

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ four de calcination par micro-ondes et à lit fluidisé.

②② Date de dépôt : 14.06.22.

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 : 15.12.23 Bulletin 23/50.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 21.06.24 Bulletin 24/25.

⑦② Inventeur(s) : VANDENBUSSCHE Frédéric.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

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

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦④ Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.



Description

Titre de l'invention : four de calcination par micro-ondes et à lit fluidisé

Domaine technique

- [0001] L'invention se rapporte au domaine général du chauffage à haute température par micro-ondes et à lit fluidisé pour réaliser un traitement de calcination (avec des températures de chauffe supérieures à 150°C environ) de produits, notamment de matériaux minéraux se présentant sous une forme granulaire.

Technique antérieure

- [0002] Un traitement thermique de calcination consiste à chauffer à haute température dans une enceinte fermée un corps inerte afin de le décomposer ou d'obtenir des réactions chimiques.
- [0003] Dans l'industrie minière, la calcination est utilisée comme processus de traitement thermique appliqué aux minerais tels que la kaolinite, le clinker, la bauxite, le lithium et la magnésite pour obtenir une décomposition thermique, par exemple l'élimination de l'eau cristalline, l'élimination du CO₂ ou la transformation de phase des minéraux.
- [0004] Au cours de ce processus de traitement, les métaux liés (dans les minerais ou autres solides) sont convertis en oxyde (calcinat), sous forme de poudre, de cendres ou de poussières, ou subissent une transition de phase par chauffage. Le processus, généralement effectué dans de longs fours cylindriques ou de hauts fours verticaux à brûleur, a souvent pour effet de rendre les substances cassantes. Le processus de calcination se distingue d'un séchage en ce qu'il se déroule en présence d'oxygène de l'air, qui oxyde les contaminants.
- [0005] Il est connu de réaliser un tel processus de calcination dans des fours à micro-ondes. En effet, les micro-ondes agissent directement au cœur des produits sans fluide caloporteur, et les échanges thermiques entre la surface et le milieu extérieur génèrent une température à cœur plus importante que celle en surfaces des produits.
- [0006] Les avantages de ces fours à micro-ondes pour les traitements de calcination sont nombreux. Ils permettent notamment d'obtenir un gain important en émissions de CO₂ et un gain énergétique avec des températures du four qui sont bien inférieures à celle des fours traditionnels. La maintenance de ces fours à micro-ondes est simplifiée et le processus est rapide avec un grand rendement de chauffe. De plus, la calcination par four à micro-ondes permet de produire des produits qui seraient impossibles à obtenir avec des fours traditionnels. Enfin, la qualité des produits obtenus est meilleure que celle des produits obtenus avec des fours traditionnels.

Exposé de l'invention

[0007] La présente invention a pour but d'améliorer les procédés de calcination par micro-ondes.

[0008] Conformément à l'invention, ce but est atteint grâce à un four de calcination par micro-ondes et à lit fluidisé comprenant :

- une enceinte de chauffe comprenant, en partie haute, une arrivée de produits à traiter et une sortie pour évacuer les produits traités, et, en partie basse, une grille de diffusion apte à supporter les produits admis dans l'enceinte ;
- au moins un guide d'ondes débouchant à l'intérieur de l'enceinte de chauffe entre sa partie basse et sa partie haute et raccordé à un générateur de micro-ondes ;
- un conduit d'admission d'air ou de gaz chauds débouchant dans la partie basse de l'enceinte de chauffe sous la grille de diffusion et raccordé à un générateur de gaz chauds ;
- des moyens pour diffuser l'air ou les gaz chauds admis dans la partie basse de l'enceinte de chauffe en direction des produits à traiter afin de générer un lit fluidisé ;
- au moins un conduit de récupération de gaz chauds débouchant en partie haute de l'enceinte de chauffe et s'ouvrant vers l'extérieur ; et
- un conduit de vidange s'ouvrant dans la partie basse de l'enceinte de chauffe et débouchant vers l'extérieur.

[0009] Le four selon l'invention est remarquable notamment en ce qu'il associe un traitement thermique de calcination par micro-ondes à un traitement à lit fluidisé (ou lit fluidifié). Ce type de traitement consiste en un mélange de solides et de fluides qui permet de donner aux solides – dits matériaux granulaires – certaines propriétés des fluides. En pratique, cette technologie requiert d'injecter sous un lit de produits granulaires un gaz ou un liquide sous pression, celui-ci venant « soulever » et disperser les grains.

