

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

0 153 205
A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN(21) Numéro de dépôt: **85400063.5**(51) Int. Cl.⁴: **B 22 D 11/06, B 22 D 27/02**(22) Date de dépôt: **15.01.85**(30) Priorité: **18.01.84 FR 8400747**(71) Demandeur: **UNION SIDERURGIQUE DU NORD ET DE L'EST DE LA FRANCE** par abréviation "**USINOR**",
Défense 9 4 Place de la Pyramide, F-92070 Puteaux (FR)(43) Date de publication de la demande: **28.08.85**
Bulletin 85/35(72) Inventeur: **de Framond, Rémy**, 8 Rue Jules Vallès,
F-38100 Grenoble (FR)
Inventeur: **Yavari, A. Reza**, 5 Place Ste-Claire,
F-38000 Grenoble (FR)
Inventeur: **Senillou, Claude**, 65 rue du Sabotier "Les
platanes", **F-38340 Voreppe (FR)**
Inventeur: **Joud, Jean-Charles**, 40 Chemin des Buclos,
F-38340 Meylan (FR)
Inventeur: **Garnier, Marcel**, La Grivolée Saint Martin
d'Uriage, **F-38410 Uriage (FR)**(84) Etats contractants désignés: **AT BE CH DE FR GB IT LI**
LU NL SE(74) Mandataire: **Moncheny, Michel et al**, c/o Cabinet
Lavoix 2 Place d'Estienne d'Orves, F-75441 Paris
Cedex 09 (FR)(54) **Procédé et dispositif pour l'élaboration de rubans notamment métalliques et semi-métalliques de faible épaisseur.**

(57) L'invention concerne l'élaboration de rubans ou tôles, notamment métalliques ou semi-métalliques, en particulier à structure microcristalline ou amorphe.

Selon ce procédé, on fait s'écouler à partir d'un réservoir, à travers une buse, un matériau en fusion électroconducteur, pour former une lame de section droite sensiblement rectangulaire que l'on solidifie ensuite. Suivant l'invention, on stabilise la forme de la lame de matériau liquide, après sa mise en forme et avant solidification, par un effet mécanique superficiel induit par un champ magnétique alternatif.

EP 0 153 205 A1

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR L'ELABORATION DE RUBANS NOTAMMENT METALLIQUES ET SEMI-METALLIQUES DE FAIBLE EPAISSEUR.

La présente invention concerne les procédés et les dispositifs pour l'élaboration de rubans, et plus spécialement métalliques ou semi-métalliques de faible épaisseur, notamment de tels rubans ayant une structure microcristalline ou amorphe.

05 Le procédé le plus simple pour fabriquer de tels rubans métalliques minces consiste à projeter un jet de métal liquide sur un substrat mobile tel que la surface d'un rouleau métallique tournant à une vitesse
10 circonférentielle supérieure à 10 m/seconde. Ce procédé est désigné par l'expression anglaise "melt-spinning". Le problème majeur à résoudre concerne la stabilité de forme du jet lors de son impact et de sa solidification sur le substrat en raison de la vitesse d'impact relativement élevée, notamment accrue par l'accélération de la
15 pesanteur. Il est de plus impossible de produire par ce procédé des rubans de largeur supérieure à 1 cm.

 On connaît un procédé décrit en particulier dans le document FR-A-2 368 324 (77 31 659). Selon ce procédé, on fait couler le métal liquide à travers une
20 fente dont la largeur varie de 0,2 à 1 mm et dont la longueur peut être de plusieurs centimètres. Cette fente est placée à une distance du substrat mobile qui est inférieure à 1 mm, et le plus souvent de l'ordre de 0,1 mm ce qui permet de pallier l'inconvénient du premier procédé évo-
25 qué ci-dessus puisque le substrat sur lequel le métal se solidifie se trouve à une très faible distance de la fente par laquelle s'écoule le métal liquide. Cependant, ce procédé présente également de graves inconvénients : il nécessite des conditions très particulières et très sévères
30 en ce qui concerne l'usinage et l'état de surface des lèvres délimitant la fente. Ces lèvres sont soumises à une usure importante étant donné l'effet d'entraînement qui s'exerce sur le métal à proximité immédiate de ces lèvres. Par ailleurs, il est également nécessaire que la roue qui
35 constitue le substrat sur lequel se solidifie le métal présente des tolérances de dimensions très serrées pour pouvoir obtenir un ruban d'épaisseur à peu près constante,

puisque c'est la distance entre les lèvres et ce substrat qui détermine en partie l'épaisseur du ruban.

Le document FR-A-82 06 876 décrit un procédé selon lequel un jet de métal liquide de section circulai-
05 re est déformé par application d'un champ magnétique, jusqu'à lui donner la forme d'un ruban ou d'une lame parallèle à ce champ. Cependant, ce procédé nécessite un temps de formage minimal pendant lequel le champ magnétique doit agir sur la section initiale du métal, à l'encon-
10 tre de la tension superficielle du liquide, pour déformer cette section jusqu'à obtenir la forme finale désirée.

Pendant ce temps, le métal liquide est soumis à l'action de la pesanteur, de sorte que la lame formée atteint sa largeur utile hors de la zone du champ magné-
15 tique précisément lorsque l'action stabilisante maximale du champ serait nécessaire pour la maintenir en l'état. En outre, la lame ainsi formée ne peut présenter qu'une largeur limitée compte tenu de la décroissance rapide des champs magnétiques dans l'air.

20 Il est à noter que trois types de problèmes physiques nuisent au contrôle précis de la constance de la lame liquide en épaisseur et en largeur lors de son écoulement dans l'air :

a) une instabilité due aux vitesses différentes du
25 fluide constituant la lame et de l'atmosphère ambiante. Cette instabilité (Kelvin-Helmoltz) qui se développe très rapidement se manifeste par une série de rides parallèles, surtout perpendiculaires à la direction de l'écoulement qui conduisent à une modulation d'épaisseur dans le sens
30 de la longueur de la lame.

b) une instabilité due aux perturbations engendrées au niveau de la sortie du nez de la busette d'où s'écoule le fluide. Ces perturbations n'ont pas de direction privilégiée et dépendent de la géométrie de la busette.

