

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ four rotatif à micro-ondes pour le traitement thermique de matériaux divisés.

②② Date de dépôt : 17.06.22.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *INNOVATION & DEVELOPMENT
COMPANY Société par actions simplifiée* — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 22.12.23 Bulletin 23/51.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 06.09.24 Bulletin 24/36.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : VANDENBUSSCHE Frédéric.

⑦③ Titulaire(s) : *INNOVATION & DEVELOPMENT
COMPANY Société par actions simplifiée.*

⑦④ Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.



Description

Titre de l'invention : four rotatif à micro-ondes pour le traitement thermique de matériaux divisés

Domaine technique

[0001] L'invention se rapporte au domaine général des fours rotatifs à micro-ondes utilisés pour traitement thermique en continu de matériaux divisés, tels que de produits granulaires (de type minéral, végétal ou organique), des poudres, ou des boues.

Technique antérieure

[0002] Dans le domaine des industries de la transformation, il est connu de recourir à divers procédés de traitement thermiques appliqués aux matériaux divisés tels que des produits granulaires, des poudres ou des boues.

[0003] Par exemple, pour la fabrication de granules d'argile expansée, il est connu de recourir à des fours rotatifs de cuisson et d'expansion à haute température, l'énergie calorifique de ces fours étant apportée par la combustion d'un combustible fossile tel que du gaz ou du fuel.

[0004] Cependant, ce type de fours à énergie fossile présente de nombreux inconvénients. D'une part, le rendement de ces fours est faible et leur temps de mise en chauffe rend leur régulation difficile. D'autre part, ces fours engendrent de forts désagréments pour l'environnement (pollution due à l'émission de CO₂, pollution olfactive, etc.)

[0005] On connaît également la publication WO 01/34533 qui décrit un procédé de fabrication de granulés d'argile expansés par chauffage de ces granulés par rayonnement micro-ondes. Plus précisément, ce document divulgue un four à micro-ondes fonctionnant de façon discontinue en introduisant des lots successifs de matériaux à traiter. Une cavité interne rotative soumise à un rayonnement micro-ondes assure l'expansion d'un volume déterminé de granules d'argile, à charge pour l'opérateur de vider puis remplir à nouveau la cavité en granules d'argile.

[0006] Ce four à micro-ondes présente l'inconvénient principal qu'il fonctionne de façon discontinue et ne permet pas de réaliser un traitement thermique en continu.

[0007] Différents dispositifs de traitement ont été élaborés pour remédier à ce problème. Par exemple, on connaît le document EP 0,036,362 qui propose un dispositif de traitement thermique de matériaux divisés utilisant une vis d'Archimède logée dans un fourreau pour le transport et le brassage du produit à traiter. Les matériaux à traiter sont disposés dans le filet de la vis dont les dimensions lui permettent de faire office de guide d'ondes. Cette solution présente l'inconvénient de fortement limiter la zone de chauffe et ne permet pas un bon brassage du produit à traiter.

[0008] On connaît également du document WO 2012/045923 un dispositif de traitement thermique en continu de matériaux divisés par rayonnement micro-ondes comprenant une enceinte, une entrée et une sortie, et des moyens d'acheminement et de brassage munis de palettes de malaxage réparties sur une portion de la longueur.

[0009] On connaît encore du document CN102519247 un four rotatif utilisant des antennes micro-ondes à pertes de charge qui sont disposées à l'intérieur d'un tube de chauffe à micro-ondes, lui-même inséré à l'intérieur du four. La chauffe du matériau disposé dans le four est réalisée, d'une part par les micro-ondes émises par les antennes, et d'autre part par rayonnement calorifique du tube de chauffe. L'inconvénient principal de ce four réside dans son étanchéité aux micro-ondes qui est traitée par des joints en graphite. Or, ce type de joint s'échauffe lorsqu'il est soumis aux micro-ondes.

[0010] On connaît encore du document CN 109579512 un four rotatif ayant plusieurs sections de four, certaines sections étant fixes et d'autres rotatives. Ce four pose d'importants problèmes d'étanchéité aux poussières au niveau des jonctions entre les sections fixes et les sections rotatives. De plus du fait de la dilatation des aciers constitutifs de ce four, des fuites d'ondes à haute température sont généralement observées.

Exposé de l'invention

[0011] L'invention a pour objet de proposer un dispositif de traitement thermique en continu de matériaux divisés qui ne présente pas les inconvénients précités.

[0012] Conformément à l'invention, ce but est atteint grâce à un four rotatif à micro-ondes pour le traitement thermique de matériaux divisés, comprenant :

- un corps cylindrique rotatif de chauffe centré sur un axe longitudinal,
- deux capots fixes montés sur chaque extrémité longitudinale du corps de chauffe avec interposition de joints annulaires de piégeage d'ondes,
- au moins un guide d'ondes à fentes monté à l'intérieur du corps de chauffe en s'étendant longitudinalement entre chaque extrémité de celui-ci et raccordé à au moins une extrémité à un générateur de micro-ondes,
- un système d'alimentation en matériaux divisés débouchant dans le corps de chauffe à une première extrémité longitudinale de celui-ci,
- un système d'évacuation des matériaux divisés s'ouvrant dans le corps de chauffe à une deuxième extrémité longitudinale de celui-ci opposée à la première extrémité longitudinale,
- des moyens d'évacuation de fumées et/ou d'injection de gaz à l'intérieur du corps de chauffe,
- des moyens de mise en rotation du corps de chauffe autour de son axe longitudinal, et