[0010] La chauffe par micro-ondes est limitée par la profondeur de pénétration de l'onde dans le milieu (de l'ordre de 1 à 10cm). Dans le cas d'un lit fixe, son épaisseur est donc limitée et la chauffe sera hétérogène dans le sens de l'épaisseur. Dans le cas d'un lit fluidisé, les particules sont dispersées dans le milieu et les micro-ondes atteignent directement l'ensemble de leur surface en pénétrant directement à cœur. De plus, les particules sont en mouvement constant dans le fluide. Ceci permet une chauffe à très haut rendement et très homogène.

[0011] De préférence, le conduit de récupération d'air chaud communique avec le conduit d'admission de gaz chauds par l'intermédiaire d'un conduit de dérivation. Ainsi, le four fonctionne en circuit fermé, ce qui améliore son rendement et réduit ses dépenses énergétiques.

- [0012] Dans ce cas, le conduit de dérivation comprend avantageusement des moyens de ventilation.
- [0013] De plus, le conduit de récupération d'air chaud peut comprendre un clapet mobile entre une première position dans lequel il obstrue une entrée du conduit de dérivation pour diriger le flux de gaz chauds vers l'extérieur et une seconde position différente de la première position dans lequel il dirige l'ensemble du flux de gaz chauds vers le conduit de dérivation.
- [0014] De même, le conduit d'admission d'air ou de gaz chauds peut comprendre un clapet mobile entre une première position dans lequel il obstrue une sortie du conduit de dérivation pour permettre à l'ensemble des gaz chauds provenant du générateur de gaz chauds de pénétrer dans la partie basse de l'enceinte de chauffe et une seconde position différente de la première position dans lequel il dirige l'ensemble du flux de gaz chauds provenant du conduit de dérivation dans la partie basse de l'enceinte de chauffe.
- [0015] De préférence également, le conduit de dérivation comprend un système de déshumidification des gaz chauds circulant dans ladite conduite de dérivation.
- [0016] L'arrivée et/ou la sortie de l'enceinte de chauffe peut comprendre un système de régulation de débit étanche à l'air. L'enceinte de chauffe et/ou le conduit de récupération des gaz chauds peut comprendre un capteur de température.
- [0017] De préférence encore, le four comprend en outre un conduit d'injection de gaz débouchant à l'intérieur de l'enceinte de chauffe.
- [0018] En outre, des déflecteurs sont avantageusement positionnés dans la partie haute de l'enceinte de chauffe pour guider les produits traités vers la sortie.
- [0019] Brève description du dessin
- [0020] [Fig.1] La [Fig.1] est une vue schématique un four de calcination par micro-ondes et à lit fluidisé selon un mode de réalisation de l'invention.

Description des modes de réalisation

- [0021] Le four 2 selon l'invention représenté sur la [Fig.1] est du type à micro-ondes et à lit fluidisé. Il est utilisé pour réaliser un traitement thermique de calcination de produits, notamment de matériaux minéraux se présentant sous une forme granulaire. Dans le cadre de la présente invention, le traitement thermique s'effectue avec des températures de chauffe supérieures à 150°C environ.
- [0022] Selon l'invention, le four 2 comprend notamment une enceinte de chauffe 4 constituée par une cuve verticale dont les parois sont réalisées dans un matériau électriquement conducteur et compatible avec les applications, par exemple en acier réfractaire.
- [0023] L'enceinte de chauffe 4 peut présenter une section de forme cylindrique (avec un

diamètre typiquement compris entre 20cm à 2m, voire plus) ou rectangulaire (avec les côtés ayant une longueur comprise entre 20cm et 2m, voire plus) avec une hauteur comprise entre 20cm et 5m, voire plus. L'enceinte de chauffe est munie d'un revêtement 6 d'isolation thermique.

