

(11) Numéro du brevet d'invention : **90788**

(12) **BREVET D'INVENTION**

(45) Date de délivrance du brevet d'invention : 16.12.2002

(51) Int. Cl.: C21B11/10
C21B13/12
C21B13/14

(22) Date de dépôt : 13.06.2001

(54) Procédé de production de fonte liquide dans un four électrique

(30) Priorité : /

(73) Titulaire : PAUL WURTH S.A.
32, RUE DE L'ALSACE
1122 LUXEMBOURG (LU)

(72) Inventeur : LONARDI EMILE
30, RUE DE SCHOUWEILER
4945 BASCHARAGE (LU)

PARASCH FRED
49, RUE ST. VINCENT
4344 ESCH/ALZETTE (LU)

WEISGERBER FRED
200, AVENUE CHARLOTTE
4531 OBERKORN (LU)

BERG PAUL
10, CITE BETTENWISS
8479 EISCHEN (LU)

ROTH JEAN-LUC
17, RUE DES GLACIS
57100 THIONVILLE (FR)

(74) Mandataire : Office Ernest T. Freylinger S.A.
ERNEST T. FREYLINGER, ARMAND SCHMITT, PIERRE KIHN, JEAN
BEISSEL, ROMAIN LAMBERT, PHILIPPE OCVRK
234, ROUTE D'ARLON
8001 STRASSEN (LU)

Ministère de l'Economie
Direction de la Propriété Industrielle
et des Droits Intellectuels

15. 08. 2001
Grand-Duché de Luxembourg
(55)

Demande de brevet d'invention

- Loi du 20 juillet 1992 portant modification du régime des brevets d'invention
- Règlements grand-ducaux du 17 novembre 1997 - concernant la procédure et les formalités administratives en matière de brevets d'invention et de certificats complémentaires de protection - portant fixation des taxes et rémunérations à percevoir en matière de brevets et de certificats complémentaires de protection

Demande N° **9 0 7 8 8**

Date de dépôt: 13 juin 2001

Référence du déposant ou mandataire: **P-PWU-468/LU**

A. REQUETE

Le demandeur requiert (Les demandeurs requièrent) la délivrance d'un brevet d'invention.

1. Titre de l'invention:

Procédé de production de fonte liquide dans un four électrique.

2. Demandeur

Nom, prénom ou
dénomination sociale: **PAUL WURTH S.A.**

Adresse: **32, rue de l'Alsace, L-1122 Luxembourg**

Etat dans lequel est situé le domicile ou siège du demandeur: **LU**

Téléphone:

Telefax:

E-mail:

☐ Un (Des) demandeur(s) supplémentaire(s) est (sont) mentionné(s) sur une feuille en annexe

3. Mandataire(s)

Nom(s), prénom(s):

FREYLINGER, Ernest T. / SCHMITT, Armand / KIHN, Pierre / BEISSEL, Jean / LAMBERT, Romain / OCVIRK, Philippe

Adresse: **OFFICE ERNEST T. FREYLINGER S.A.
234, route d'Arlon / B.P. 48 / L-8001 Strassen**

Téléphone: **31 38 30-1**

Telefax: **31 38 33**

E-mail: **office@freylinger.lu**

☒ Le(s) demandeur(s) déclare(nt) élire domicile auprès du (des) mandataire(s)

☒ Un pouvoir général est déposé au Service de la Propriété Intellectuelle

4. Adresse postale au Grand-Duché de Luxembourg:

Les communications du Service sont à envoyer à:

- ☐ l'adresse du demandeur mentionnée au point 2.
☒ l'adresse des mandataire(s) mentionné(s) au point 3.
☐ l'adresse suivante:

5. Désignation d'inventeur(s)

Nom, prénom(s):

Adresse:

Jean-Luc ROTH

17 rue des Glacis, F-57100 Thionville / FR

Paul BERG

Cité Bettenwiss 10, L-8479 Eischen / LU

Fred WEISGERBER

Avenue Charlotte 200, L-4531 Oberkorn / LU

Fred PARASCH

49 rue St. Vincent, L-4344 Esch/Alzette / LU

Emile LONARDI

30 rue de Schouweiler, L-4945 Bascharage / LU

- ☐ Un (Des) inventeur(s) supplémentaires est (sont) mentionné(s) sur une feuille en annexe
☐ Une désignation d'inventeur(s) séparée est jointe en annexe

6. Déclaration de priorité

Demande No

Date de dépôt:

Pays:

Déposant:

- ☐ D'autre(s) déclaration(s) de priorité sont mentionnées sur une feuille en annexe

7. Déclaration lorsqu'il s'agit d'une demande divisionnaire

- ☐ La présente demande est une demande divisionnaire de la demande de brevet:

No:

Date de dépôt:

8. Déclaration lorsqu'il s'agit d'une demande fondée sur une demande internationale

- ☐ La présente demande est fondée sur la demande internationale identifiée ci-dessous:

Date de dépôt:

No de dépôt:

No de Publ.:

9. Demande d'établissement d'un rapport de recherche d'antériorités

Il est demandé l'établissement d'un rapport de recherche d'antériorités relatif à la présente demande:

- ☒ oui ☐ non
-

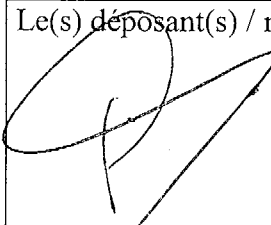
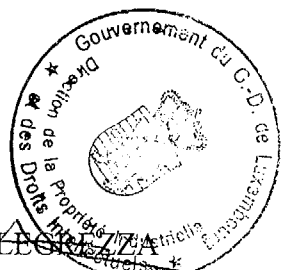
10. Annexes

- | | |
|--|------------------------------|
| ☒ Description + revendication(s) | Nbre de pages: 16 |
| | Nbre de revendic.: 14 |
| ☒ Figures | Nbre de planches: 3 |
| ☒ Abrégé | |
| ☒ Figure à publier avec l'abrégé | Figure N°: 1 |
| ☐ Traduction des revendications | Nbre de pages: |
| | |
| ☐ Feuille avec demandeur(s) supplémentaire(s) | |
| ☐ Feuille avec mandataire(s) supplémentaire(s) | |
| ☐ Feuille avec déclaration(s) de priorité supplémentaire(s) | |
| ☐ Feuille avec inventeur(s) supplémentaire(s) | |
| ☐ Désignation séparée d'inventeur(s) | |
| | |
| ☐ Document(s) de priorité | |
| ☐ Traduction document(s) de priorité | |
| ☐ Document(s) de cession du droit de priorité | |
| | |
| ☐ Pouvoir | |
| ☐ Copie d'un pouvoir général | |
| | |
| ☐ Autres: | |

B. PROCÈS-VERBAL DE DÉPÔT

La présente demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Economie, Direction de la Propriété Industrielle et des Droits Intellectuels, à Luxembourg,

en date du 13 juin 2001 à 15.00 heures.