- des moyens d'inclinaison de l'axe longitudinal du corps de chauffe par rapport à l'horizontale de façon à réguler la vitesse d'avance des matériaux divisés admis dans le corps de chauffe.
- [0013] Le four selon l'invention est remarquable notamment en ce que l'étanchéité aux micro-ondes entre le corps de chauffe rotatif et les capots fixes est réalisée par l'intermédiaire de joints annulaires de piégeage d'ondes. Ce type de joints sans contact a pour avantage de ne pas chauffer aux micro-ondes et d'être particulièrement efficaces pour assurer une étanchéité aux micro-ondes tout en permettant de tenir compte des dilatations thermiques du corps de chauffe. Par ailleurs, le traitement thermique par micro-ondes selon l'invention s'effectue sans fluide caloporteur et directement au cœur de la matière. C'est cette dernière qui chauffe le milieu environnant et le gradient de température se manifeste de l'intérieur vers l'extérieur. Ce traitement thermique est ainsi particulièrement avantageux pour la tenue des éléments du four qui sont soumis à des températures bien plus faibles que dans un four classique à brûleur.
- [0014] De préférence, chaque joint de piégeage d'ondes comprend au moins une paire de disques fixés sur l'un des capots fixes, centrés sur l'axe longitudinal du corps de chauffe, réalisés en matériau conducteur électriquement et espacés longitudinalement l'un de l'autre de façon à former une rainure annulaire ayant une profondeur correspondant au quart de la longueur d'onde des micro-ondes émises par le guide de micro-ondes à fentes à un multiple de la longueur d'ondes près. Cette géométrie particulière des joints de piégeage d'ondes permet ainsi d'annuler en grande partie une onde qui passerait entre le corps de chauffe et les capots fixes. En effet, une partie de l'onde incidente passe directement le long du corps de chauffe tandis qu'une autre partie de l'onde s'introduit dans le piège transversal formé par la paire de disques. La longueur parcourue par l'onde dans la rainure est telle qu'un aller et retour de l'onde permet d'obtenir un déphasage de la moitié de la longueur d'onde par rapport à l'onde incidente, ce qui permet d'annuler cette dernière.
- [0015] De préférence également, chaque joint de piégeage d'ondes comprend une pluralité de paires de disques espacées longitudinalement l'une de l'autre d'une distance correspondant au quart de la longueur d'onde des micro-ondes émises par le guide de micro-ondes à fentes à un multiple de la longueur d'ondes près. L'espacement entre deux paires de disques représente un second type de piège des ondes. En effet, une partie de l'onde incidente s'échappant sous le premier piège (formé par la première paire de disques) est reflétée par l'un des disques du piège suivant et revient vers le premier piège pour s'annuler. Le cumul de ces deux types de pièges permet d'éviter en totalité toute fuite d'ondes.
- [0016] Selon un mode de réalisation, le corps de chauffe peut comprendre :

- un tube interne composé d'une pluralité de plaques en acier réfractaire réparties angulairement autour de l'axe longitudinal du corps de chauffe en chevauchant deux à deux, chaque plaque étant apte à glisser tangentiellement sur les deux plaques adjacentes,
 - un tube externe disposé autour du tube interne en lui étant coaxial,
 - une pluralité de goujons s'étendant selon des directions radiales et reliant le tube externe aux plaques du tube interne, et
 - un isolant thermique positionné dans un espace annulaire entre le tube interne et le tube externe.
- [0017] Selon un autre mode de réalisation, le corps de chauffe peut comprendre :
- un tube interne monobloc en acier réfractaire,
 - un tube externe disposé autour du tube interne en lui étant coaxial,
 - une pluralité de lamelles ressorts s'étendant selon des directions tangentielles au tube interne et reliant le tube externe au tube interne, et
 - un isolant thermique positionné dans un espace annulaire entre le tube interne et le tube externe.
- [0018] Selon encore un autre mode de réalisation, le corps de chauffe peut comprendre :
- un tube interne monobloc en acier réfractaire fendu longitudinalement pour permettre au tube interne de se dilater diamétralement,
 - un tube externe disposé autour du tube interne en lui étant coaxial, et
 - un isolant thermique positionné dans un espace annulaire entre le tube interne et le tube externe.
- [0019] Ces différents types de corps de chauffe permettent de prendre en compte les dilatations thermiques de telle sorte que le tube externe demeure concentrique au tube interne afin d'assurer une étanchéité constante aux micro-ondes et à la chaleur entre les capots fixes et le corps de chauffe.
- [0020] De préférence, chaque guide d'ondes à fentes comprend une pluralité de fentes positionnées en regard des matériaux divisés admis dans le corps de chauffe.
- [0021] Dans ce cas, les fentes de chaque guide d'ondes à fentes sont avantageusement espacées longitudinalement les unes des autres d'une distance correspondant à la moitié de la longueur d'onde des micro-ondes émises par le guide d'ondes à fentes à un multiple de la longueur d'ondes près.
- [0022] De préférence également, chaque guide d'ondes à fentes comprend en outre des fenêtres de protection contre les poussières qui sont transparentes aux micro-ondes générées par le générateur d'ondes et résistantes aux hautes-températures.
- [0023] De préférence encore, chaque guide d'ondes à fentes est entouré d'un isolant thermique transparent aux micro-ondes générées par le générateur d'ondes.

- [0024] Chaque guide d'ondes à fentes peut être réalisé en au moins deux tronçons reliés l'un à l'autre et avec chacun une alimentation spécifique, ce qui permet de distribuer une puissance électromagnétique régulée le long du corps de chauffe, directement dans les matériaux à traiter.
- [0025] Le corps de chauffe peut être monté sur une plateforme réglable en inclinaison par rapport à l'horizontale d'un angle compris entre 0,1 et 10° de façon à réguler la vitesse d'avance des matériaux divisés admis dans le corps de chauffe.
- [0026] Le corps de chauffe peut avantageusement comprendre une couche externe d'isolation thermique et des anneaux de roulement montés autour de la couche d'isolation thermique et reposant sur des galets rotatifs de façon à pouvoir mettre en rotation le corps de chauffe autour de son axe longitudinal.
- [0027] Le four peut comprendre en outre un système de mesure de la température à l'intérieur du corps de chauffe.