- [0024] En partie haute, l'enceinte de chauffe 4 présente une arrivée 8 de produits à traiter, ainsi qu'une sortie 10 pour évacuer les produits traités. L'arrivée 8 et/ou la sortie 10 peuvent être équipées chacune d'un système de régulation de débit étanche à l'air, par exemple une vanne écluse 8a, 10a.
- [0025] En partie basse, l'enceinte de chauffe 4 renferme une grille de diffusion 12 qui est disposée de façon à supporter les produits P admis dans l'enceinte de chauffe.
- [0026] Le four 2 comprend également au moins un guide d'ondes 14 qui débouche à l'intérieur de l'enceinte de chauffe 4 entre sa partie basse et sa partie haute par l'intermédiaire d'au moins une fenêtre 16 étanche aux fluides et transparente aux micro-ondes (par exemple en quartz) et qui est raccordé à un générateur de micro-ondes 18.
- [0027] Le four 2 comprend encore un conduit de vidange 19 s'ouvrant dans la partie basse de l'enceinte de chauffe et débouchant vers l'extérieur de celle-ci.
- [0028] Le four 2 selon l'invention comprend également un conduit d'admission de gaz chauds 20 qui débouche dans la partie basse de l'enceinte de chauffe sous la grille de diffusion 12 et qui est raccordé à un générateur de gaz chauds 22.
- [0029] Un ventilateur 24 positionné dans le conduit d'admission de gaz chauds 20 permet de souffler l'air chaud produit par le générateur de gaz chauds à l'intérieur de l'enceinte de chauffe. Les gaz chauds admis dans la partie basse de l'enceinte de chauffe se diffusent alors en direction des produits P à traiter afin de générer un lit fluidisé.
- [0030] Le four 2 selon l'invention comprend encore un conduit de récupération de gaz chauds 26 qui débouche dans l'enceinte de chauffe en partie haute de celle-ci et qui et s'ouvre vers l'extérieur (c'est-à-dire que la sortie du conduit de récupération de gaz chauds communique avec l'air libre).
- [0031] Il peut être avantageusement prévu de recycler les gaz chauds récupérés par le conduit de récupération de gaz chauds 26 pour les réinjecter en partie basse de l'enceinte de chauffe.
- [0032] A cet effet, le conduit de récupération de gaz chauds 26 communique avec le conduit d'admission de gaz chauds 20 par l'intermédiaire d'un conduit de dérivation 28 munie d'un ventilateur 30 et d'un système 32 de déshumidification des gaz chauds circulant dans ladite conduite de dérivation.
- [0033] Par ailleurs, le conduit de récupération de gaz chauds 26 est équipé d'un clapet 34 qui est mobile entre une première position (non représentée) dans lequel il obstrue l'entrée du conduit de dérivation 28 pour diriger le flux de gaz chauds vers l'extérieur,

et une seconde position ([Fig.1]) différente de la première position dans lequel il obstrue la sortie du conduit de récupération de gaz chauds et dirige l'ensemble du flux de gaz chauds vers le conduit de dérivation.

- [0034] De même, le conduit d'admission de gaz chauds 20 comprend un clapet 36 qui est mobile entre une première position (non représentée) dans lequel il obstrue la sortie du conduit de dérivation 28 pour permettre à l'ensemble des gaz chauds provenant du générateur de gaz chauds 22 de pénétrer dans la partie basse de l'enceinte de chauffe, et une seconde position différente de la première position dans lequel il obstrue la sortie du générateur de gaz chauds et dirige l'ensemble du flux de gaz chauds provenant du conduit de dérivation dans la partie basse de l'enceinte de chauffe.
- [0035] Le four 2 comprend encore des déflecteurs 38 qui sont positionnés dans la partie haute de l'enceinte de chauffe pour guider les produits traités vers la sortie 8 de celle-ci.
- [0036] Un conduit d'injection de gaz additionnel 40 (par exemple de l'azote) débouchant à l'intérieur de l'enceinte de chauffe peut également être prévu.
- [0037] Enfin, l'enceinte de chauffe 4 et/ou le conduit de récupération des gaz chauds 26 peuvent comprendre chacun un capteur de température 42.
- [0038] L'ensemble des paramètres du four 2 selon l'invention sont avantageusement surveillés et pilotés à partir d'un système de supervision 44.
- [0039] Le fonctionnement du four ainsi décrit est le suivant.
- [0040] Les produits P à traiter sont typiquement des matériaux minéraux se présentant sous une forme granulaire. Ils sont introduits dans l'enceinte de chauffe 4 de manière continu ou par lots (« batch » en anglais). Suivant le dimensionnement du four, le débit d'alimentation peut compris entre 1kg/h et plusieurs tonnes à l'heure.
- [0041] Au démarrage, les clapets 34, 36 sont dans leur première position respective. Le générateur de gaz chauds 22 et ventilateur 24 positionné dans le conduit d'admission de gaz chauds 20 sont activés pour créer un lit fluidisé dans les produits P admis dans l'enceinte de chauffe.
- [0042] Après la phase de démarrage, c'est la chaleur des produits engendrée par l'action des micro-ondes qui réchauffent l'air. Les clapets 34, 36 peuvent alors être basculés dans leur seconde position respective afin de réaliser un circuit fermé.
- [0043] L'action combinée des gaz chauds et du champ de micro-ondes introduit dans l'enceinte de chauffe par le guide d'ondes 12 permet l'extraction et la chauffe des produits P avec un très grand rendement. En effet, contrairement à une chauffe réalisée sur un lit, la chauffe en lit fluidisé agit instantanément sur tout le volume des grains des produits P et permet une grande homogénéité de chauffe.
- [0044] Pour les produits présentant une perte de masse significative pendant leur chauffe (par dégazage, décarbonatation, expansion, exfoliation, etc.), leur densité va fortement