Le(s) déposant(s) / mandataire(s):  Nom du signataire Pierre KIHN	Pour le Ministre de l'Economie,.   Serge ALLEGREZZA Conseiller de Gouvernement 1 ^{re} classe Chargé de la Direction du Service de la Propriété Industrielle et des Droits Intellectuels
---	--

REVENDICATION DE LA PRIORITE

de la demande de brevet

En

Du

No.

Mémoire Descriptif

déposé à l'appui d'une demande de

BREVET D'INVENTION

au

Luxembourg

au nom de : **PAUL WURTH S.A.**
32, rue de l'Alsace
L-1122 Luxembourg / LU

pour : Procédé de production de fonte liquide dans un four électrique.

Procédé de production de fonte liquide dans un four électrique

L'invention concerne un procédé de production de fonte liquide.

Depuis de nombreuses années, des efforts considérables sont déployés pour développer des procédés de réduction / fusion pouvant remplacer le haut fourneau pour la production de fonte liquide spécialement dans le cadre d'unités de production à plus faible volume et évitant la préparation des matières c.-à-d. utilisant directement des fines de minerai et de charbon. De tels procédés sont intéressants puisque l'on peut éviter, en principe, des installations représentant un investissement conséquent telles que des installations de production de coke et des installations d'agglomération du minerai.

10 Les procédés de réduction directe (sans passage par une phase liquide) utilisant le charbon comme réducteur sont les plus économiques et ce surtout dans les pays sans ressource de gaz naturel. Cependant, un désavantage de ces procédés est qu'ils donnent un préréduit à haute teneur en soufre (0,3-0,6% w/w S).

15 Parmi ces procédés, ceux utilisant du minerai en particules fines (technologies du lit fluidisé ou du four à étages) sont particulièrement intéressants car il s'agit de la forme la moins onéreuse de minerai. Les particules de fer préréduit obtenues également sous forme de fines sont mises en oeuvre sans problème dans les fours électriques fabriquant de l'acier, par injection
20 pneumatique à froid ou à basse température (<300°C).

Cependant, l'utilisation massive de ce genre de particules de fer préréduit au four électrique fabriquant de l'acier pose deux problèmes: - elle apporte beaucoup de soufre, qui n'est pas éliminé dans la métallurgie oxydante des fours électriques fabriquant de l'acier et elle diminue la productivité du four électrique car leur
25 réduction-fusion à partir de l'état froid consomme davantage d'énergie que celle consommée par la matière première principale qu'est la ferraille. Ceci implique une surconsommation électrique et par conséquent une perte de productivité.

Ces désavantages peuvent être évités en produisant de la fonte au lieu de

l'acier. En effet, en chargeant les particules de fer préréduit (les fines de préréduit) directement en provenance du four de réduction, à une température de l'ordre de 1000°C, dans un four électrique élaborant de la fonte, il est possible d'éliminer le soufre. En effet, l'enfournement de particules de fer préréduit à 1000°C réduit
5 fortement le besoin énergétique de la fusion. La fabrication de fonte implique un milieu réducteur qui permet d'éliminer le soufre à près de 90%. En créant un laitier adéquat, il est possible d'obtenir une fonte présentant des teneurs en soufre de 0,03-0,06%, ce qui correspond à une qualité de fonte standard, valorisable dans tous les usages traditionnels de la fonte, et en particulier comme source de fer pur
10 au four électrique.

Tout ceci est vrai particulièrement pour le traitement par réduction de déchets sous forme de fines, qui donne toujours un préréduit très chargé en soufre. Par la suite, l'on entendra par « fines métalliques » tous genres de produits comprenant du fer métallique oxydé partiellement. Les fines métalliques
15 représentent des particules de minerai de fer, des particules de déchets de tous genres contenant du fer oxydé partiellement et notamment des poussières de filtres de haut fourneau et de fours électriques, des pailles ou particules de calamine (oxydes de fer formés au réchauffage ou au laminage), des boues de laminage ou d'usinage etc.

20 La fusion de ce genre de fines métalliques pour la production de fonte se fait traditionnellement dans un four à chauffage résistif du laitier, appelé improprement four à arc submergé (SAF). Le chargement des fines dans ce type de four électrique se fait par gravité en général à froid. Cependant, ce type de four électrique est limité en puissance. En effet, la densité de puissance d'un four à arc
25 submergé (SAF) exprimée en MW / m² est inférieure d'un facteur 5 à celle du four à arc libre. Pour obtenir une production équivalente, il faut employer un four à arc submergé d'un diamètre plus de 2 fois plus grand que celui d'un four à arc.

De plus, dans les fours électriques à arc, la fusion de matériaux finement divisés non injectables conduit à la formation d'agglomérés s'accrochant sur les
30 parois que l'on appelle communément garnis ou banquettes. C'est le cas également lors de la fusion de ferrailles finement broyées, de copeaux, tournures,

etc... L'utilisation massive de ces matières obstrue une partie du volume de la cuve, empêchant un chargement correct de la ferraille, et obligeant l'exploitant à effectuer régulièrement des fusions de lavage par surchauffe importante du four, d'où une perte d'énergie et de production. Par conséquent, le chargement par gravité de fines métalliques préréduites au four électrique sans précaution particulière conduira forcément à des accrétions et à la formation de garnis.

Dans les conditions d'opération habituelles du four électrique à arc, on travaille avec un laitier moussant; en marche classique de fusion de ferraille, le moussage du laitier est obtenu par injection conjointe de carbone et d'oxygène pour former du gaz CO dans le laitier. Lorsqu'on utilise du préréduit riche en carbone ($>2\%C$), ce moussage du laitier est spontané, car le préréduit apporte à la fois de l'oxygène et du carbone. Par sa faible densité, le laitier moussant est un obstacle à la dissolution de fines de préréduit du fait de la faible densité du laitier et de son caractère d'isolant thermique. Les fines de préréduit tombant sur le laitier s'agglomèrent rapidement en une masse difficilement fusible, car peu dense, et donnant des garnis en parois.