Brève description des dessins

- [0028] [Fig.1] La [Fig.1] est une vue schématique en coupe longitudinale d'un four rotatif selon l'invention.
- [0029] [Fig.2] La [Fig.2] est une vue en coupe selon II-II de la [Fig.1].
- [0030] [Fig.3] La [Fig.3] est une vue schématique montrant un exemple de joint de piégeage d'ondes du four selon l'invention.
- [0031] [Fig.4] La [Fig.4] est une vue schématique montrant un exemple de guide d'ondes à fentes du four selon l'invention.
- [0032] [Fig.5] La [Fig.5] est une vue schématique en coupe transversale montrant un corps de chauffe du four selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0033] [Fig.6] La [Fig.6] est une vue schématique en coupe transversale montrant un corps de chauffe du four selon un autre mode de réalisation de l'invention.
- [0034] [Fig.7] La [Fig.7] est une vue schématique en coupe transversale montrant un corps de chauffe du four selon encore un autre mode de réalisation de l'invention.

Description des modes de réalisation

- [0035] L'invention concerne un four rotatif à haute température à micro-ondes tel que celui illustré sur les figures 1 et 2 qui est utilisé pour traitement thermique de matériaux divisés, tels que de produits granulaires (de type minéral, végétal ou organique), des poudres, ou des boues. Le four peut permettre de réaliser un traitement thermique continu des matériaux.
- [0036] Comme représenté sur les figures 1 et 2, le four 2 comprend notamment un corps cylindrique rotatif de chauffe 4 qui est centré sur un axe longitudinal X-X positionné de façon à former un angle δ compris entre 0,5 et 10° par rapport à l'horizontale.

- [0037] Le corps de chauffe 4 est un tube réalisé par exemple en acier réfractaire et qui est ouvert à chacune de ses extrémités longitudinales. Il est muni d'une couche externe d'isolation thermique 6 enroulée autour de son diamètre extérieur. Différentes configurations de conception du corps de chauffe seront décrites ultérieurement en liaison avec les figures 5 à 7.
- [0038] A chacune de ses extrémités longitudinales, le corps de chauffe 4 est muni d'un disque annulaire 7 qui s'étend depuis la couche externe d'isolation thermique 6 et qui permettent de créer un volume de chauffe maîtrisé en fonction de leur hauteur. Des pales de relevage 9 positionnées à l'intérieur du corps de chauffe permettent d'assurer la vidange complète des produits en les faisant passer par-dessus le disque annulaire 7 situé en sortie du corps de chauffe.
- [0039] Au niveau de ses extrémités longitudinales, le corps de chauffe 4 comprend en outre des anneaux de roulement 8 qui sont montés autour de la couche d'isolation thermique 6 et qui reposent sur des galets rotatifs 10 de façon à pouvoir mettre en rotation le corps de chauffe autour de son axe longitudinal X-X à une vitesse typiquement comprise entre 0,1 et 40 tours par minute.
- [0040] Bien entendu, d'autres mécanismes de mise en rotation du corps de chauffe pourraient être envisagés (moteur à engrenage, crémaillère, etc.).
- [0041] Les galets rotatifs 10 sont montés sur une plateforme 12 réglable en inclinaison par rapport à l'horizontale de l'angle δ compris entre 0,5 et 10° de façon à réguler la vitesse d'avance des matériaux divisés admis dans le corps de chauffe.
- [0042] Le four 2 selon l'invention comprend également deux capots (ou flasques) fixes 14 qui sont montés sur chaque extrémité longitudinale du corps de chauffe avec interposition de joints annulaires de piégeage d'ondes 16. Ces capots 14 sont par exemple réalisés en acier réfractaire.
- [0043] Plus précisément, chaque capot 14 se compose d'un disque 14a venant obturer l'une des extrémités longitudinales du corps de chauffe et une collerette annulaire 14b venant recouvrir partiellement la couche d'isolation thermique 6 du corps de chauffe.
- [0044] Les joints de piégeage d'ondes 16 sont positionnés entre la collerette 14b de chaque capot 14 et la couche d'isolation thermique 6 du corps de chauffe. Ils permettent d'assurer une étanchéité aux micro-ondes entre les capots fixes et le corps de chauffe rotatif malgré les contraintes et dilatations thermiques.
- [0045] Comme représenté sur la [Fig.3], chaque joint de piégeage d'ondes 16 comprend au moins une paire de disques 18 centrés sur l'axe longitudinal X-X du corps de chauffe et fixés sur la collerette 14b du capot en s'étendant radialement vers la couche d'isolation thermique 6 du corps de chauffe.

- [0046] Les disques 18 sont réalisés en matériau conducteur électriquement et résistants thermiquement aux hautes températures (de l'ordre de 1000°C). Par exemple, ils peuvent être réalisés en acier réfractaire.
- [0047] Par ailleurs, les disques 18 d'une même paire sont espacés longitudinalement l'un de l'autre de façon à former une rainure annulaire 20 ayant une profondeur p correspondant au quart de la longueur d'onde des micro-ondes émises par le guide d'ondes à un multiple de la longueur d'ondes près (c'est-à-dire : $p = \lambda/4 + k \lambda$ avec λ pour la longueur d'ondes et k un nombre entier).
- [0048] De préférence, chaque joint de piégeage d'ondes 16 comprend plusieurs paires de disques 18 (au nombre de cinq paires sur l'exemple de la [Fig.3]) qui sont espacées longitudinalement les unes des autres d'une distance d correspondant au quart de la longueur d'onde des micro-ondes émises par le guide d'ondes à un multiple de la longueur d'ondes près (c'est-à-dire : $d = \lambda/4 + n \lambda$ avec λ pour la longueur d'ondes et n un nombre entier).
- [0049] Cette géométrie particulière des joints de piégeage d'ondes 16 permet d'annuler en grande partie toute onde qui passerait entre la collerette 14b du capot 14 et la couche d'isolation thermique 6 du corps de chauffe. En effet, une partie de l'onde incidente passe directement le long de la couche d'isolation thermique (selon une direction longitudinale) et une autre partie s'introduit dans l'une des paires de disques 18. La longueur parcourue (selon une direction radiale) par cette partie d'onde dans la rainure 20 est telle qu'un aller-retour de l'onde permet d'obtenir un déphasage de $\lambda/2$ par rapport à l'onde incidente, ce qui a pour effet d'annuler cette onde incidente. Le cumul de plusieurs paires de disques permet d'obtenir une fuite nulle.
- [0050] De plus, l'espacement longitudinal d entre les paires de disques 18 représente un second type de piégeage d'ondes (dans le sens longitudinal). En effet, une partie de l'onde incidente s'échappant sous la première paire de disques rencontrée est reflétée par le disque de la paire suivante sur son trajet et revient vers la première paire de disques avec un déphasage de $\lambda/2$.
- [0051] Comme représenté sur les figures 1 et 2, le four 2 selon l'invention comprend encore au moins un guide d'ondes à fentes 22 qui est monté à l'intérieur du corps de chauffe 4 en s'étendant longitudinalement entre chaque extrémité de celui-ci.
- [0052] Le guide d'ondes 22 est raccordé à une extrémité à un générateur de micro-ondes 24 (ou à plusieurs générateurs de micro-ondes) et traverse longitudinalement le corps de chauffe entre ses deux extrémités longitudinales. Il est conçu pour distribuer de façon régulée les micro-ondes tout le long du corps de chauffe directement sur les matériaux divisés 26 à traiter.