35 c) une instabilité due à la tension superficielle et à l'accélération gravitationnelle qui tend à réduire la largeur de la lame et à lui redonner une section circulai-

re. Cette instabilité se développe beaucoup moins rapidement que la précédente et se traduit par l'apparition de fuseaux successifs avec une rotation de 90° à chaque noeud (Fig. 7). Les rides sont parallèles au bord de la
05 lame et les modulations d'épaisseur se trouvent dans une direction perpendiculaire à la vitesse du jet.

On connaît enfin une publication JP-A-57-17781 qui soumet une lame métallique formée sur un substrat échangeur de chaleur à l'action d'un champ magnétique
10 créé en une zone proche du point de solidification du métal. Ce champ magnétique a une direction perpendiculaire à la direction d'avancement de la lame métallique et les lignes de champ la traversent. Il est clairement indiqué et expliqué que le but poursuivi est d'accroître la vis-
15 cosité par action de freinage sur les particules fluides, ce qui impose un champ continu ou alternatif basse fréquence pénétrant la masse de l'écoulement fluide.

Or, précisément, ce type de champ pénétrant la veine d'écoulement métallique exerce une action stabilisatrice quasi nulle sur les instabilités de forme qui ont
20 été définies précédemment sous a, b et c et que la présente invention vise précisément à combattre dans la formation d'une lame métallique à projeter sur le substrat d'échange thermique.

Aucun des procédés connus ne permet donc d'obtenir sans placer le creuset à une distance inférieure à 1 mm du substrat mobile, un ruban large avec des dimensions régulières. Le but de cette invention est précisément de fournir un procédé et un dispositif originaux permettant
25 l'obtention d'un tel produit tout en se libérant des contraintes qui, dans le deuxième procédé analysé ci-dessus, concernent la réalisation des lèvres de la fente et l'usage de ces dernières.

A cet effet, l'invention a principalement pour
35 objet un procédé d'élaboration, à partir d'un liquide électroconducteur, d'un ruban, du type dans lequel on fait s'écouler à partir d'un réservoir, à travers une buse, un

matériau en fusion, pour former une lame de section droite sensiblement rectangulaire que l'on solidifie ensuite, caractérisé en ce qu'on stabilise la forme de la lame de matériau liquide, après sa mise en forme et avant solidification, par un effet mécanique superficiel induit par un champ magnétique alternatif.

Suivant d'autres caractéristiques :

- le champ magnétique incident est parallèle à la lame et de préférence orthogonal à l'axe longitudinal de la lame,
- le champ magnétique incident est perpendiculaire à la lame,
- la stabilisation de la forme de la lame est réalisée par l'action sur au moins une face de la lame d'un champ magnétique incident perpendiculaire à la lame qui est ensuite bouclé sur lui-même de façon telle que les lignes de champ issues du champ incident sont ensuite dirigées parallèlement à la surface de la lame, puis réorientées perpendiculairement à cette dernière pour la formation du bouclage,
- le bouclage du champ est réalisé selon une direction verticale, éventuellement en combinaison avec un bouclage selon une direction horizontale,
- la buse a une section droite en forme de fente sensiblement rectangulaire,
- la buse a une section droite sensiblement circulaire et la veine métallique liquide sensiblement cylindrique est préformée en forme de lame par l'action d'au moins deux champs magnétiques incidents opposés, en regard l'un de l'autre, disposés de chaque côté de la veine, et la stabilisation est réalisée par un bouclage du champ tel que décrit ci-dessus,
- une lame de grande largeur est obtenue par coalescence de lames individuelles plus étroites le long de leurs bords longitudinaux,
- la solidification de la lame est réalisée par mise en contact de la lame stabilisée avec un substrat mobile.

L'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé, tel que défini ci-dessus, du type comprenant un réservoir contenant un matériau en fusion et comportant à sa partie inférieure une buse pour l'écoulement de ce matériau, et en aval du réservoir des moyens de formation d'une lame et de solidification de cette dernière, caractérisé en ce qu'il comprend dans la zone située entre les moyens de formation de la lame et les moyens de solidification, des moyens électromagnétiques adaptés pour exercer sur la surface de la lame un effet mécanique de stabilisation engendré par un champ magnétique alternatif.

Suivant d'autres caractéristiques :

- les moyens engendrant le champ magnétique alternatif comprennent au moins deux bobines d'induction coaxiales entourant des noyaux refroidis de ferrite ou autre matériau équivalent, disposées de part et d'autre de la lame de matériau liquide sortant de la buse, l'axe des bobines étant sensiblement contenu dans le plan de cette lame et les bobines étant alimentées de sorte que les extrémités en regard de la lame des noyaux opposés de ferrite soient des pôles contraires,

- les moyens engendrant le champ magnétique alternatif comprennent au moins une paire de bobines d'induction coaxiales entourant des noyaux refroidis de ferrite ou autre matériau équivalent, disposées de part et d'autre de la lame de matériau liquide sortant de la buse, l'axe des bobines étant perpendiculaire au plan de ladite lame et les bobines étant alimentées de sorte que les extrémités en regard de la lame des noyaux opposés de ferrite soient des pôles semblables,

- le dispositif comprend au moins deux paires de bobines d'induction coaxiales disposées l'une au dessus de l'autre, le noyau de ferrite ou autre matériau équivalent formant avec le noyau de ferrite de la bobine adjacente située sur une même verticale et en regard d'un même côté de la lame, un circuit de ferrite en forme de U

canalisant les lignes de champ pour les rendre, dans l'entrefer, sensiblement parallèles à l'axe longitudinal de la lame,

05 - le dispositif comprend au moins deux paires de bobines d'induction coaxiales disposées l'une à côté de l'autre dans une même direction horizontale, le noyau de ferrite ou autre matériau équivalent formant avec le noyau de ferrite de la bobine adjacente située sur une même horizontale et en regard d'un même côté de la lame,
10 un circuit de ferrite en forme de U canalisant les lignes de champ pour les rendre, dans l'entrefer, parallèles à la surface de la lame et sensiblement horizontales,

15 - le dispositif comprend une combinaison de paires de bobines disposées horizontalement et verticalement comme défini ci-dessus, de sorte que les pôles de deux noyaux de ferrite adjacents en regard d'une même face de la lame sont alternés,

20 - la buse a une section droite en forme de fente sensiblement rectangulaire,
20 - la buse a une section droite sensiblement circulaire et la veine métallique liquide sensiblement cylindrique est préformée en forme de lame par passage entre les bobines supérieure des paires de bobines disposées verticalement définies ci-dessus, la stabilisation étant réalisée
25 par le passage entre les bobines situées à un niveau inférieur,

30 - les bobines sont alimentées par un courant alternatif à haute fréquence, compris entre 3 et 3.000 kHz environ,
30 - l'intensité du champ magnétique est comprise entre 1 et 1.000 millitesla environ,

35 - les moyens de solidification comprennent par exemple un substrat mobile sur lequel on dépose le matériau, sous forme de deux bandes sans fin comportant deux brins parallèles, en regard, délimitant entre eux un intervalle situé dans l'alignement de la buse et de la lame sortant de cette buse, les deux brins se déplaçant dans la même direction que ladite lame.