Pour fabriquer de la fonte, il faut du carbone. On peut bien sûr injecter du carbone séparément mais la méthode optimale sur le plan économique consiste à fabriquer un préréduit avec excédent de carbone. Cet excédent de carbone peut être dans une faible proportion lié au fer. Mais lorsqu'on fabrique des fines de préréduit à $5-10\%C$ pour faire de la fonte, ce carbone correspond surtout à des particules de carbone libre. Or, il est difficile de faire passer dans le métal ce carbone libre s'il n'est pas injecté dans le bain. En effet, le four électrique à arc libre (contrairement au four à arc submergé - qui fonctionne en fait sans arc, par chauffage résistif) fonctionne sous atmosphère largement oxydante, dans laquelle le carbone s'oxyde rapidement. Sans précaution particulière, l'apport de carbone non injecté sera majoritairement perdu dans les gaz, et le métal s'appauvrira en carbone, et donnera donc un acier.

Il serait avantageux de disposer d'un procédé optimisé permettant de produire de la fonte directement à partir de particules de fines métalliques préréduites dans un four électrique à arc.

L'objet de la présente invention est de proposer un procédé de production de fonte optimisé.

Conformément à l'invention, cet objectif est atteint par un procédé de production de fonte liquide dans un four électrique à arc comprenant plusieurs électrodes, équipé d'une sole et contenant un pied de bain surmonté d'un laitier liquide non moussant. Le procédé comprend les étapes suivantes :

- a) réduction de fines métalliques pour former des fines métalliques préréduites comprenant un excès de carbone libre,
- b) transfert à chaud des fines métalliques préréduites à l'intérieur d'un rideau d'un gaz inerte dans un pied de bain contenu dans le four électrique à arc,
- c) brassage du pied de bain par injection de gaz de manière à éviter la formation de croûtes,
- d) fusion des fines métalliques préréduites dans le four électrique à arc pour obtenir de la fonte liquide.

Le procédé proposé met en oeuvre le four électrique à arc libre dans un procédé très particulier, consistant à charger les fines métalliques préréduites chaudes (de préférence directement à la sortie de four de réduction c'est à dire à une température supérieure à 500 °C et de manière particulièrement préférée entre 800 et 1100°C) et à travailler sur un pied de bain de fonte surmonté d'une couche de laitier liquide non moussant. Le brassage de pied de bain peut s'effectuer par injection d'un gaz neutre (azote, argon) à travers la sole du four et/ou par injection de gaz contenant de l'oxygène au moyen d'une ou plusieurs lances.

Le pied de bain est très fortement brassé par injection de gaz. Ce brassage très énergique permet d'homogénéiser en température le bain métal+laitier et de renouveler la surface de la couche de laitier afin qu'elle reste surchauffée et bien liquide, et capable d'absorber les fines métalliques préréduites sans que celles-ci ne se solidifient et forment une croûte infranchissable.

Dans le cas où le brassage du pied de bain est réalisé par injection de gaz

neutre ou inerte à travers la sole du four électrique à arc, le débit du gaz inerte dans le procédé proposé est de préférence compris entre 50 l/min. t. (litres par minute et par tonne de métal liquide du bain) et 150 l/min. t. De manière particulièrement préférée, le débit de brassage se situe entre 80 et 120 l/min.t.

- 5 Ces débits sont à ajuster en fonction de la hauteur du pied de bain et du nombre et de la position de points d'injection. Ce débit élevé de brassage est sans rapport avec la pratique courante au four électrique à arc. En effet, le débit de brassage dans les procédés classiques de production d'acier dans un four électrique à arc se situe dans la gamme de 1 à 10 l/min.t et est destiné seulement à
- 10 homogénéiser le bain et à régulariser les résultats métallurgiques et la température.

- Pour garantir l'efficacité optimale du brassage, le pied de bain métallique doit avoir une certaine hauteur minimale, de préférence une hauteur d'au moins 0,3 m, afin de garantir un brassage énergique du bain de métal en fusion. Il faut veiller à
- 15 éviter que l'injection du gaz de brassage par la sole du four ne fasse simplement un "trou" au travers du bain de métal, sans le mettre énergiquement en mouvement. Bien entendu, cette hauteur minimale peut varier en fonction de la configuration du four à arc électrique et de l'emplacement des moyens d'injection de gaz qui sont de préférence des briques poreuses ou bien des tuyères.

- 20 D'une manière particulièrement préférée, des moyens d'injection de gaz de brassage sont positionnés près du bord extérieur de la sole du four à arc électrique, c'est à dire latéralement au fond du bain, de manière à ramener vers la zone centrale plus chaude, située entre les électrodes, les particules de fines métalliques préréduites restant ou tendant à s'agglomérer au bord du four.

- 25 Alternativement ou complémentaiement au brassage du pied de bain par injection de gaz inerte à travers la sole du four électrique à arc, le brassage du pied de bain est réalisé par injection de gaz contenant de l'oxygène au moyen d'un ou plusieurs injecteurs. En injectant ce gaz contenant de l'oxygène (appelé par la suite « oxygène primaire ») dans le pied de bain au moyen d'un jet
- 30 pénétrant, il se forme des bulles de CO gazeux par réaction avec le C de la fonte. Ce dégagement de CO dans le métal liquide crée des turbulences qui assurent un

brassage vigoureux du pied de bain et du laitier.

Afin de protéger les fines métalliques préréduites pendant leur chute dans le four, celles-ci sont entourées par un rideau de gaz inerte, de préférence de l'azote ou de l'argon. Le rideau de gaz inerte de préférence de forme annulaire permet de minimiser l'envol latéral des particules par l'aspiration du four et la réoxydation des fines métalliques préréduites avant que celles-ci n'atteignent la couche de laitier respectivement le pied de bain. On utilise de préférence un débit d'azote de l'ordre de 50 Nm³/h à 200 Nm³/h pour former le rideau de protection et pour ainsi protéger le transfert d'environ 10 à 60 t/h de fines métalliques préréduites comprenant de l'ordre de 50% Fe métallisé à un taux compris entre 60 et 100%. Ces valeurs dépendent de nombreux facteurs tels que la géométrie du four, la hauteur de chute des fines, des turbulences à l'intérieur du four électrique à arc etc. et doivent être adaptées en conséquence.

De préférence, le transfert des fines métalliques préréduites est réalisé dans la région centrale du four électrique à arc, située entre les électrodes.

Selon un mode de réalisation préféré, on mélange du charbon ayant de préférence un diamètre compris entre 2 et 20 mm aux fines métalliques très réduites avant leur enfournement dans le four électrique à arc. La quantité de charbon mis en oeuvre dépend de la quantité de carbone contenue dans les fines métalliques préréduites. On vise à avoir un excès de carbone compris entre 7% et 15% et de préférence voisin de 10%. De cette manière, il est possible d'obtenir une fonte à 3-3,5%C, 0,01 - 0,05% Si et 0,03 - 0,06% S suivant la teneur S du charbon.

Selon un autre mode de réalisation préféré, l'étape a) comprend les étapes suivantes :

a1) on introduit dans un four multi-étages comprenant plusieurs étages superposés les fines métalliques et on les dépose sur l'étage supérieur du four multi-étages,

a2) on transfère les fines métalliques graduellement sur les étages inférieurs,

- a3) on ajoute à un ou plusieurs des étages inférieurs un réducteur carboné en une quantité suffisante pour réduire les fines métalliques et pour assurer un excès de carbone libre,
- 5 a4) on chauffe le four multi-étages et on réduit les fines métalliques au contact du réducteur carboné et des gaz produits par le réducteur carboné à des températures adéquates,
- 10 a5) on brûle l'excédent de gaz produit par le réducteur carboné à l'intérieur du four multi-étages et on met à profit la chaleur résultante pour sécher et préchauffer les fines métalliques. a1) on introduit dans un four multi-étages comprenant plusieurs étages superposés les fines métalliques et on les dépose sur l'étage supérieur du four multi-étages.

Selon un autre mode de réalisation préféré, on ajoute en outre des agents de formation de laitier pendant l'étape a) et/ou l'étape b). Ces agents de formation de laitier sont choisis, de préférence parmi le groupe constitué de chaux, de 15 castine et de magnésie ainsi que de leurs mélanges.

L'excès de carbone à l'issue de l'étape a) est avantageusement compris entre 7% et 15% et de préférence voisin de 10%.

Le réducteur carboné solide est choisi parmi le charbon ou les produits pétroliers liquides ou solides. Les fractions volatiles contenues dans le réducteur 20 carboné sont éliminées pendant leur séjour à l'intérieur du four multi-étages, le soufre également en partie.

Une partie du carbone en excès est consommée pendant l'étape d). De plus, le carbone libre en excès est utile pour terminer les réactions de réduction et pour carburer la fonte.

25 Selon un autre aspect de la présente invention, il s'agit d'augmenter la production du four à arc électrique sachant que la puissance des arcs électriques est limitée par la tension d'arc à cause de la longueur d'arc "immergé" réalisable.

Au lieu de le laisser "brûler inutilement" avec des entrées d'air spontanées dans le four électrique à arc et en risquant que les fines métalliques ne se 30 solidifient et forment une croûte infranchissable, il est avantageux d'utiliser

l'excédent de carbone des fines métalliques préréduites avec une efficacité énergétique maximale pour augmenter la productivité du four électrique à arc.

Bien entendu, si l'on veut augmenter la capacité de production de fonte par heure du four électrique à arc, il faut augmenter le débit de fines métalliques introduites dans le four électrique à arc. Cette augmentation du débit de fines métalliques augmente également le risque de formation de croûtes.

Cet objectif est atteint par un procédé de production de fonte liquide dans un four électrique à arc décrit plus haut dans lequel sont disposées une ou plusieurs lances de postcombustion, -- éventuellement associées à un ou plusieurs injecteurs d'oxygène primaire -- constituant des brûleurs d'une puissance comparable à celles des arcs électriques. Ces injecteurs délivrent des jets de gaz de postcombustion de préférence entre les arcs électriques, de manière particulièrement préférée sur le cercle d'électrodes ("electrode pitch cercle").

Il est avantageux d'orienter les jets de gaz de postcombustion de manière à pousser le laitier dans la partie centrale du four électrique à arc entre les électrodes. Ceci renforce le brassage du laitier d'une manière appréciable et permet de maintenir en permanence du laitier surchauffé très agité dans la région qui reçoit les fines métalliques. Les fortes turbulences dans le laitier surchauffées dans cette région permettent d'accroître le débit de fines métalliques sans risquer la formation de croûtes . En effet, sans cette injection de gaz de postcombustion, les turbulences dans le laitier sont créées plutôt indirectement par le brassage du pied de bain par l'injection de gaz neutre à travers la sole du four électrique à arc et/ou par l'injection d'oxygène primaire dans le pied de bain au moyen d'un ou plusieurs injecteurs. Le fait d'injecter du gaz de postcombustion directement dans la couche de laitier permet de mieux contrôler et orienter les mouvements de laitier dans le four électrique à arc, d'accélérer la fusion des fines métalliques et de minimiser le risque que des fines métalliques non fondues ne soient poussées et collées à la paroi ainsi .

Un des avantages du présent procédé est que le fonctionnement des deux réacteurs est optimisé. En effet, le fait de produire un préréduit comprenant un excès de carbone libre accroît la vitesse de réduction et augmente le taux de

métallisation.

Pour obtenir cet excès de carbone libre, il est nécessaire d'ajouter une quantité appropriée de réducteur carboné pendant l'étape de réduction.

Un autre avantage du carbone libre en excès dans le fer préréduit réside dans le fait que dans les étages de réduction du réacteur de réduction, les températures sont très élevées et par conséquent, le réducteur carboné, en l'occurrence le charbon, est dévolatilisé et désulfuré dans une large mesure. Il s'est avéré que, pendant l'étape de fusion, le charbon dévolatilisé était plus facilement soluble dans le bain de fonte que le charbon non dévolatilisé. De plus, comme le réducteur carboné est soumis à de très hautes températures pendant son séjour à l'intérieur du réacteur de réduction, la teneur en soufre diminue considérablement. La fonte ainsi obtenue présente des teneurs en soufre plus faibles. Bien entendu, on aurait pu utiliser du coke au lieu de charbon pendant la fusion des particules de fer préréduit afin d'obtenir une meilleure solubilité du carbone. Cependant, le fait d'utiliser du coke au lieu de charbon augmente les coûts de production et ne résout pas le problème du soufre. En effet, le coke ne contient pas de matières volatiles ; cependant, il contient sensiblement la même quantité de soufre que le charbon utilisé lors de sa production.

L'excès de carbone est brûlé dans le four de fusion et permet donc d'économiser de l'énergie électrique pendant la fusion des particules.

Le fait d'ajouter le réducteur carboné qu'au niveau des derniers étages du four multi-étages permet de mettre à profit la chaleur résiduelle des gaz pour sécher et préchauffer les particules de minerai de fer et de brûler complètement le monoxyde de carbone. Une post-combustion séparée n'est pas nécessaire. De plus, la température plus élevée de ces dernières étages réduit davantage la teneur en soufre dans le carbone libre.

Il ne s'agit donc pas d'une juxtaposition de deux procédés connus mais d'une interaction entre les deux procédés qui conduit à des avantages inattendus.

D'autres particularités et caractéristiques de l'invention ressortiront de la description détaillée d'un mode de réalisation avantageux présenté ci-dessous, à

titre d'illustration, en se référant au dessin annexé. Celui-ci montre:

Fig.1: Vue en coupe d'un four électrique à arc pour la production de fonte liquide selon un premier mode de réalisation de l'invention,

Fig.2: Vue en coupe d'un four électrique à arc pour la production de fonte liquide selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,

Fig.3: Vue de dessus d'un four électrique à arc selon la Fig. 2

La Fig.1 illustre une vue en coupe schématique d'un four électrique à arc pour la production de fonte liquide selon un premier mode de réalisation de la présente invention.

On y voit un four électrique à arc 10 comprenant une cuve 12 surmontée d'une 14 par laquelle pénètrent trois électrodes 16. Ces électrodes 16 sont capables de produire des arcs électriques d'une vingtaine de centimètres et d'une puissance de 4 MW environ chacune. Au milieu de ces trois électrodes 16 est placé le dispositif de transfert 18 des fines métalliques préréduites. Ce dispositif 18 comprend d'une part une chute pour transférer les fines métalliques préréduites dans le four 12 et d'autre part une buse d'injection permettant d'injecter un rideau d'azote 20 entourant les fines métalliques préréduites pendant leur chute dans le four.

Le point d'impact des fines métalliques préréduites se trouve entre les trois électrodes 16, c'est à dire à l'endroit le plus chaud du four électrique à arc 12. Au moment de l'impact sur la couche de laitier 22 non-moussant surnageant le bain de métal liquide 24, les fines métalliques préréduites sont tout de suite intégrées dans celle-ci et fondent rapidement.

La sole 26 de la cuve 12 est munie de plusieurs briques poreuses 28 par lesquelles est injecté un débit élevé de gaz de brassage 30. Les turbulences créées par l'injection de ce gaz 30 à travers le bain liquide 24 empêche que les fines métalliques préréduites ne s'agglomèrent et ne forment des croûtes.

La fig. 2 montre une vue en coupe d'un four électrique à arc pour la production de fonte liquide selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

La Fig. 3 montre une vue de dessus de ce four électrique à arc.

Dans ce four électrique à arc 10' à chargement central par gravité sont disposées trois lances de postcombustion 32 associées à trois injecteurs d'oxygène primaire 32' constituant des brûleurs de puissance comparable à ceux des arcs, entre les arcs électriques 33, sur le cercle d'électrodes ("electrode pitch
5 cercle"). Les jets d'oxygène primaire 34 issus des injecteurs 32' sont des jets pénétrants et sont orientés dans le pied de bain 24. Lors de la pénétration de l'oxygène dans le métal liquide, l'oxygène réagit avec le carbone contenu dans le bain pour dégager du CO gazeux. Cette émanation de CO crée de fortes turbulences à l'intérieur du pied de bain et dans la couche de laitier surnageant.

10 Les lances de postcombustion 32 injectent chacune un jet d'oxygène de postcombustion 36 ou oxygène secondaire dans la couche de laitier 22. Ces jets d'oxygène secondaire 36 sont plus mous, moins pénétrants que les jets d'oxygène primaire 34 et permettent de brûler le CO émanant du pied de bain 24 suite à l'injection de l'oxygène primaire. Le CO est donc brûlé à l'intérieur de la
15 couche de laitier 22. Ceci conduit à une surchauffe locale du laitier. Les jets d'oxygène de postcombustion 36 sont orientés de manière à imprimer au laitier des impulsions opposées à celles des arcs, afin de renforcer le brassage du laitier et de refluer le laitier vers le centre du four électrique à arc. Le mouvement du laitier causé par les arcs électriques 33 d'une part et par les jets d'oxygène de
20 postcombustion 36 d'autre part est représenté à la fig. 3 au moyen des flèches 38. Ceci permet d'accélérer la fusion des fines métalliques préréduites, d'éviter ainsi que celles-ci ne s'agglomèrent et ne soient poussées et collées à la paroi du four électrique à arc.

Exemple 1 :

Pour une puissance électrique donnée, p.ex. limitée à 12 MW, l'utilisation de carbone libre complémentaire et d'oxygène permet donc :

- soit de fondre un débit de fines métalliques ou (DRI) au moins double,
- 5 - soit d'enfourner des fines métalliques ou (DRI) moins métallisé, et ainsi d'accroître la productivité du four de réduction – quelle que soit la technologie employée.

10 Dans le cas du four à étages, la production de 54 ou 57 t/h de DRI à 60% de métallisation pourrait être assurée par un four d'une capacité de 50% de la capacité qui serait nécessaire pour produire 50 t/h de DRI métallisé à 90%.

Par ailleurs, la dernière ligne du tableau 1 illustre la possibilité d'apporter du carbone supplémentaire sous forme de carbone libre en excès dans le DRI.

15 Tableau 1 : Chiffrage pour la fusion de DRI enfourné à 1000°C en fonte à 3%C, coulée à 1500°C :

Teneur Fe DRI %	Degré métallis %	C libre DRI %	Débit DRI t/h	Débit fonte t/h	Puiss. Électr. MW	Débit Oxygène Nm3/h	Débit C compl. t/h
80	90	8	50	40	12	0	0
80	90	8	125	100	12	3000	2,4
74	60	8	54	40	12	3600	2,6
71	60	12	57	40	12	3600	0

Liste de références

10 Four électrique à arc

- 12 Cuve
- 14 Voûte
- 16 Electrodes
- 18 Dispositif de transfert
- 20 Rideau d'azote
- 22 Couche de laitier
- 24 Bain de métal liquide
- 26 Sole
- 28 Briques poreuses
- 30 Gaz inerte
- 32 lances de postcombustion
- 32' injecteurs d'oxygène primaire
- 33 Arcs électriques
- 34 jets d'oxygène primaire
- 36 jet d'oxygène de postcombustion
- 38 mouvement du laitier

Revendications

1. Procédé de production de fonte liquide dans un four électrique à arc comprenant plusieurs électrodes, équipé d'une sole et contenant un pied de bain surmonté d'un laitier liquide non moussant, le procédé comprenant les étapes suivantes :
 - 5 a) réduction de fines métalliques pour former des fines métalliques préréduites comprenant un excès de carbone libre,
 - b) transfert à chaud des fines métalliques préréduites à l'intérieur d'un rideau d'un gaz inerte dans un pied de bain contenu dans le four électrique à arc,
 - 10 c) brassage du pied de bain par injection de gaz de manière à éviter la formation de croûtes,
 - d) fusion des fines métalliques préréduites dans le four électrique à arc pour obtenir de la fonte liquide.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le transfert des
15 fines métalliques préréduites est effectué par gravité.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le transfert des fines métalliques préréduites est réalisé dans une région située entre les électrodes du four électrique à arc.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,
20 caractérisé en ce que le brassage du pied de bain est réalisé par injection de gaz neutre à travers la sole du four électrique à arc à un débit compris entre 50 l/min. t et 150 l/min. t et de manière préférée à un débit entre 80 et 120 l/min.t.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,
25 caractérisé en ce que le brassage du pied de bain est réalisé par une injection de gaz contenant de l'oxygène dans le pied de bain au moyen d'un ou plusieurs injecteurs.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape a) comprend les étapes suivantes
- 5 a1) on introduit dans un four multi-étages comprenant plusieurs étages superposés les fines métalliques et on les dépose sur l'étage supérieur du four multi-étages,
- a2) on transfère les fines métalliques graduellement sur les étages inférieurs,
- 10 a3) on ajoute à un ou plusieurs des étages inférieurs un réducteur carboné en une quantité suffisante pour réduire les fines métalliques et pour assurer un excès de carbone libre,
- a4) on chauffe le four multi-étages et on réduit les fines métalliques au contact du réducteur carboné et des gaz produits par le réducteur carboné à des températures adéquates,
- 15 a5) on brûle l'excédent de gaz produit par le réducteur carboné à l'intérieur du four multi-étages et on met à profit la chaleur résultante pour sécher et préchauffer les fines métalliques.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que pendant l'étape a) ou l'étape b), on ajoute des agents de formation de laitier.
- 20 8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que les agents de formation de laitier sont choisis parmi le groupe constitué de chaux, de castine et de magnésie ainsi que de leurs mélanges.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'excès de carbone est compris entre 7% et 15% et de préférence voisin de 10%.
- 25 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le réducteur carboné est du charbon.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on dévolatilise le réducteur carboné pendant l'étape a).
- 5 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le carbone en excès est consommé pendant l'étape d).
- 10 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le carbone en excès est consommé par injection d'un jet de gaz de postcombustion contenant de l'oxygène dans le laitier au moyen d'une ou plusieurs lances.
14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que le(s) jet(s) de gaz de postcombustion est (sont) orienté(s) de façon de créer un mouvement du laitier vers les électrodes du four électrique à arc.