- [0053] Typiquement, le générateur de micro-ondes 24 comprend un magnétron ou klystron (ayant une puissance unitaire pouvant varier entre 1kW et 10MW) couplé à un générateur de fréquences (pouvant varier de 200MHz à 2450MHz).
- [0054] Le guide d'ondes 22 peut être réalisé en un tronçon unique ou en plusieurs tronçons reliés l'un à l'autre, chaque tronçon étant raccordé à une extrémité à un générateur de micro-ondes. Ainsi, dans l'exemple de réalisation de la [Fig.1], le guide d'ondes 22 comprend deux tronçons 22a, 22b qui sont reliés l'un à l'autre et raccordés chacun à un générateur de micro-ondes 24a, 24b.
- [0055] De même, il est possible de prévoir une pluralité de guides d'ondes qui sont montés à l'intérieur du corps de chauffe et qui s'étendent parallèlement les uns aux autres en chaque extrémité du corps de chauffe, chacun de ces guides d'ondes pouvant être réalisé en une ou plusieurs tronçons.
- [0056] Par ailleurs, le guide d'ondes 22 est de préférence enveloppé d'un isolant thermique 28 qui est transparent aux micro-ondes générées par le générateur d'ondes. Par exemple, cet isolant thermique est constitué de fibres de silice et d'alumine ou de quartz.
- [0057] Le guide d'ondes 22 peut également être isolé des poussières par des fenêtres de protection 30 (voir la [Fig.2]) qui sont transparentes aux micro-ondes générées par le générateur d'ondes et résistantes aux hautes-températures. Ces fenêtres de protection sont par exemple réalisées en quartz ou en céramique et présentent une épaisseur comprise entre 5 et 20mm. Elles peuvent être fixées sur le guide d'ondes par l'intermédiaire de pattes ou tout autre système de fixation.
- [0058] Alternativement, ou de façon complémentaire aux fenêtres de protection, le guide d'ondes peut être mis en légère surpression (par rapport à l'intérieur du corps de chauffe) par injection d'air à l'une de ses extrémités longitudinales de façon à limiter les entrées de poussière.
- [0059] Alternativement encore, il peut être prévu un système de nettoyage des poussières comprenant un cylindre perforé placé sur une face supérieure du guide d'ondes. Les phases de nettoyage sont assurées par injection d'air pulsé.
- [0060] De plus, comme représenté sur la [Fig.4], chaque guide d'ondes 22 comprend une pluralité de fentes 32 qui sont positionnées en regard des matériaux divisés 26 admis dans le corps de chauffe.
- [0061] Dans l'exemple de réalisation de la [Fig.4], les fentes 32 du guide d'ondes ont une forme sensiblement de rectangle dont la longueur est alignée avec l'axe longitudinal Δ du guide d'ondes. De plus, les fentes 32 de cet exemple de réalisation sont disposées de part et d'autre de l'axe longitudinal Δ du guide d'ondes.
- [0062] De manière générale, la disposition et la géométrie des fentes 32 du guide d'ondes sont conçues d'une part pour être compatibles avec la fréquence de micro-ondes

utilisées, et d'autre part pour que la chauffe des matériaux divisés soit réalisée de façon optimale avec une ou plusieurs zones spécifiques de chauffe en fonction du profil de température souhaité.

- [0063] Par exemple, il est possible de prévoir une zone amont de montée en température et une zone aval de maintien à une température cible. Dans cet exemple, dans la zone amont de montée en température (voir la [Fig.4]), les fentes 32 du guide d'ondes sont par exemple espacées, d'une part longitudinalement les unes des autres d'une distance e correspondant à la moitié de la longueur d'onde des micro-ondes émises par le guide d'ondes à un multiple de la longueur d'ondes près (c'est-à-dire : $e = \lambda/2 + m \lambda$ avec λ pour la longueur d'ondes et m un nombre entier), et d'autre part transversalement de l'axe longitudinal Δ du guide d'ondes d'une distance h .
- [0064] Toujours dans cet exemple à deux zones spécifiques de chauffe, les fentes du guide d'ondes correspondant à la zone aval de maintien en température (non représentée sur les figures) sont espacées longitudinalement les unes des autres d'une distance différente de la distance e , et/ou transversalement de l'axe longitudinal Δ du guide d'ondes d'une distance différente de la distance h .
- [0065] Par ailleurs, la fente 32a qui est la plus en aval du guide d'ondes est située à une distance f de l'extrémité aval F du guide d'ondes qui est égale au quart de la longueur d'onde des micro-ondes émises par le guide d'ondes à un multiple de la longueur d'ondes près (c'est-à-dire : $f = \lambda/4 + p \lambda$ avec λ pour la longueur d'ondes et p un nombre entier).
- [0066] De manière similaire, la fente 32b qui est la plus en amont du guide d'ondes est située à une distance g de l'extrémité amont F' du guide d'ondes qui est égale à la moitié de la longueur d'onde des micro-ondes émises par le guide d'ondes à un multiple de la longueur d'ondes près (c'est-à-dire : $g = \lambda/2 + q \lambda$ avec λ pour la longueur d'ondes et q un nombre entier).
- [0067] Le four 2 selon l'invention comprend encore un système d'alimentation 34 en matériaux divisés qui traverse le capot amont 14 et qui débouche dans le corps de chauffe 4 à une première extrémité longitudinale (ou extrémité amont) de celui-ci.
- [0068] Alternativement, l'alimentation peut être réalisée par gravité au moyen de tubes dont le diamètre et la longueur sont déterminés pour ne pas présenter de fuites d'ondes.
- [0069] Pour des produits sous forme de poudres, on choisira un système d'alimentation par une vanne de type vanne écluse métallique permettant de réguler le débit, d'éviter les fuites micro-ondes et d'éviter la mise à l'air du corps de chauffe.
- [0070] Pour des produits granulaires de granulométrie plus importante, on choisira de préférence d'alimenter le four par saccades via un sas d'entrée pouvant être réalisé par deux vannes guillottes consécutives. Ce sas d'entrée permet de garantir une étanchéité aux ondes et à l'air.

