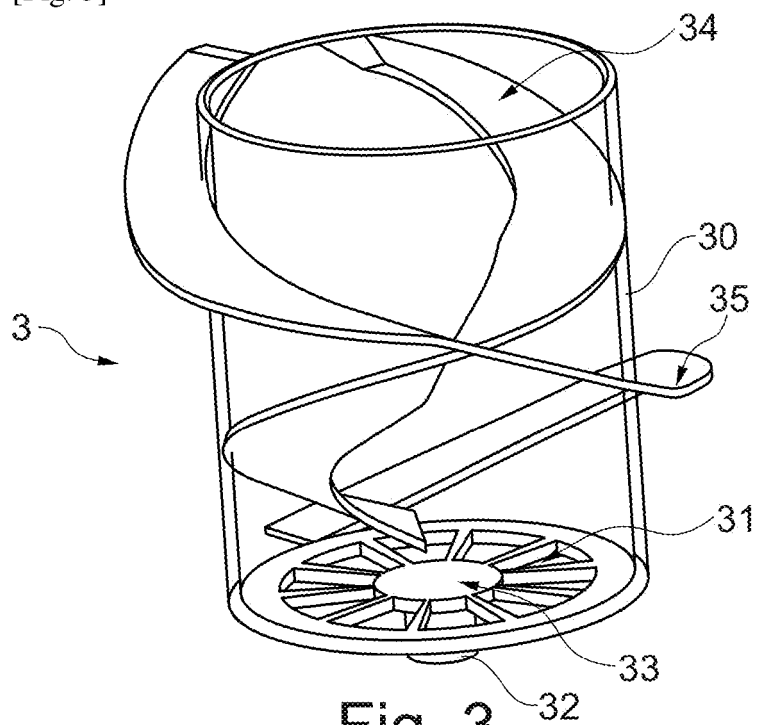


Fig. 3

[Fig. 4]

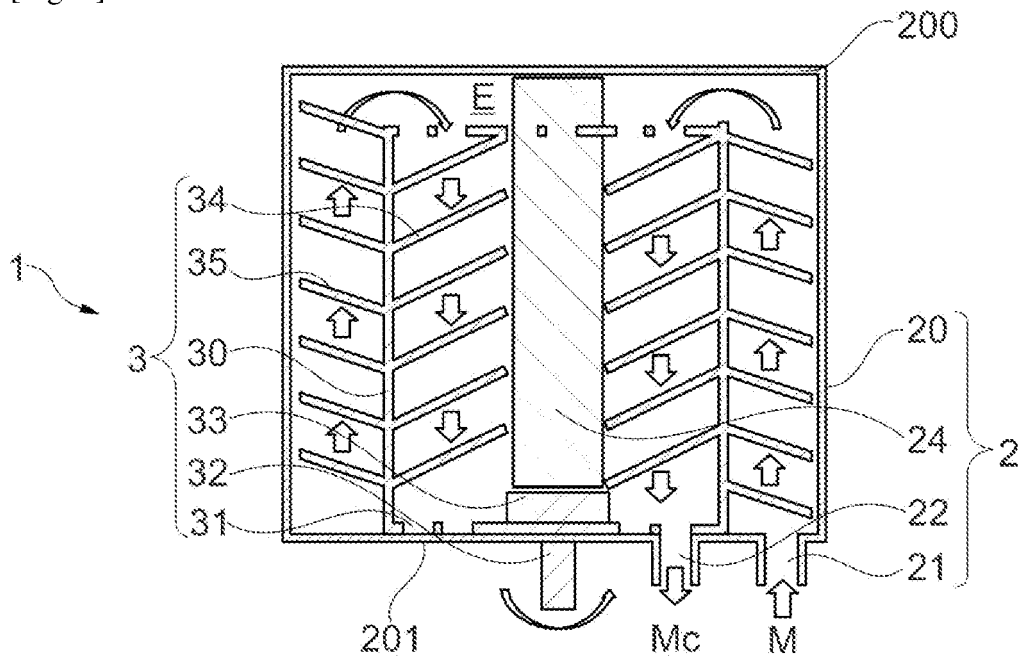


Fig. 4

[Fig. 5]