baisser et les grains traités plus légers vont se retrouver en partie haute du lit fluidisé jusqu'à parvenir à la sortie 10 de l'enceinte de chauffe. Ce tri densimétrique permet ainsi de réaliser un traitement en continu.

- [0045] L'injection d'azote à partir du conduit d'injection d'azote 40 permet de réaliser des calcinations en lit fluidisé en absence d'oxygène (pyrolyse), indispensable pour certaines réactions chimiques. Cette injection peut aussi être réalisée en fin de cycle de chauffe pour la phase de refroidissement

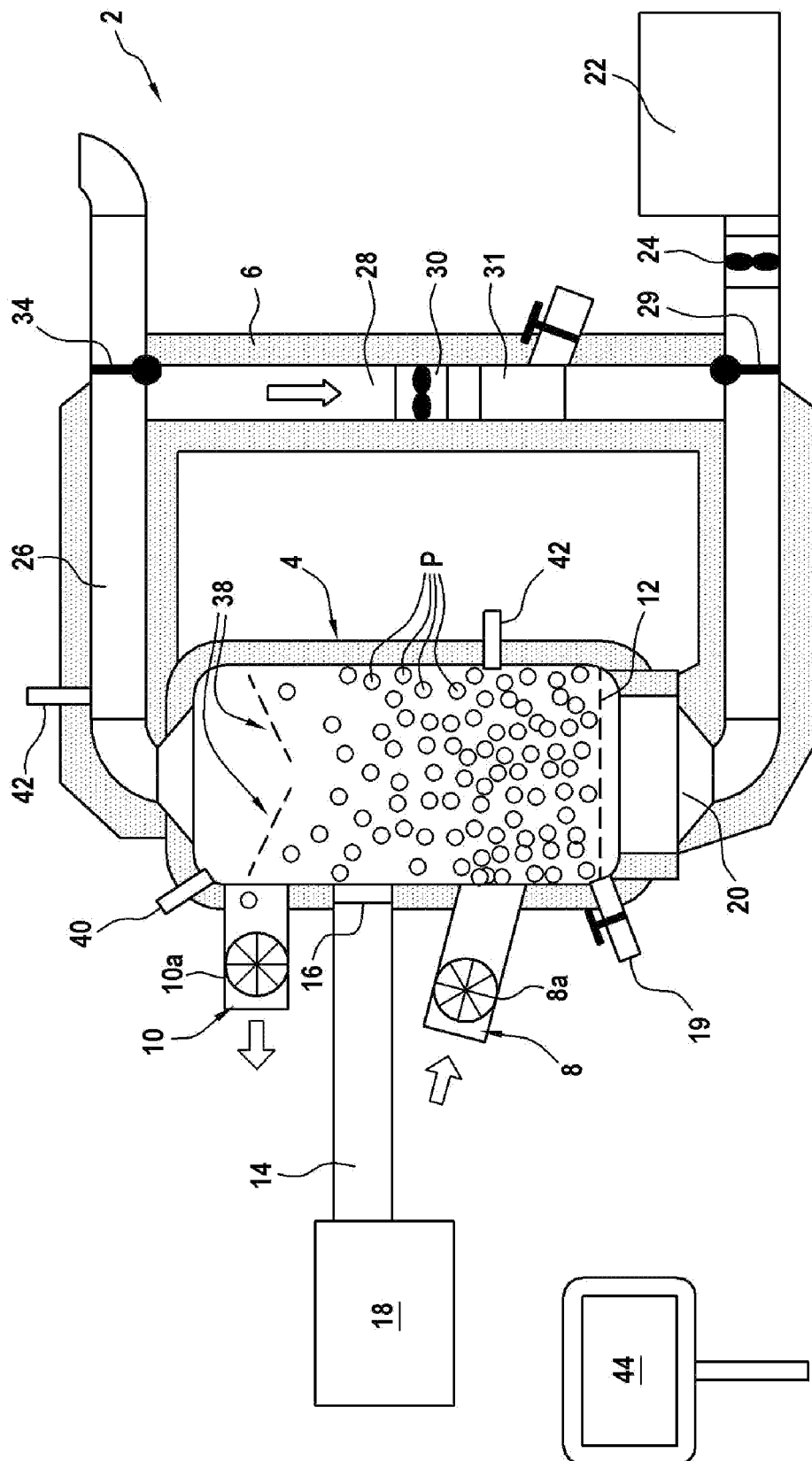
Revendications

- [Revendication 1] Four de calcination par micro-ondes et à lit fluidisé comprenant :
- une enceinte de chauffe (4) comprenant, en partie haute, une arrivée (8) de produits (P) à traiter et une sortie (10) pour évacuer les produits traités, et, en partie basse, une grille de diffusion (12) apte à supporter les produits admis dans l'enceinte ;
 - au moins un guide d'ondes (14) débouchant à l'intérieur de l'enceinte de chauffe entre sa partie basse et sa partie haute et raccordé à un générateur de micro-ondes (18) ;
 - un conduit d'admission d'air ou de gaz chauds (20) débouchant dans la partie basse de l'enceinte de chauffe sous la grille de diffusion et raccordé à un générateur de gaz chauds (22) ;
 - des moyens (24) pour diffuser l'air ou les gaz chauds admis dans la partie basse de l'enceinte de chauffe en direction des produits à traiter afin de générer un lit fluidisé ;
 - au moins un conduit de récupération de gaz chauds (26) débouchant en partie haute de l'enceinte de chauffe, s'ouvrant vers l'extérieur, et communiquant avec le conduit d'admission de gaz chauds (20) par l'intermédiaire d'un conduit de dérivation (28) ; et
 - un conduit de vidange (19) s'ouvrant dans la partie basse de l'enceinte de chauffe et débouchant vers l'extérieur.
- [Revendication 2] Four selon la revendication 1, dans lequel le conduit de dérivation (28) comprend des moyens de ventilation (30).
- [Revendication 3] Four selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel le conduit de récupération de gaz chauds (26) comprend un clapet (34) mobile entre une première position dans lequel il obstrue une entrée du conduit de dérivation (28) pour diriger le flux de gaz chauds vers l'extérieur et une seconde position différente de la première position dans lequel il dirige l'ensemble du flux de gaz chauds vers le conduit de dérivation.