- [0071] De même, le four comprend un système d'évacuation 36 des matériaux divisés qui traverse le capot aval 14 et qui s'ouvre dans le corps de chauffe à une deuxième extrémité longitudinale (ou extrémité aval) de celui-ci opposée à la première extrémité longitudinale. Ce système d'évacuation 36 peut être couplé à une vanne de régulation de débit 38 et à une sonde 40 de mesure de la température à l'intérieur du corps de chauffe.
- [0072] Le four 2 selon l'invention comprend encore un tube 42 d'évacuation de fumées et/ou d'injection de gaz à l'intérieur du corps de chauffe. En particulier, il peut être prévu d'injecter de l'air chaud (à une température comprise typiquement entre 70°C et 200°C) à l'intérieur du corps de chauffe pour réaliser des opérations de séchage.
- [0073] En liaison avec les figures 5 à 7, on décrira maintenant différentes configurations possibles pour la réalisation du corps de chauffe du four selon l'invention.
- [0074] Dans le mode de réalisation de la [Fig.5], le corps de chauffe 4-1 comprend notamment un tube interne 44 qui est composé d'une pluralité de plaques angulaires 46 réalisées en acier réfractaire et réparties angulairement autour de l'axe longitudinal X-X du corps de chauffe.
- [0075] Les plaques 46 se chevauchent deux à deux dans le sens circonférentiel, chaque plaque étant apte à glisser tangentiellement sur les deux plaques qui lui sont directement adjacentes afin de permettre au tube interne 44 de pouvoir absorber les dilatations thermiques.
- [0076] Le corps de chauffe 4-1 comprend également un tube externe 48 qui est disposé autour du tube interne 44 en lui étant coaxial. Des goujons 50 s'étendant selon des directions radiales permettent de relier le tube externe 48 aux plaques du tube interne 44.
- [0077] Enfin, un isolant thermique 52 est positionné dans l'espace annulaire formé entre le tube interne 44 et le tube externe 48.
- [0078] Dans le mode de réalisation de la [Fig.6], le corps de chauffe 4-2 comprend un tube interne 54 qui est réalisé en acier réfractaire et qui est monobloc, ainsi qu'un tube externe 48 qui est disposé autour du tube interne en lui étant coaxial.
- [0079] De plus, une pluralité de lamelles ressorts 56 (ou bracons) s'étendant selon des directions tangentielles au tube interne viennent relier le tube externe 48 au tube interne 54.
- [0080] Enfin, comme pour le précédent mode de réalisation, un isolant thermique 52 est positionné dans l'espace annulaire formé entre le tube interne 54 et le tube externe 48.
- [0081] Dans le mode de réalisation de la [Fig.7], le corps de chauffe 4-3 comprend un tube interne 58 qui est réalisé en acier réfractaire, monobloc et fendu longitudinalement pour lui permettre de se dilater dans le sens circonférentiel. A cet effet, le tube interne 58 présente une discontinuité 60, les deux extrémités angulaires du tube interne

délimitant cette discontinuité étant reliées l'une à l'autre par une plaque 62 vissée sur le tube interne.

[0082] Le corps de chauffe 4-3 comprend également un tube externe 48 qui est disposé autour du tube interne 58 en lui étant coaxial, et un isolant thermique 52 positionné dans l'espace annulaire formé entre le tube interne et le tube externe.

[0083] On notera encore que le corps de chauffe peut comprendre des pales de brassage afin de modifier l'avance et l'homogénéisation de la chauffe. La disposition et la géométrie de ces pales de brassage peuvent être très variables et dépendent du produit (poudre, granulat, siccité à l'entrée, etc.). Par exemple, les pales de brassage peuvent être disposées en tronçons dans le sens de l'axe longitudinal du four ou être inclinées par rapport à cet axe. Les longueurs peuvent être identiques pour toutes les pales ou variables. Le profil des pales peut être triangulaire, droit, incliné ou courbé par exemple.

[0084] On notera encore que le four rotatif selon l'invention peut trouver une application avantageuse dans le séchage de produits granulaires.

[0085] Ce séchage est réalisé préférentiellement avec une assistance à l'air chaud (par exemple à une température comprise entre 60°C et 200°C) dont l'amenée est effectuée par une conduite située du côté de la sortie du corps de chauffe et l'évacuation est réalisée par une conduite située du côté de l'entrée du corps de chauffe de façon à ce que le courant d'air soit à contre-courant du sens d'avance du produit afin de rendre l'échange thermique plus efficace.

[0086] Dans cette application, les micro-ondes permettent d'évacuer l'eau par effet « d'essorage » et de pression partielle de vapeur interne de l'intérieur vers l'extérieur du produit et la vitesse de l'air chaud permet une évaporation de cette eau de surface pour un rendement de séchage très important.