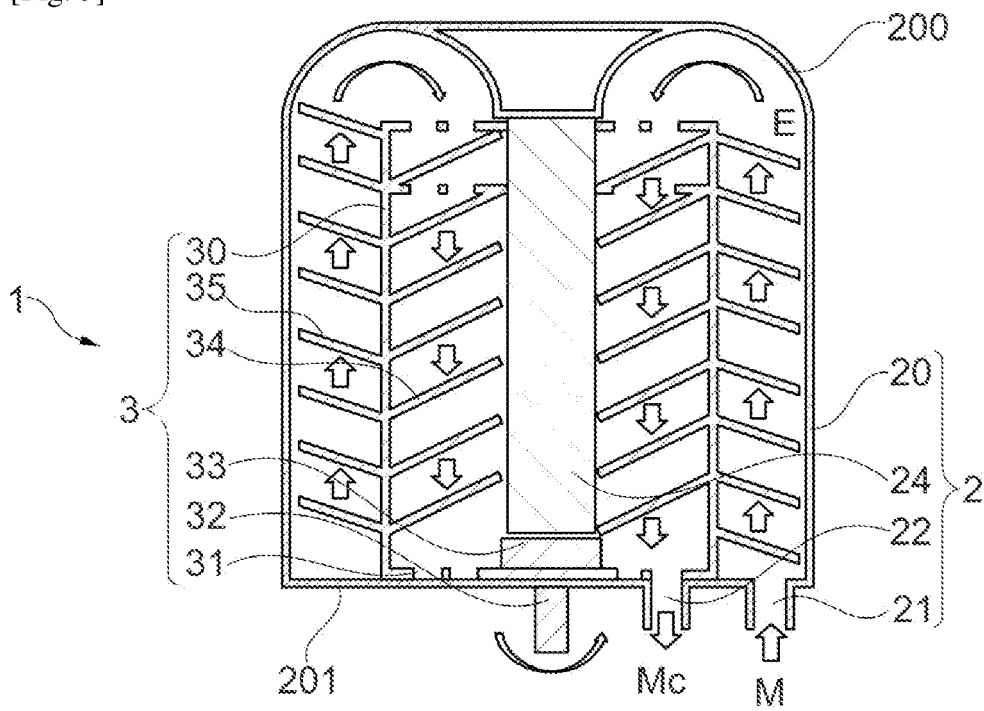


Fig. 5

[Fig. 6]

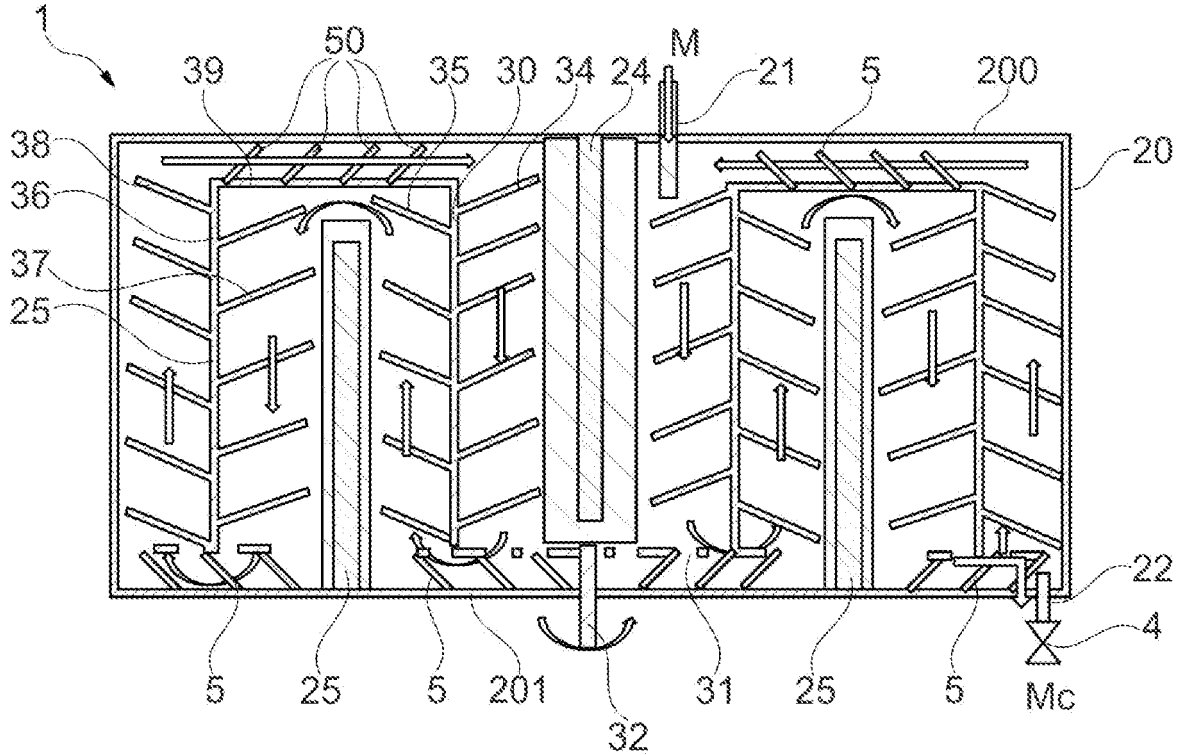


Fig. 6

[Fig. 7]

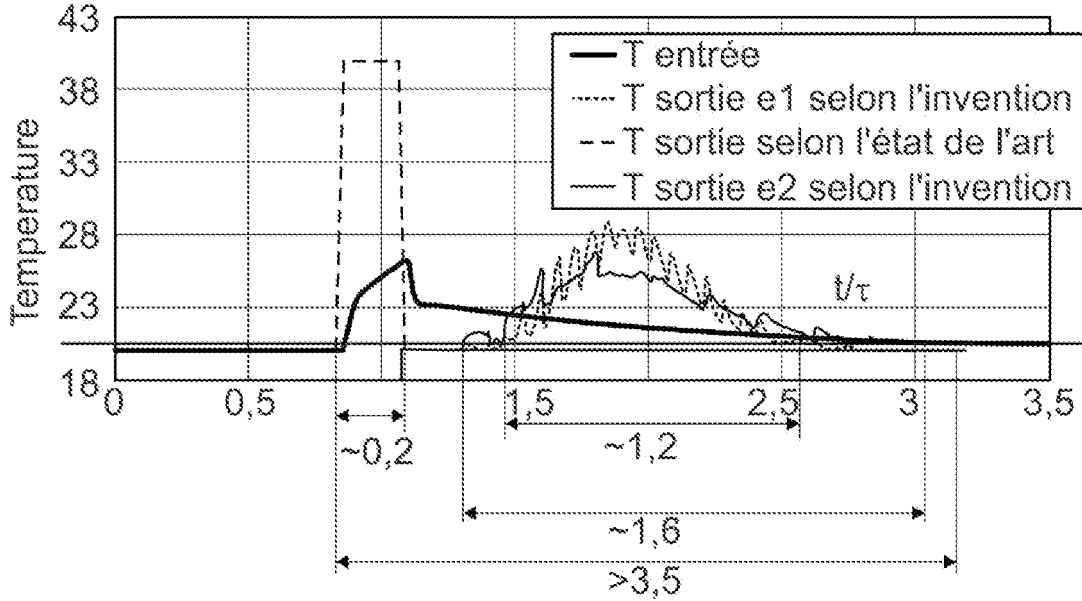


Fig. 7

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 925089
FR 2309923

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 612 181 A (SPURRIER, H. ; PEARSON, C.W.) 11 octobre 1898 (1898-10-11) * page 1, ligne 19 – page 2, ligne 16; revendications; figures * -----	1-15	B01F 27/1143 B01F 27/116 B01J 19/20
X	US 4 007 016 A (WEBER ARTHUR P) 8 février 1977 (1977-02-08) * colonne 4, lignes 34-55; revendications; figures * -----	1-15	
X	DD 294 428 A5 (BUNA AG [DE]) 2 octobre 1991 (1991-10-02) * revendications; figures * -----	1	
A		2-15	
A	US 2 367 149 A (SMITH HERSCHEL G) 9 janvier 1945 (1945-01-09) * revendications 2, 4, 6; figure 1 * -----	6-8	
A	US 3 567 402 A (CHRISTENSEN DON C) 2 mars 1971 (1971-03-02) * revendications; figures * -----	1-15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	US 3 607 121 A (WATSON WILLIAM E ET AL) 21 septembre 1971 (1971-09-21) * revendications; figures * -----	1-15	B01J C02F
A	CN 115 155 501 A (SHANDONG LANTIAN DISINFECTION TECH CO LTD) 11 octobre 2022 (2022-10-11) * revendications; figures * -----	1-15	
A	US 3 877 881 A (ONO KAORU ET AL) 15 avril 1975 (1975-04-15) * revendications; figures * -----	1-15	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 avril 2024		Serra, Renato	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2309923 FA 925089**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **22-04-2024**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 612181	A	11-10-1898	AUCUN
US 4007016	A	08-02-1977	AUCUN
DD 294428	A5	02-10-1991	AUCUN
US 2367149	A	09-01-1945	AUCUN
US 3567402	A	02-03-1971	AUCUN
US 3607121	A	21-09-1971	CA 951091 A 16-07-1974
		CH 548003 A 11-04-1974	
		DE 2048226 A1 24-06-1971	
		FR 2072724 A5 24-09-1971	
		GB 1304782 A 31-01-1973	
		GB 1304783 A 31-01-1973	
		NL 7017062 A 22-06-1971	
		US 3607121 A 21-09-1971	
CN 115155501	A	11-10-2022	AUCUN
US 3877881	A	15-04-1975	AUCUN