- [Revendication 4] Four selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le conduit d'admission d'air ou de gaz chauds (20) comprend un clapet (36) mobile entre une première position dans lequel il obstrue une sortie

du conduit de dérivation (28) pour permettre à l'ensemble des gaz chauds provenant du générateur de gaz chauds (22) de pénétrer dans la partie basse de l'enceinte de chauffe et une seconde position différente de la première position dans lequel il dirige l'ensemble du flux de gaz chauds provenant du conduit de dérivation dans la partie basse de l'enceinte de chauffe.

- [Revendication 5] Four selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le conduit de dérivation (28) comprend un système (32) de déshumidification des gaz chauds circulant dans ladite conduite de dérivation.
- [Revendication 6] Four l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'arrivée (8) et/ou la sortie (10) de l'enceinte de chauffe comprend un système (8a, 10a) de régulation de débit étanche à l'air.
- [Revendication 7] Four l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel l'enceinte de chauffe (4) et/ou le conduit de récupération des gaz chauds (26) comprend un capteur de température (42).
- [Revendication 8] Four l'une quelconque des revendications 1 à 7, comprenant en outre un conduit d'injection de gaz (40) débouchant à l'intérieur de l'enceinte de chauffe.
- [Revendication 9] Four l'une quelconque des revendications 1 à 8, comprenant en outre des déflecteurs (38) positionnés dans la partie haute de l'enceinte de chauffe pour guider les produits traités vers la sortie (10).

[Fig. 1]



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 2004/056471 A1 (OUTOKUMPU OY [FI];
STROEDER MICHAEL [DE] ET AL.)
8 juillet 2004 (2004-07-08)

WO 2004/056468 A1 (OUTOKUMPU OY [FI];
STROEDER MICHAEL [DE] ET AL.)
8 juillet 2004 (2004-07-08)

WO 98/08989 A1 (EMR MICROWAVE TECHNOLOGY
CORP [CA]) 5 mars 1998 (1998-03-05)

US 6 074 533 A (TRANQUILLA JAMES M [CA])
13 juin 2000 (2000-06-13)

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