[0087] Par ailleurs, de façon connue, le four rotatif comprend également des dispositifs (non représentés sur les figures) pour l'étanchéité aux gaz et pour l'isolation thermique entre le corps de chauffe et les capots fixes. Typiquement, ces dispositifs peuvent être des joints de tissu thermique.

Revendications

[Revendication 1]

Four (2) rotatif à micro-ondes pour le traitement thermique de matériaux divisés, comprenant :

- un corps cylindrique rotatif de chauffe (4 ; 4-1 ; 4-2 ; 4-3) centré sur un axe longitudinal (X-X),
- deux capots fixes (14) montés sur chaque extrémité longitudinale du corps de chauffe avec interposition de joints annulaires de piégeage d'ondes (16),
- au moins un guide d'ondes à fentes (22) monté à l'intérieur du corps de chauffe en s'étendant longitudinalement entre chaque extrémité de celui-ci et raccordé à au moins une extrémité à un générateur de micro-ondes (24a, 24b),
- un système d'alimentation (34) en matériaux divisés débouchant dans le corps de chauffe à une première extrémité longitudinale de celui-ci,
- un système d'évacuation (36) des matériaux divisés s'ouvrant dans le corps de chauffe à une deuxième extrémité longitudinale de celui-ci opposée à la première extrémité longitudinale,
- des moyens (42) d'évacuation de fumées et/ou d'injection de gaz à l'intérieur du corps de chauffe,
- des moyens (8, 10) de mise en rotation du corps de chauffe autour de son axe longitudinal,
- des moyens (12) d'inclinaison de l'axe longitudinal du corps de chauffe par rapport à l'horizontale de façon à réguler la vitesse d'avance des matériaux divisés admis dans le corps de chauffe, et dans lequel
- chaque joint de piégeage d'ondes comprend au moins une paire de disques (18) fixés sur l'un des capots fixes (14), centrés sur l'axe longitudinal du corps de chauffe, réalisés en matériau conducteur électriquement et espacés longitudinalement l'un de l'autre de façon à former une rainure annulaire (20) ayant une profondeur (p) correspondant au quart de la longueur d'onde des micro-ondes émises par le guide d'ondes à fentes à un multiple de la longueur d'ondes près.

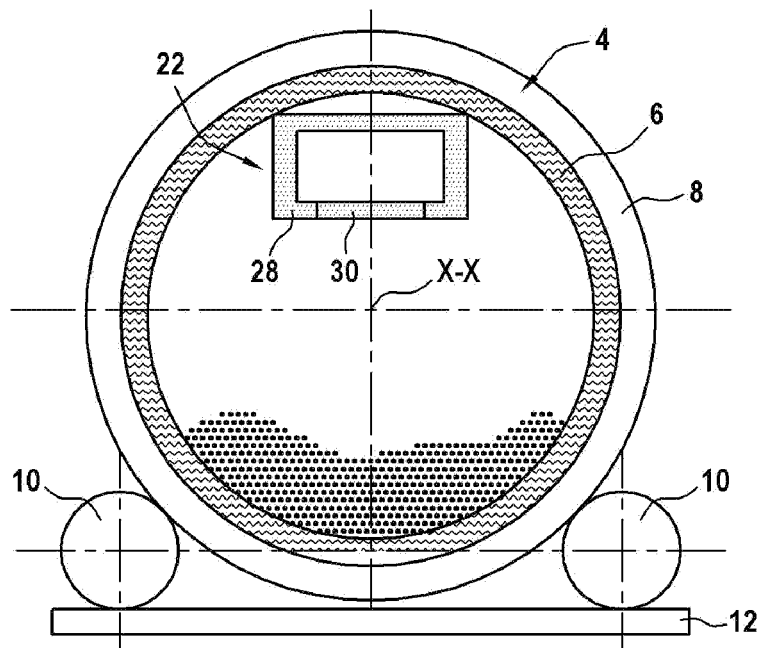
- [Revendication 2] Four selon la revendication 1, dans lequel chaque joint de piégeage d'ondes (16) comprend une pluralité de paires de disques (16) espacées longitudinalement l'une de l'autre d'une distance (d) correspondant au quart de la longueur d'onde des micro-ondes émises par le guide d'ondes à fentes à un multiple de la longueur d'ondes près.
- [Revendication 3] Four selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel le corps de chauffe (4-1) comprend :
- un tube interne (44) composé d'une pluralité de plaques (46) en acier réfractaire réparties angulairement autour de l'axe longitudinal (X-X) du corps de chauffe en chevauchant deux à deux, chaque plaque étant apte à glisser tangentiellement sur les deux plaques adjacentes,
 - un tube externe (48) disposé autour du tube interne en lui étant coaxial,
 - une pluralité de goujons (50) s'étendant selon des directions radiales et reliant le tube externe aux plaques du tube interne, et
 - un isolant thermique (52) positionné dans un espace annulaire entre le tube interne et le tube externe.
- [Revendication 4] Four selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel le corps de chauffe (4-2) comprend :
- un tube interne (54) monobloc en acier réfractaire,
 - un tube externe (48) disposé autour du tube interne en lui étant coaxial,
 - une pluralité de lamelles ressorts (56) s'étendant selon des directions tangentielles au tube interne et reliant le tube externe au tube interne, et
 - un isolant thermique (52) positionné dans un espace annulaire entre le tube interne et le tube externe.
- [Revendication 5] Four selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel le corps de chauffe (4-3) comprend :
- un tube interne (58) monobloc en acier réfractaire fendu longitudinalement pour permettre au tube interne de se dilater diamétralement,

- un tube externe (48) disposé autour du tube interne en lui étant coaxial, et
- un isolant thermique (52) positionné dans un espace annulaire entre le tube interne et le tube externe.