L'invention va être décrite ci-dessous en se référant aux dessins annexés donnés uniquement à titre d'exemple et sur lesquels :

- 05 - la Fig. 1 est une vue schématique en perspective d'un dispositif selon l'invention,
- la Fig. 2 est une vue partielle en perspective d'une variante,
- la Fig. 3A est une vue schématique en perspective du dispositif de la présente invention dans un mode de
10 réalisation de la seconde variante dans lequel la stabilisation est réalisée par un bouclage vertical du champ magnétique,
- la Fig. 3B est une vue schématique en élévation des inducteurs 3A vus depuis la lame et illustrant les lignes
15 du champ,
- la Fig. 4 est une vue schématique de la disposition des pôles des noyaux de ferrite en regard de la lame dans un mode de réalisation de la seconde variante dans lequel la stabilisation est obtenue par un bouclage magnétique
20 combiné vertical et horizontal,
- la Fig. 5 est une représentation schématique d'une troisième variante dans laquelle une lame de grande largeur est réalisée par coalescence de lames individuelles plus étroites le long de leurs bords longitudinaux, les
25 lames individuelles étant coulées à partir de buse à section circulaire, puis préformées et stabilisées selon la variante des Fig. 3 et 4,
- la Fig. 6 est une vue schématique illustrant un mode de mise en contact avec le substrat mobile,
- 30 - la Fig. 7 illustre un phénomène de modification physique d'une lame métallique formée par effet de la tension superficielle.

Il convient de noter avant de définir les inducteurs selon la présente invention, capables de fournir une géométrie des champs magnétiques adéquate, que l'effet d'un
35 champ magnétique alternatif de fréquence donnée sur la stabilité d'une lame de matériau électroconducteur liquide

est de s'opposer aux perturbations qui auraient tendance à écarter les faces de la lame de leur position géométrique de jet plan et parallèle. Cet effet stabilisant est sélectif vis-à-vis des perturbations dans la mesure
05 où seules les ondes dont les rides sont perpendiculaires à la direction du champ magnétique sont réduites, car il est nul pour des perturbations dont les rides sont parallèles au champ magnétique. Il faut enfin noter que cet effet est d'autant plus important que la fréquence du
10 champ magnétique alternatif est élevée.

La fréquence des champs magnétiques alternatifs utilisés pour réduire les instabilités de la lame doit être telle que la profondeur de pénétration dans le matériau constituant la lame liquide soit aussi faible que
15 possible de façon à obtenir un effet mécanique localisé à la surface de la lame où apparaissent les perturbations. La conductivité électrique des métaux et semi-métaux à l'état liquide situe la gamme des fréquences entre 3 kHz et 3.000 kHz.

20 L'invention sera décrite ci-après en référence à la fabrication de rubans métalliques, semi-métalliques ou amorphes, mais n'y est pas limitée et vise toute fabrication d'un ruban à partir d'un matériau électroconducteur.

25 Sur le schéma de la Fig. 1 est représenté un dispositif comprenant un réservoir 11 pouvant contenir un matériau métallique ou semi-métallique en fusion. Ce réservoir est entouré par des moyens de chauffage 12, par exemple, à induction. Ce réservoir se termine à sa
30 partie inférieure par au moins une buse en forme de fente 13 dont la section correspond à la forme de la lame liquide que l'on souhaite obtenir. Dans l'exemple choisi cette fente peut avoir une forme rectangulaire, avec une largeur de 0,7 mm et une longueur de 20 mm.

35 Au-dessous de cette busette et à une distance qui peut être comprise entre 1 et 15 mm et de préférence entre 2 et 10 mm, se trouve une roue 14 pouvant être en-

traînée en rotation et dont la largeur est supérieure à la longueur de la fente 13. La surface 15 de cette roue constitue un substrat sur lequel la lame de métal va se refroidir très rapidement. La distance entre la sortie
05 de la fente et la surface du substrat est supérieure à la largeur de la fente et de préférence supérieure à 1 mm. La surface du substrat est prévue de façon à permettre un détachement aisé du ruban solidifié 16. Elle peut être refroidie par tout moyen convenable (non représenté)
10 et entraînée avec une vitesse de rotation telle que sa vitesse tangentielle au point de réception du matériau en fusion soit compatible avec celle de l'écoulement de la lame et puisse être de l'ordre de 20 m par seconde.

Dans la zone comprise entre la buse 13 et la
15 roue réceptrice 14, sont disposés des moyens permettant d'engendrer dans cette zone un champ magnétique alternatif exerçant un effet mécanique de stabilisation sur les faces de la lame 17 de matériau liquide sortant de la busette. Ces moyens comprennent dans l'exemple choisi
20 deux bobines coaxiales 18 en matériau conducteur de l'électricité, par exemple en cuivre, l'axe de ces bobines étant disposé parallèlement à la fente 13, et par conséquent parallèlement à la lame 17 et orthogonalement à l'axe longitudinal de cette dernière. L'axe des bobines
25 est même de préférence contenu dans le plan de cette lame. Les deux bobines peuvent être refroidies, comme cela est connu dans la technique. Un noyau de ferrite ou matériau équivalent 19 qui peut également être refroidi, est disposé à l'intérieur de chaque bobine coaxialement pour
30 concentrer l'intensité du champ magnétique vers le matériau liquide sortant de la fente.