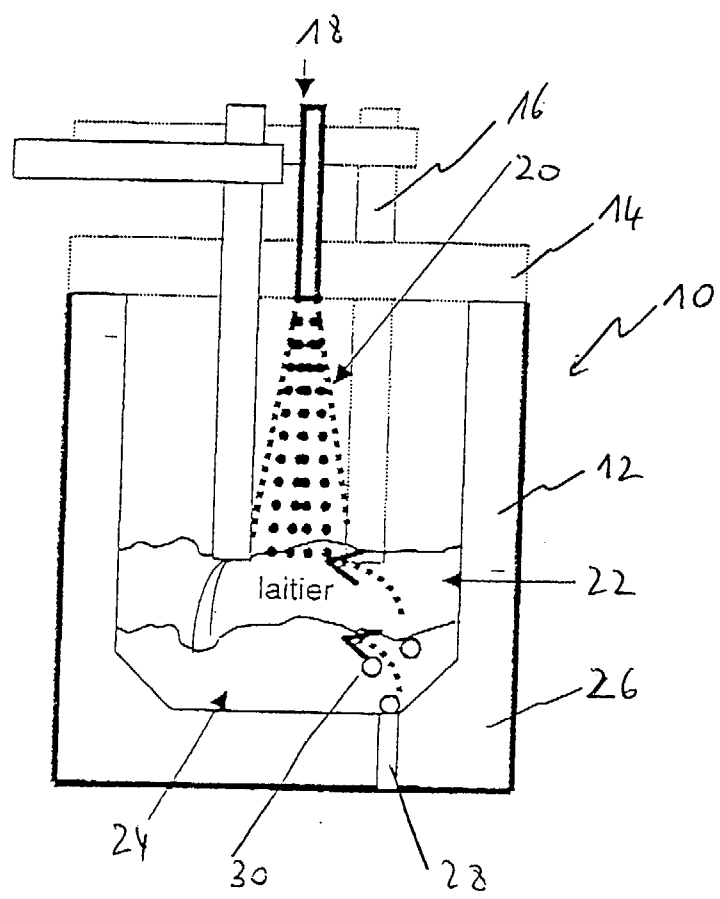


Fig. 1

FIG.2

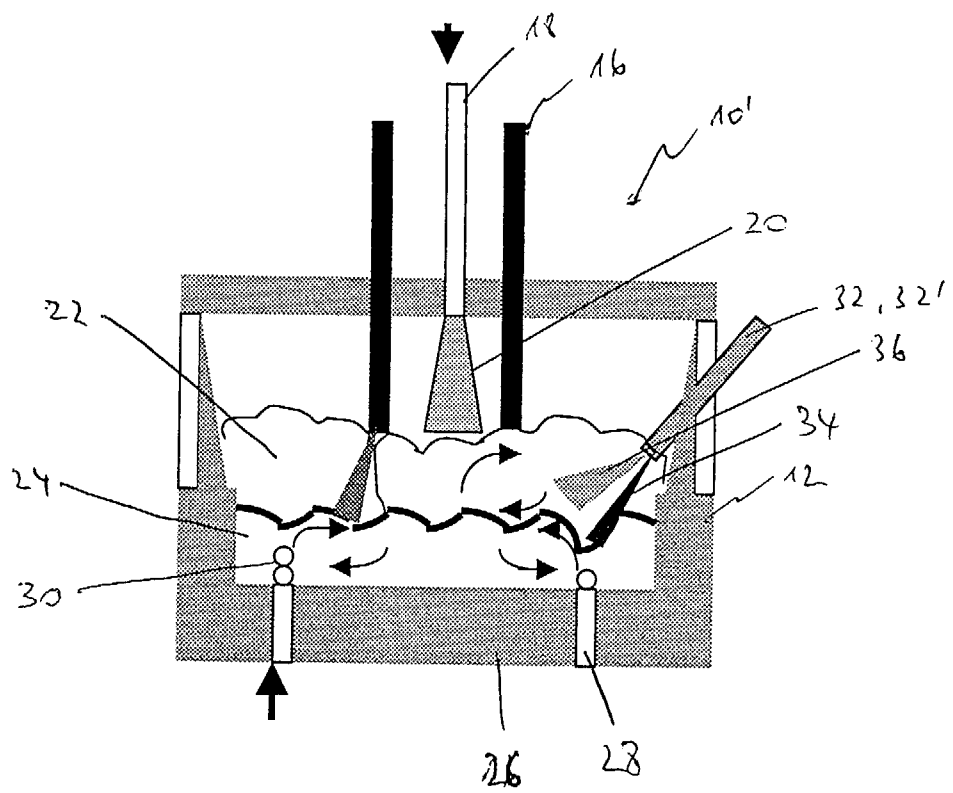
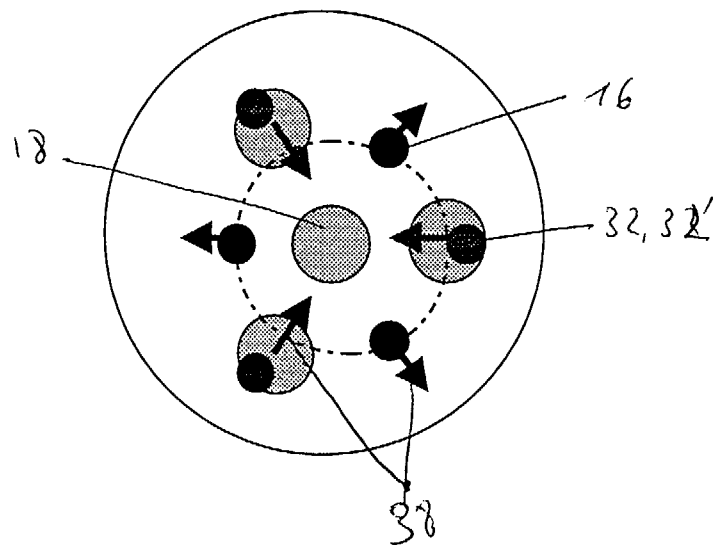


FIG. 3

5



Abrégé

Procédé de production de fonte liquide dans un four électrique à arc comprenant plusieurs électrodes, équipé d'une sole et contenant un pied de bain surmonté d'un laitier liquide non moussant, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- 5 - réduction de fines métalliques pour former des fines métalliques préréduites comprenant un excès de carbone libre,
- transfert à chaud des fines métalliques préréduites à l'intérieur d'un rideau d'un gaz inerte dans un pied de bain contenu dans le four électrique à arc,
- brassage du pied de bain par injection de gaz de manière à éviter la
- 10 formation de croûtes,
- fusion des fines métalliques préréduites dans le four électrique à arc pour obtenir de la fonte liquide.

FIG. 1

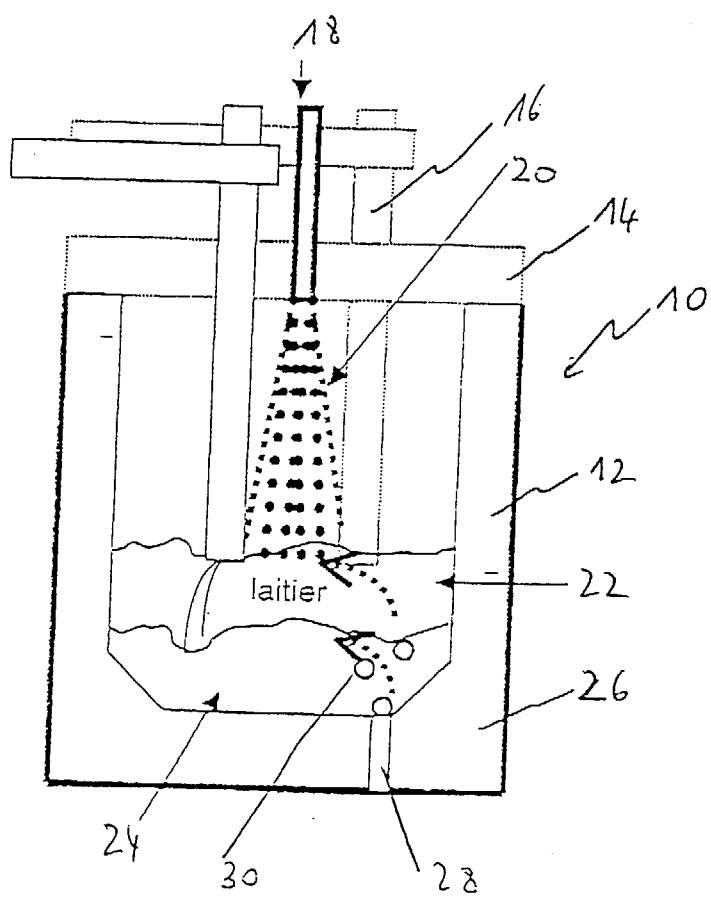


Fig. 1

FIGURE A PUBLIER AVEC L'ABREGE



MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE

Service
de la Propriété Intellectuelle

RAPPORT DE RECHERCHE

établi en vertu de l'article 35.1 a)
de la loi luxembourgeoise sur les brevets d'invention
du 20 juillet 1992Numero de la demande
nationaleLO 252
LU 90788