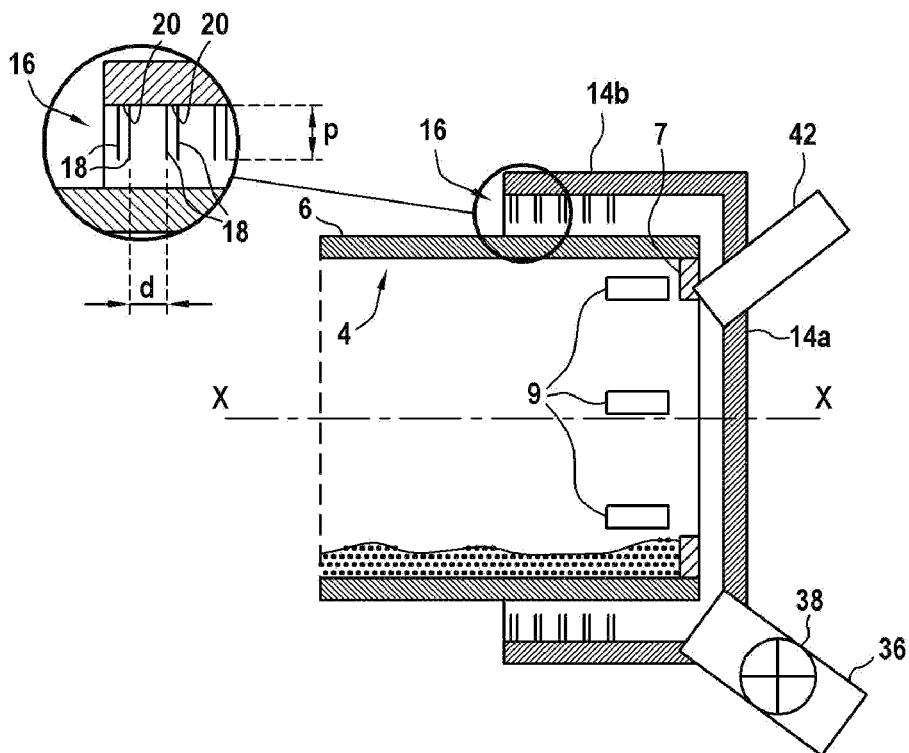
- [Revendication 6] Four selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel chaque guide d'ondes à fentes (22) comprend une pluralité de fentes (32, 32a, 32b) positionnées en regard des matériaux divisés (26) admis dans le corps de chauffe.
- [Revendication 7] Four selon la revendication 6, dans lequel les fentes (32) de chaque guide d'ondes sont espacées longitudinalement les unes des autres d'une distance (e) correspondant à la moitié de la longueur d'onde des micro-ondes émises par le guide d'ondes à fentes à un multiple de la longueur d'ondes près.
- [Revendication 8] Four selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel chaque guide d'ondes à fentes (22) comprend en outre des fenêtres de protection (30) contre les poussières qui sont transparentes aux micro-ondes générées par le générateur d'ondes et résistantes aux hautes-températures.
- [Revendication 9] Four selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel chaque guide d'ondes à fentes (22) est entouré d'un isolant thermique (26) transparent aux micro-ondes générées par le générateur d'ondes.
- [Revendication 10] Four selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel chaque guide d'ondes à fentes (22) est réalisé en au moins deux tronçons (22a, 22b) reliés l'un à l'autre.
- [Revendication 11] Four selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel le corps de chauffe (4 ; 4-1 ; 4-2 ; 4-3) est monté sur une plateforme (12) réglable en inclinaison par rapport à l'horizontale d'un angle (δ) compris entre 0,5 et 10° de façon à réguler la vitesse d'avance des matériaux divisés admis dans le corps de chauffe.
- [Revendication 12] Four selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel le corps de chauffe (4 ; 4-1 ; 4-2 ; 4-3) comprend une couche externe d'isolation thermique (6) et des anneaux de roulement (8) montés autour de la couche d'isolation thermique et reposant sur des galets rotatifs (10) de façon à pouvoir mettre en rotation le corps de chauffe autour de son axe longitudinal (X-X).

[Revendication 13] Four selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, comprenant en outre un système (40) de mesure de la température à l'intérieur du corps de chauffe.

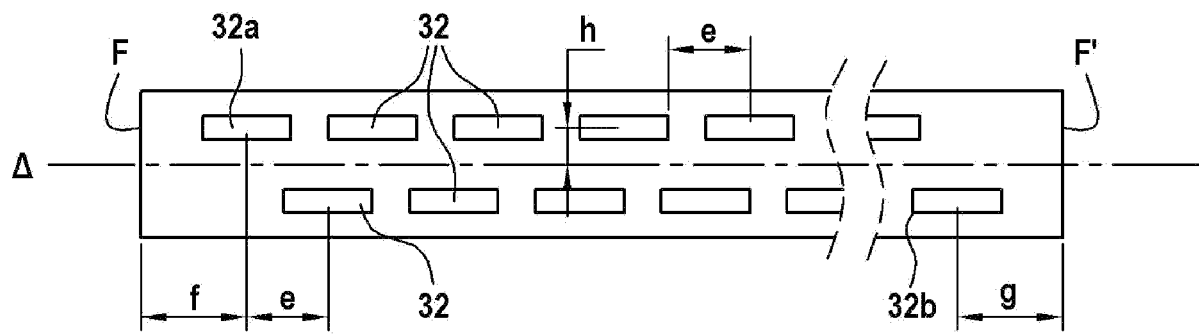
[Fig. 2]