Les bobines sont alimentées par des courants alternatifs de fréquence appropriée, de façon telle que les extrémités 19a en regard de la lame 17 des noyaux oppo-
35 sés de ferrite 19 soient des pôles contraires.

A titre d'exemple, on peut alimenter les deux bobines par des courants alternatifs ayant une fréquence

comprise entre 3 et 3.000 kHz, par exemple de l'ordre de 400 kHz, l'intensité du champ produit étant comprise entre 1 et 1.000 millitesla.

05 Dans cet exemple, la largeur du ruban obtenue correspond à celle de la fente, soit 20 mm et son épaisseur est d'environ 0,07 mm. Il est obtenu à partir d'une fente rectangulaire de 20,0 x 0,6 mm par mise en contact avec un substrat sous forme de roue dont la vitesse tangentielle est de 20 m/s.

10 Dans la variante de la Fig. 2, on utilise une paire de bobines d'induction 28 et des noyaux de ferrite 29 disposés à l'intérieur de ces bobines. Les bobines sont coaxiales et ont leur axe commun perpendiculaire au plan de la lame 27 sortant de la buse. Les noyaux de ferrite ont
15 en section, une forme rectangulaire et ont leurs extrémités disposées à quelques millimètres de la lame de métal liquide.

Dans ce cas, les bobines sont alimentées par des courants alternatifs tels que les extrémités 29a en
20 regard de la lame des noyaux opposés de ferrite sont des pôles semblables, c'est-à-dire, soit tous deux des pôles nord, soit tous deux des pôles sud.

A titre d'exemple, les deux bobines inductrices peuvent être alimentées en courant alternatif avec une
25 fréquence de 500 kHz. L'intensité du champ peut être comprise entre 1 et 1.000 millitesla. La fente de la busette peut avoir une longueur de l'ordre de 45 mm et une largeur de 0,7 mm. La distance entre la sortie de la busette et le substrat peut être de l'ordre de 10 mm. Dans ce cas, en
30 supposant que la vitesse de ce substrat, suivant une direction perpendiculaire à la direction d'arrivée de la lame liquide est de 15 m par seconde, on obtient un ruban de largeur 45 mm et d'épaisseur de l'ordre de 0,1 mm.

Dans le mode de réalisation de la Fig. 3A, une
35 lame 31 de matériau métallique liquide préformée est envoyée entre une première paire de bobines d'induction 32a, 32b coaxiales placées de part et d'autre de la lame 31,

de telle sorte que leur axe commun soit perpendiculaire au plan de la lame.

Une seconde paire de bobines d'induction 33a, 33b coaxiales, parallèles à la première paire de bobines 32a, 32b est disposée sur une même verticale et en dessous des bobines 32. Un noyau de ferrite 34a en forme de U est logé entre les bobines 32a et 33a situées d'un même côté de la lame de telle sorte que chaque branche du U, respectivement 35a et 36a, pénètre dans les bobines 32a et 33a.

Les bobines 32a et 33a sont alimentées par des courants alternatifs de façon telle que les extrémités en regard de la lame des branches 35a et 36a de la ferrite 34a soient des pôles contraires.

Dans le cas de la Fig. 3A, l'extrémité de la branche 35a est un pôle nord et les lignes de champ magnétique incident issues de ce pôle sont dirigées perpendiculairement vers la lame, puis bouclées en suivant tout d'abord une direction parallèle à la lame en allant vers la branche 36a qui est un pôle sud, en face duquel elles sont réorientées perpendiculairement à la lame 31 et enfin canalisées par la ferrite en forme de U 34a jusqu'au pôle nord 35a.

Comme dans les variantes précédentes, le courant alternatif d'alimentation est un courant de fréquence élevée analogue à celle précédemment mentionnée.

Sur l'autre face de la lame, un noyau de ferrite 34b analogue au noyau 34a en forme de U est inséré entre les bobines 32b et 33b qui sont alimentées de façon telle que les pôles des extrémités 35a, 35b ou 36a, 36b de ferrite en regard de la lame d'une même paire 32a, 32b ou 33a, 33b, soient des pôles semblables. Dans le cas de la Fig. 3A, 35a et 35b sont des pôles nord et 36a et 36b sont des pôles sud.

L'allure des lignes de champ schématisées pour une même face de la lame sur la figure 3B explique l'action stabilisante du champ créé : les lignes de champ

droites et parallèles à l'axe de la lame, nombreuses, permettent de réduire l'instabilité la plus importante (Kelvin-Helmoltz) due à la vitesse ; les lignes de champ plus courbes réduisent grâce à leur inclinaison les autres types d'instabilités.

On peut bien évidemment associer suivant une même direction verticale plus de deux bobines d'induction pour obtenir un bouclage du champ sur une plus grande longueur disposée verticalement.

Le bouclage qui vient d'être expliqué précédemment pour une direction verticale peut, suivant un autre mode de réalisation de cette variante, être réalisé horizontalement avec une ferrite de structure analogue en forme de U et une opposition des pôles à chaque extrémité des branches du U en regard de la lame.

Selon le mode de réalisation de la Fig. 4, qui ne représente schématiquement que l'alternance des pôles en regard d'une même face de la lame, est réalisée une combinaison d'un bouclage vertical et horizontal du champ magnétique qui offre l'effet de stabilisation maximal de la lame dans toutes les directions du plan. L'alternance des pôles dans la direction horizontale et la direction verticale est telle que deux pôles adjacents sont toujours contraires.

La configuration de base de la Fig. 3A peut être translatée dans une direction parallèle à la lame, comme décrit ci-dessus, lorsque la largeur de celle-ci devient très importante. En respectant l'opposition des sens des champs magnétiques créés par les bobines successives, il est possible d'obtenir un effet stabilisant isotrope, comme le montre la figure 4. En effet, la disposition des bobines permet une diversification de la direction des lignes de champs et ainsi permet la stabilisation d'ondes de différentes directions. Cette technique de stabilisation ne connaît pas de limites, quant à la largeur de la lame à stabiliser.

Dans le cas du mode de réalisation de la Fig. 4,

le noyau de ferrite présente la forme d'un réseau maillé analogue à une grille de chaque sommet des mailles de laquelle partent des branches s'étendant jusqu'à proximité de la lame et portant une bobine inductrice convenablement alimentée.

En plus de l'effet stabilisant créé par de tels inducteurs, il existe un effet de formage électromagnétique des matériaux conducteurs d'électricité. La variation du module du champ magnétique dans le temps engendre des courants induits à la surface du matériau qui interagissent avec ce champ pour donner lieu à des forces (forces de Laplace); ces dernières sont décomposables en deux forces distinctes dont le rapport est proportionnel à la racine carrée de la fréquence (f). Plus f est grand, plus l'effet sera une force de pression sur la surface du matériau; plus f est faible, plus l'effet sera une force de brassage à l'intérieur du matériau liquide. On utilise donc des champs magnétiques alternatifs à fréquences élevées, créés par des inducteurs de géométrie définie précédemment pour obtenir un effet de formage électromagnétique.

Grâce à ce mode de réalisation permettant d'élargir la zone de stabilisation tout en conservant un champ magnétique d'autant plus intense, on peut faire coalescer au moins deux lames individuelles 51 et 52 représentées à la Fig. 5, le long de leur bord longitudinal commun 53 pour obtenir une lame de plus grande largeur parfaitement stabilisée.

Ce mode de réalisation autorise également la création d'une lame de grande largeur à partir de jets cylindriques 54 et 55 issus de buses à section circulaire, par préformage de la lame entre les bobines d'induction supérieures à 32a et 32b de la Fig. 3A, avant la stabilisation. Cette stabilisation peut être obtenue entre une seule paire de bobines ou entre d'autres paires de bobines placées en dessous et à côté suivant un schéma réitératif du type de

celui décrit à la Fig. 4.

Dans le cas d'un jet cylindrique s'écoulant entre les paires d'inducteurs, le champ magnétique créé par les bobines en opposition a tendance à repousser le
 05 métal et donc à le former en lame régulière. On notera l'importance de la fréquence et donc de l'épaisseur de peau δ (profondeur de l'action de la force de Laplace au sein du matériau électro-conducteur) en fonction de l'épaisseur e de la lame liquide à former. δ est défini
 10 par l'expression :

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \mu_0 \sigma f}}$$

dans laquelle μ_0 = perméabilité magnétique du vide.

15

σ = conductivité électrique du matériau liquide.

f = fréquence du courant dans les bobines d'induction.

20 Pour l'obtention des résultats selon la présente invention δ doit être de l'ordre de e et de préférence $< e/2$.

La lame ainsi formée se trouve ensuite stabilisée par le phénomène décrit ci-dessus. L'intérêt d'un tel
 25 inducteur réside dans le fait que les bobines sont toujours très près du métal, ce qui est très important du fait de la décroissance rapide de l'intensité du champ magnétique dans l'air. Un dispositif de réglage micrométrique peut être associé aux deux demi-inducteurs permettant ainsi l'approche
 30 de ces derniers près de la lame ou le léger décalage par rapport à la lame formée faisant ainsi office de guidage de la lame par rapport à un point d'impact donné.

Il est possible de partir de plusieurs jets cylindriques qui, s'écoulant aux travers d'inducteurs identiques,
 35 se déforment sous l'action du champ magnétique jusqu'à former des lames juxtaposées qui coalescent pour ne donner qu'une seule et unique lame stable et régulière (Fig. 5).

En effet, au point de coalescence, les vitesses des particules fluides n'étant pas parallèles, il s'en suit la création d'une protubérance à la surface de la lame. Ce type d'inducteur permet de pallier cet inconvénient en stabilisant la lame de façon régulière. Cette technique de formage ne connaît pas non plus de limites, quant à la largeur de la lame à stabiliser.

Le mode de réalisation de la Fig. 6 comprend un réservoir ou creuset 61 entouré d'un dispositif de chauffage à induction 62 et se terminant à sa partie inférieure par une buse 63 délimitant une fente de forme sensiblement rectangulaire.

Le dispositif magnétique permettant de stabiliser la forme de la lame liquide sortant de ce réservoir peut être tel que décrit ci-dessus et représenté sur la Fig. 3A. L'originalité essentielle de ce troisième mode de réalisation concerne le substrat de refroidissement. Ce dernier est ici réalisé sous la forme de deux bandes transporteuses 64 passant sur des rouleaux moteurs 65a et sur des rouleaux de renvoi 65b et 65c. Ces deux bandes comportent deux brins verticaux 64a compris ici entre les rouleaux de renvoi 65b, 65c et qui sont disposés face à face, dans le prolongement de la fente de la buse 3. Ces deux brins sont donc parallèles à la lame liquide 67 sortant de la buse et se déplacent dans la même direction que cette lame. Cette dernière est ainsi reçue entre les deux bandes réceptrices en étant maintenue efficacement et le ruban solidifié 66 est aisément extrait à la partie inférieure du dispositif. Bien entendu, les bandes transporteuses faisant office de substrat de refroidissement peuvent être refroidies par des moyens convenables non représentés.

Dans ce mode de réalisation, le ruban peut avoir une stabilité dimensionnelle améliorée, compte tenu du guidage entre les deux bandes adjacentes 64a.

Le procédé et le dispositif proposés répondent

bien aux objectifs recherchés :

05 - les lèvres de la buse à partir de laquelle s'écoule
le matériau liquide ne sont pas soumises aux mêmes con-
traintes que dans le procédé dans lequel le substrat de
refroidissement se trouve très proche de la sortie de la
fente, de sorte que dans le dispositif suivant l'inven-
tion, la buse peut être réalisée de façon plus simple et
moins coûteuse. De plus, elle a une durée de vie bien su-
périeure, car elle est soumise à une érosion bien plus
10 faible. Les risques d'obturation de cette buse sont éga-
lement sensiblement réduits,

15 - par ailleurs, la stabilité dimensionnelle de la lame
liquide est assurée de façon efficace, ce qui permet d'ob-
tenir un ruban de dimension régulière, tant en épaisseur
qu'en largeur,

20 - ce résultat est obtenu par des moyens relativement
simples et en maintenant la distance entre la sortie de la
buse et le substrat récepteur à une valeur suffisamment
faible pour que la lame liquide parvienne sur la surface
de refroidissement avec une vitesse faible et en tout état
de cause suffisamment faible pour ne pas engendrer de per-
turbation,

25 - le procédé suivant l'invention permet également d'ob-
tenir des rubans métalliques minces présentant une grande
largeur et ce de façon stable et régulière.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'élaboration à partir d'un liquide électroconducteur d'un ruban, du type dans lequel on fait s'écouler à partir d'un réservoir (11, 21, 61), à travers
05 une buse (12, 22, 63), un matériau en fusion, pour former une lame de section droite sensiblement rectangulaire que l'on solidifie ensuite, caractérisé en ce qu'on stabilise la forme de la lame (17, 27, 67) de matériau liquide, après sa mise en forme et avant solidification, par un ef-
10 fet mécanique superficiel induit par un champ magnétique alternatif.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le champ magnétique incident est parallèle à la lame.

15 3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le champ magnétique est orthogonal à l'axe longitudinal de la lame.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le champ magnétique incident est perpendiculaire
20 à la lame.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'effet de stabilisation de la forme de la lame est réalisée par l'action, sur au moins une face de la lame, d'un champ magnétique incident perpendiculaire à la
25 lame, qui est ensuite bouclé sur lui-même de façon telle que les lignes de champ issues du champ incident sont ensuite dirigées parallèlement à la surface de la lame, puis réorientées perpendiculairement à cette dernière pour la formation du bouclage.

30 6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que le bouclage est réalisé selon une direction verticale.

7. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que le bouclage est réalisé selon une direction ho-
35 rizontale.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que le bouclage est réalisé

à la fois selon une direction verticale et une direction horizontale.

05 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la buse a une section droite en forme de fente sensiblement rectangulaire.

10 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que la buse a une section droite sensiblement circulaire et la veine métallique liquide sensiblement cylindrique est préformée en forme de lame par l'action d'au moins deux champs magnétiques incidents opposés, en regard l'un de l'autre, disposés de chaque côté de la veine, et la stabilisation est réalisée par un bouclage du champ, tel que décrit aux revendications 5 à 8.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 10, caractérisé en ce qu'une lame de grande largeur est obtenue par coalescence de lames individuelles plus étroites le long de leurs bords longitudinaux.

20 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le champ magnétique alternatif a une fréquence comprise entre 3 et 3.000 kHz environ.

25 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'intensité du champ magnétique est comprise entre 1 et 1.000 millitesla environ.

30 14. Procédé d'élaboration d'un ruban métallique ou semi-métallique, caractérisé en ce que la solidification est réalisée par mise en contact de la lame stabilisée avec un substrat mobile (14, 64).

35 15. Dispositif pour la mise en oeuvre de procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, du type comprenant un réservoir (11, 21, 61) contenant un matériau en fusion et comportant à sa partie inférieure une buse (13, 23, 63) pour l'écoulement de ce matériau, et en aval du réservoir des moyens de formation d'une la-

me et de solidification de cette dernière, caractérisé en ce qu'il comprend dans la zone située entre les moyens de formation de la lame et les moyens de solidification, des moyens électromagnétiques adaptés pour exercer sur la surface de la lame un effet mécanique de stabilisation engendré par un champ magnétique alternatif.

16. Dispositif selon la revendication 15, caractérisé en ce que les moyens engendrant le champ magnétique alternatif comprennent au moins deux bobines d'induction (18) coaxiales entourant des noyaux (19) refroidis de ferrite ou autre matériau équivalent, disposées de part et d'autre de la lame de matériau liquide sortant de la buse, l'axe des bobines étant sensiblement contenu dans le plan de cette lame et les bobines étant alimentées de sorte que les extrémités (19a) en regard de la lame des noyaux opposés de ferrite soient des pôles contraires.

17. Dispositif selon la revendication 15, caractérisé en ce que les moyens engendrant le champ magnétique alternatif comprennent au moins une paire de bobines d'induction (28) coaxiales entourant des noyaux (29) refroidis de ferrite ou autre matériau équivalent, disposées de part et d'autre de la lame de matériau liquide sortant de la buse, l'axe des bobines étant perpendiculaire au plan de ladite lame et les bobines étant alimentées de sorte que les extrémités (29a) en regard de la lame des noyaux opposés de ferrite soient des pôles semblables.

18. Dispositif selon la revendication 17, caractérisé en ce qu'il comprend au moins deux paires de bobines d'induction (32a, 32b ; 33a, 33b) coaxiales disposées l'une au-dessus de l'autre, le noyau de ferrite ou autre matériau équivalent formant avec le noyau de ferrite de la bobine adjacente située sur une même verticale et en regard d'un même côté de la lame, un circuit de ferrite (34a, 34b) en forme de U canalisant les lignes de champ pour les rendre, dans l'entrefer, sensiblement parallèles à l'axe longitudinal de la lame.

19. Dispositif selon la revendication 17, caracté-

térisé en ce qu'il comprend au moins deux paires de bobines d'induction coaxiales disposées l'une à côté de l'autre dans une même direction horizontale, le noyau de ferrite ou autre matériau équivalent formant une même horizontale et en regard d'un même côté de la lame, un circuit de ferrite en forme de U canalisant les lignes de champ pour les rendre dans l'entrefer parallèles à la surface de la lame et sensiblement horizontales.

20. Dispositif selon la revendication 19 ou 20, caractérisé en ce qu'il comprend un réseau de paires de bobines disposées verticalement et horizontalement dont les pôles adjacents en regard de la lame sont alternés.

21. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 17 à 20, caractérisé en ce que la buse a une section droite en forme de fente sensiblement rectangulaire.

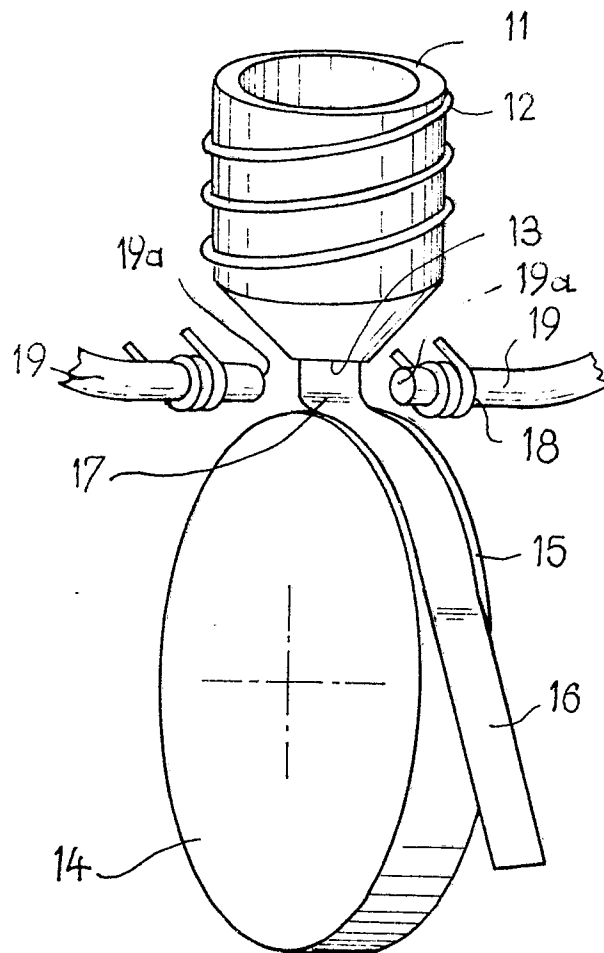
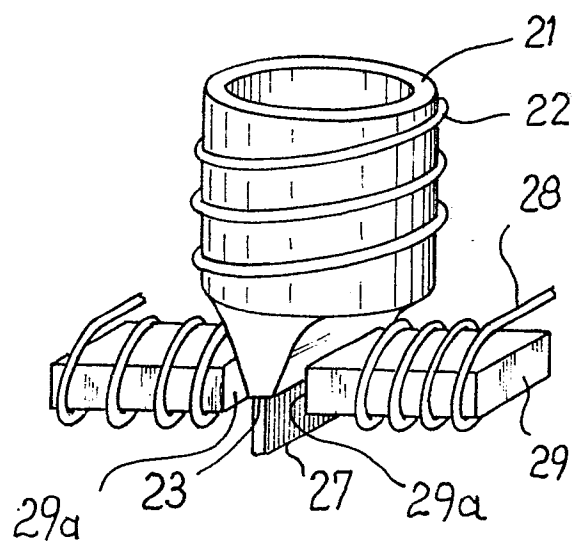
22. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 17 à 20, caractérisé en ce que la buse a une section droite sensiblement circulaire et la veine métallique liquide sensiblement cylindrique est préformée en forme de lame par passage entre les bobines supérieures (32a, 32b) du dispositif selon l'une quelconque des revendications 17 à 20, la stabilisation étant réalisée par le passage entre les bobines (33a, 33b) situées à un niveau inférieur.

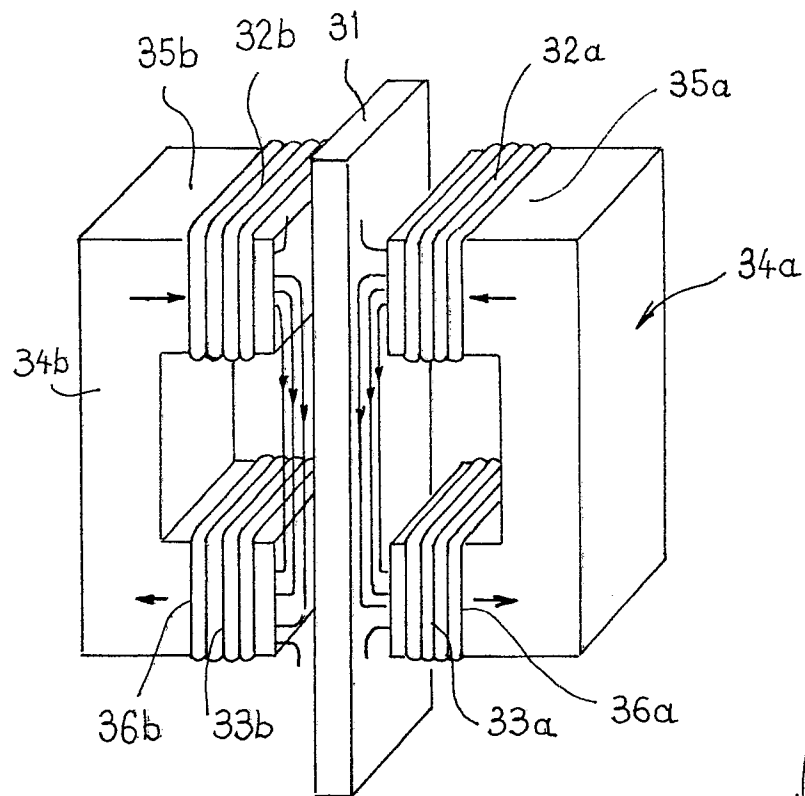
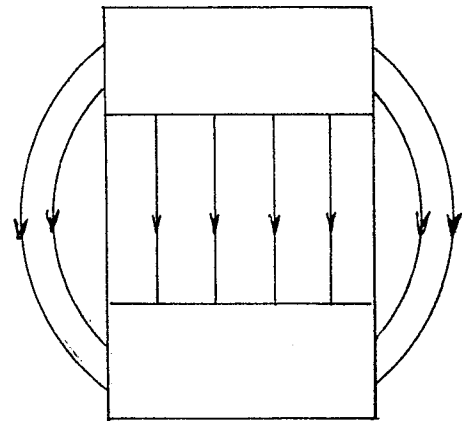
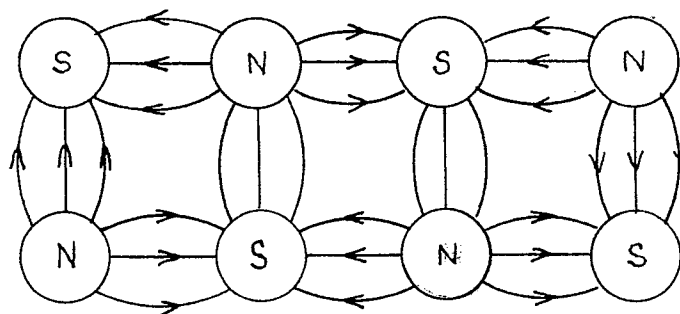
23. Dispositif suivant les revendications 17 à 22, caractérisé en ce que les noyaux (29, 34) de ferrite ou matériau analogue s'étendent sur à peu près toute la largeur de ladite lame (27).

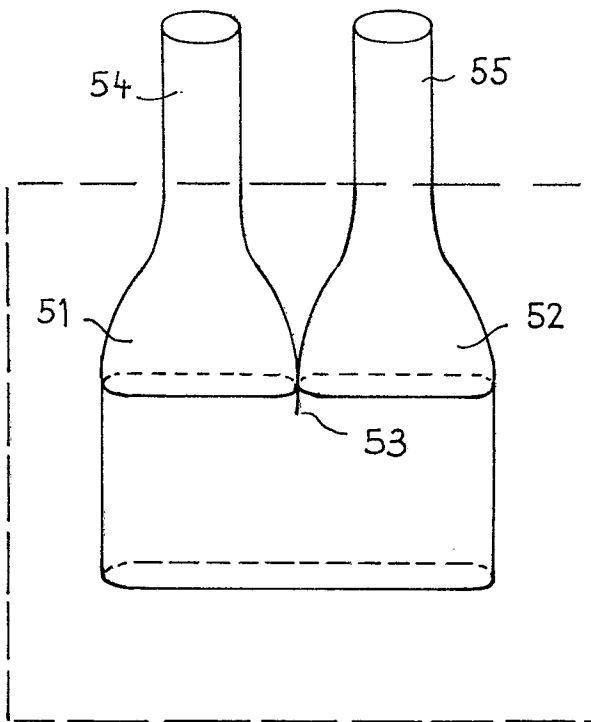
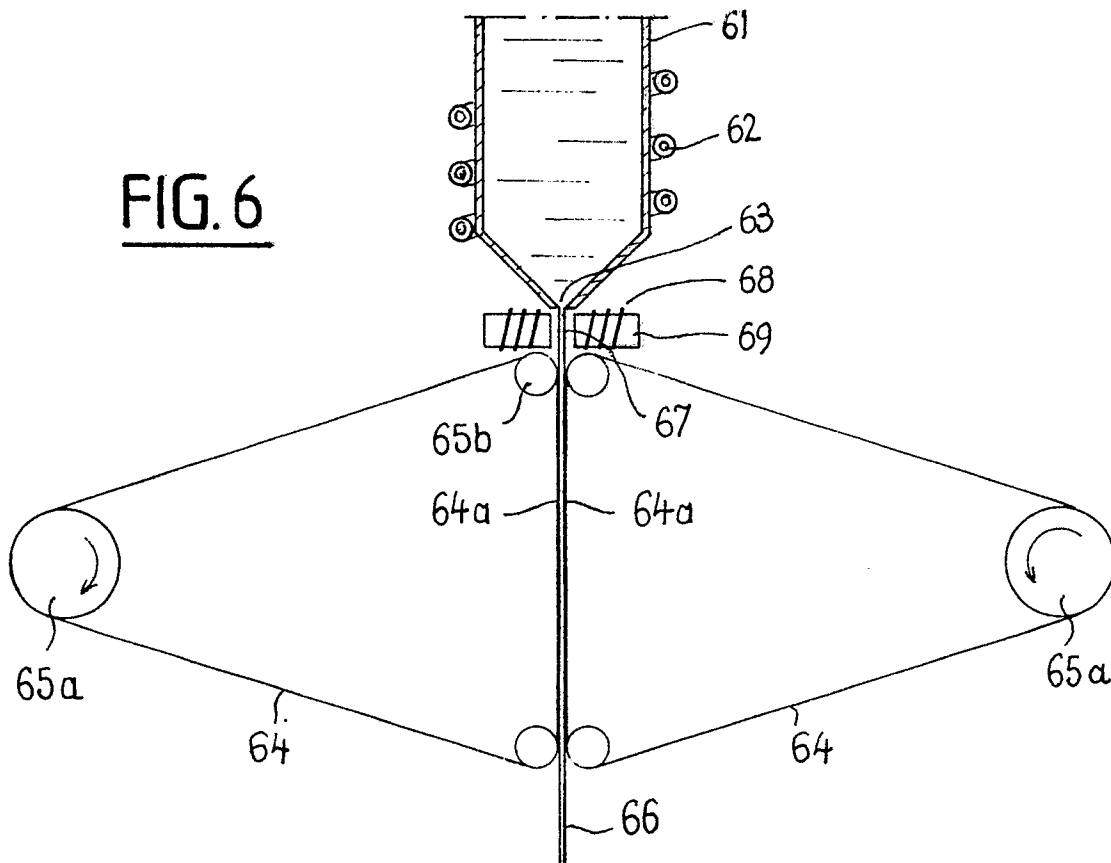
24. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 16 à 23, caractérisé en ce que les bobines (28) sont alimentées par un courant alternatif à haute fréquence, comprise entre 3 et 3.000 kHz environ.

25. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 15 à 24, caractérisé en ce que l'intensité du champ magnétique est comprise entre 1 et 1.000 millitesla environ.

26. Dispositif suivant la revendication 15, caractérisé en ce que les moyens de solidification comprennent un substrat mobile sur lequel on dépose le matériau sous forme de deux bandes sans fin (64) comportant deux
05 brins (64a) parallèles, en regard, délimitant entre eux un intervalle situé dans l'alignement de la buse (63) et de la lame (67) sortant de cette buse, les deux brins (64a) se déplaçant dans la même direction que ladite lame.

FIG. 1FIG. 2

FIG. 3AFIG. 3BFIG. 4

FIG. 5FIG. 7FIG. 6



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

8535
0153205
Numéro de la demande

EP 85 40 0063

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.4)
D, Y	FR-A-2 525 508 (CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE) * Page 1, lignes 6-9; page 3, lignes 23-27; page 4, lignes 21-32; page 5, lignes 17-21; page 6, lignes 23-35; page 7, ligne 28 - page 8, ligne 20 *	1, 2, 10 , 12, 14 , 15, 17 , 18, 22 , 24	B 22 D 11/06 B 22 D 27/02
Y	--- PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 7, no. 24, (M-189) [1169], 29 janvier 1983; & JP - A - 57 177 861 (NIPPON KOKAN K.K.) 01-11-1982	1, 4, 14 , 15	
A	--- FR-A-2 368 324 (ALLIED CHEMICAL CORP.) -----		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4) B 22 D 11/06 B 22 D 27/02
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 14-05-1985	Examineur SCHIMBERG J.F.M.
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			