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
Y	WO 00 79012 A (PAUL WURTH) 28 décembre 2000 (2000-12-28)	1	C21B13/14
A	* revendications 1-13 *	2-14	C21B11/10 C21B13/12
Y	WO 98 58091 A (VOEST-ALPINE INDUSTRIEANLAGENBAU) 23 décembre 1998 (1998-12-23) * revendications 1,4,6,9; figures 1-4 *	1	
A	WO 01 11091 A (TECHNOLOGICAL RESOURCES PTY) 15 février 2001 (2001-02-15) * page 1, ligne 1 - ligne 12 * * page 10, ligne 16 - ligne 21 * * page 14, ligne 31 - ligne 37; revendication 1; figures 1,2 *	1	
A	WO 97 17473 A (TECHNOLOGICAL RESOURCES PTY) 15 mai 1997 (1997-05-15) * page 2, ligne 2 - page 4, ligne 28 * * page 6, ligne 5 - page 7, ligne 17 * * page 8, ligne 23 - page 9, ligne 24 * * page 10, ligne 25 - page 11, ligne 28 * * page 13, ligne 28 - page 14, ligne 25; revendications 1,3,4,8,16-20; figure 1 *	1,6, 10-13	
A	"HIGH CARBON DRI WITH DIRECT HOT CHARGING TO EAF" STEEL TIMES INTERNATIONAL, FMJ INTERNATIONAL PUBLICATIONS, REDHILL, SURREY, ENGLAND, GB, vol. 17, no. 6, 1 novembre 1993 (1993-11-01), pages 42-43, XP000417748 ISSN: 0143-7798		

DOMAINES TECHNIQUES
RECHERCHES (Int.Cl.7)

C21B

1

Date d'achèvement de la recherche

28 février 2002

Examineur

ELSEN, D

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
 Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un
 autre document de la même catégorie
 A : arrière-plan technologique
 O : divulgation non-écrite
 P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
 E : document de brevet antérieur, mais publié à la
 date de dépôt ou après cette date
 D : cité dans la demande
 L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C54)



MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE

Service
de la Propriété Intellectuelle

RAPPORT DE RECHERCHE

établi en vertu de l'article 35.1 a)
de la loi luxembourgeoise sur les brevets d'invention
du 20 juillet 1992L0 252
LU 90788

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie:	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
A	FR 1 285 711 A (ELEKTROMISK) 23 février 1962 (1962-02-23) * page 2, colonne 2, ligne 7 - ligne 23; revendication 1 *	1	

A	US 4 701 216 A (GENE D. SPENCELEY) 20 octobre 1987 (1987-10-20) * page 2, ligne 55 - ligne 57 * * colonne 3, ligne 1 - ligne 5; revendications 1-12; figure 1 *	1-5	

A	DE 197 44 151 A (METALLGESELLSCHAFT) 8 avril 1999 (1999-04-08) * colonne 1, ligne 66 - colonne 2, ligne 1 * * colonne 3, ligne 12 - ligne 14; revendications 1-7; figures 1-4 *	1-5	

A	DE 197 48 310 C (SIEMENS) 17 décembre 1998 (1998-12-17) -----		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)

1

Date d'achèvement de la recherche

Examineur

28 février 2002

ELSEN, D

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
 Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
 A : arrière-plan technologique
 O : divulgation non-écrite
 P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
 E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
 D : cité dans la demande
 L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE

RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET LUXEMBOURGEOISE NO.

LO 252

LU 90788

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

28-02-2002

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0079012	A	28-12-2000	LU 90406 A1	22-12-2000
			AU 5533500 A	09-01-2001
			BR 0012189 A	16-04-2002
			CN 1355853 T	26-06-2002
			WO 0079012 A1	28-12-2000
			EP 1187942 A1	20-03-2002
WO 9858091	A	23-12-1998	AT 405054 B	25-05-1999
			AT 105997 A	15-09-1998
			WO 9858091 A1	23-12-1998
			BR 9810621 A	25-07-2000
			DE 59802742 D1	21-02-2002
			EP 0990053 A1	05-04-2000
			US 6372011 B1	16-04-2002
			ZA 9805307 A	11-02-1999
WO 0111091	A	15-02-2001	WO 0111091 A1	15-02-2001
			AU 6254400 A	05-03-2001
			BR 0013006 A	30-04-2002
			CN 1369018 T	11-09-2002
			EP 1230403 A1	14-08-2002
			NZ 516879 A	28-08-2002
			US 6379422 B1	30-04-2002
WO 9717473	A	15-05-1997	AT 217349 T	15-05-2002
			AU 718296 B2	13-04-2000
			AU 7269596 A	29-05-1997
			WO 9717473 A1	15-05-1997
			BR 9611484 A	02-02-1999
			CN 1205743 A ,B	20-01-1999
			DE 69621147 D1	13-06-2002
			DE 69621147 T2	26-09-2002
			EP 0862657 A1	09-09-1998
			JP 11514705 T	14-12-1999
			US 6174346 B1	16-01-2001
			ZA 9609203 A	29-05-1997
FR 1285711	A	23-02-1962	NONE	
US 4701216	A	20-10-1987	DE 3620517 A1	08-01-1987
			ES 8800728 A1	01-02-1988
			GB 2177118 A ,B	14-01-1987
			IT 1192013 B	31-03-1988
			JP 62027513 A	05-02-1987
DE 19744151	A	08-04-1999	DE 19744151 A1	08-04-1999

EPO FORM P0456

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

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET LUXEMBOURGEOISE NO. L0 252
LU 90788

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

28-02-2002

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 19744151 A		AT 209698 T	15-12-2001
		AU 734802 B2	21-06-2001
		AU 1029199 A	27-04-1999
		BR 9812880 A	08-08-2000
		DE 59802271 D1	10-01-2002
		WO 9918245 A1	15-04-1999
		EP 1025267 A1	09-08-2000
		ES 2168801 T3	16-06-2002
		JP 2001519473 T	23-10-2001
		ZA 9809098 A	06-04-2000

DE 19748310 C	17-12-1998	DE 19748310 C1	17-12-1998
		WO 9923264 A1	14-05-1999
		EP 1027462 A1	16-08-2000