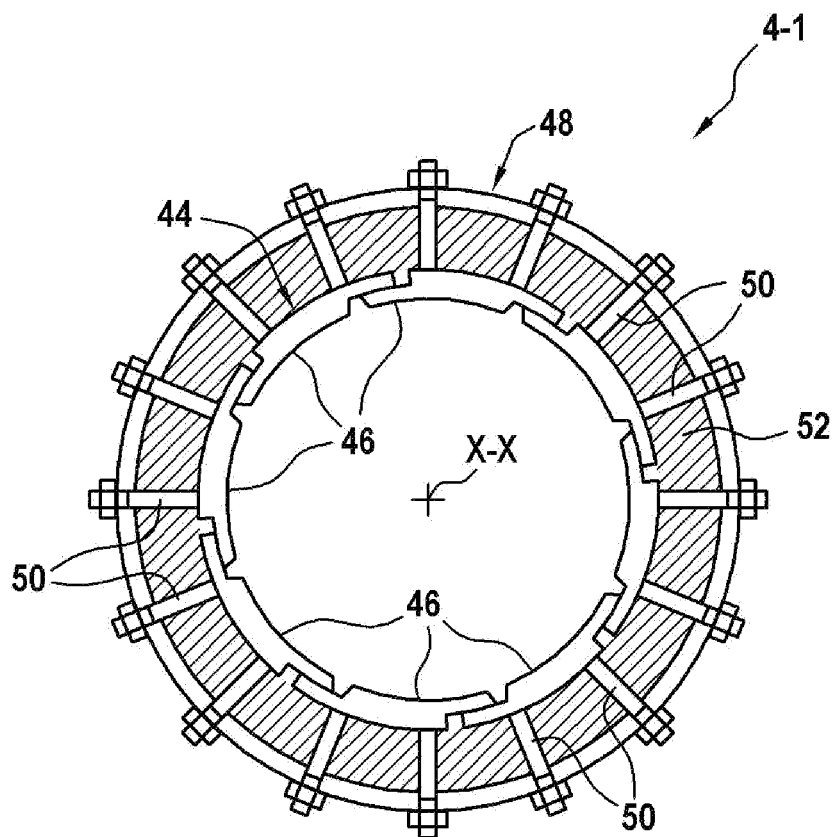
[Fig. 3]



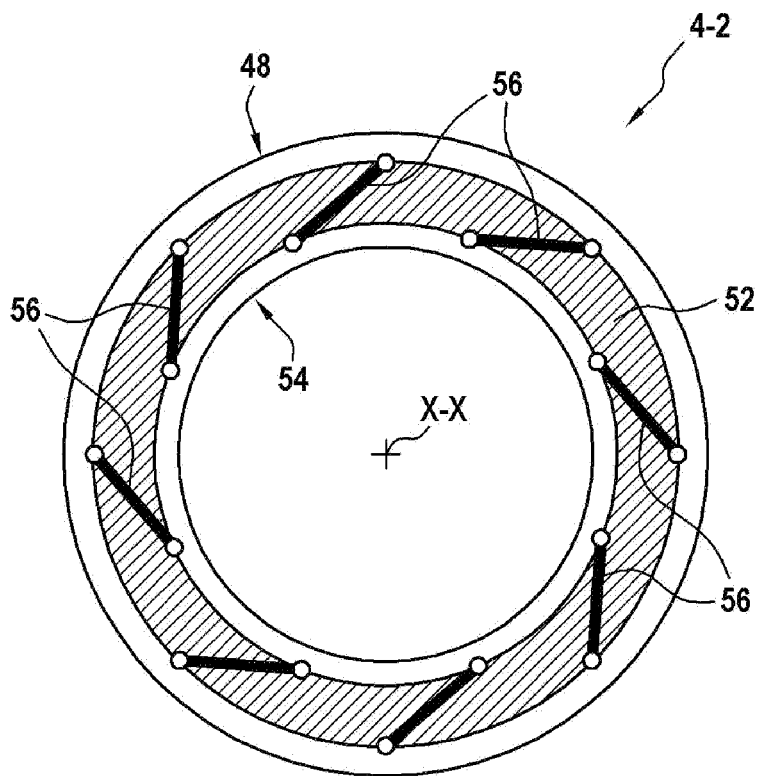
[Fig. 4]



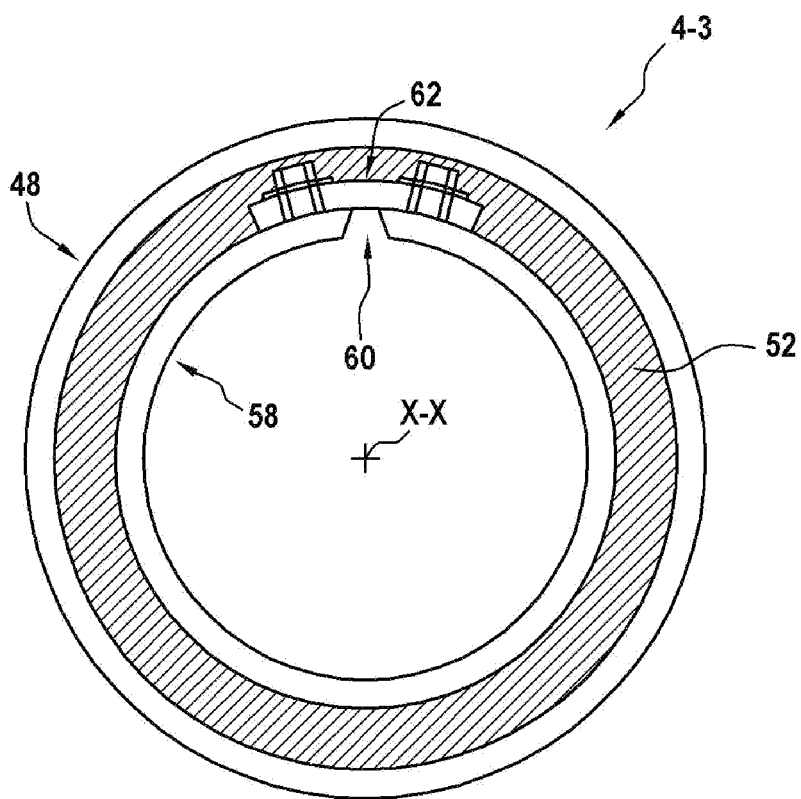
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

WO 01/07850 A1 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]) 1 février 2001 (2001-02-01)

WO 2022/097974 A1 (LG CHEMICAL LTD [KR]) 12 mai 2022 (2022-05-12)

EP 2 625 482 A2 (MATHIS MILT D [US]) 14 août 2013 (2013-08-14)

WO 2012/045923 A1 (INNOVATION & DEV COMPANY IDCO [FR]; VANDENBUSSCHE FREDERIC [FR]) 12 avril 2012 (2012-04-12)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT