



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : **92420186.6**

(51) Int. Cl.⁵ : **B22D 11/18, B22D 11/14**

(22) Date de dépôt : **04.06.92**

(30) Priorité : **07.06.91 FR 9107608**

(43) Date de publication de la demande :
09.12.92 Bulletin 92/50

(84) Etats contractants désignés :
AT BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI LU NL PT SE

(71) Demandeur : **ALUMINIUM PECHINEY**
Immeuble Balzac 10, place des Vosges La
Défense 5
F-92400 Courbevoie (FR)

(71) Demandeur : **PECHINEY RHENALU**
6, place de l'Iris Tour Manhattan LA DEFENSE
2
F-92400 COURBEVOIE (FR)

(72) Inventeur : **Moriceau, Jacques**
rue des Pervenches, "Les Voûtes", Coublevie
F-38500 Voiron (FR)

(74) Mandataire : **Jacquet, Michel et al**
PECHINEY 28, rue de Bonnel
F-69433 Lyon Cédex 03 (FR)

(54) **Procédé et appareillage pour la coulée automatique de demi-produits.**

(57) L'invention concerne un procédé et un dispositif pour la coulée continue ou semi-continue de plaques ou de billettes, en particulier en aluminium ou en alliage d'aluminium.

Le procédé consiste en une automatisation complète de la coulée, limitant l'intervention de l'opérateur, contrôlant le niveau de métal dans le chenal d'alimentation, imposant une loi des niveaux de métal en fonction du temps commune à l'ensemble des lingotières, après que des lois individuelles aient été appliquées à chacune des lingotières pour leur permettre de rallier cette loi commune, et commandant la descente du plateau support des faux-fonds et l'arrêt de la coulée lorsque la longueur programmée est atteinte.

Le dispositif comprend des capteurs pour la détection des hauteurs et niveaux de métal dans le chenal et les lingotières, un système d'automatismes pour la régulation des niveaux et la commande de différentes opérations : basculement du four, descente du plateau, arrêt de la coulée et des actionneurs pour la commande du débit de métal dans les lingotières.

L'invention, en limitant l'intervention humaine, apporte une meilleure sécurité. En permettant des conditions de coulée plus reproductibles, elle apporte une meilleure qualité des produits coulés.

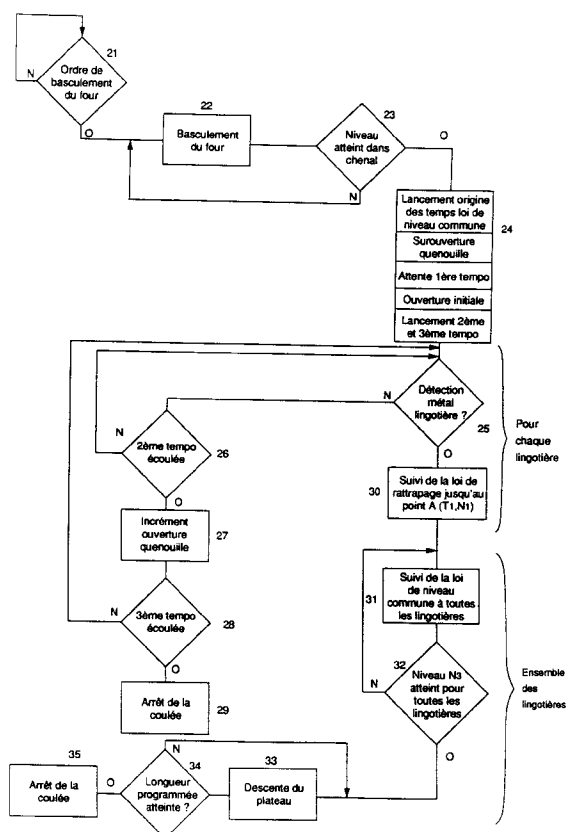


FIG. 3

1°) DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION.

L'invention, objet de la présente demande de brevet concerne la coulée continue ou semi-continue verticale de demi-produits métalliques.

Le principe de la coulée continue verticale est bien connu: il consiste à couler le métal liquide à l'intérieur d'un moule constitué par la partie déjà solidifiée du métal coulé. Un appareillage de coulée continue est constitué sous sa forme la plus simple (figure 1):

- d'un moule de coulée ou lingotière (1) de forme cylindrique ou prismatique droit selon la forme de la section du produit coulé: billette ou plaque. Cette lingotière a un axe de symétrie vertical et est ouverte à ses extrémités supérieure et inférieure;
- d'un faux-fond (2) obturant l'extrémité inférieure au démarrage et constituant ainsi le fond d'un moule dont la lingotière constitue les parois;
- d'un système de refroidissement de la lingotière, réalisé par exemple par une lame d'eau (3) frappant la partie supérieure externe de la lingotière et ruisselant le long de ses génératrices, puis le long du produit coulé;
- d'un plateau (4) supportant le faux-fond muni de moyens non représentés permettant sa descente à vitesse réglable et régulière;
- d'un chenal (5) d'alimentation en métal liquide, muni d'une ou plusieurs busettes (6) par où s'écoule le métal dans la lingotière;
- d'un flotteur (7) ayant pour fonctions d'une part de répartir le métal dans toute la section du produit et d'autre part de réguler la hauteur du métal dans la lingotière, la pastille du flotteur éventuellement munie d'un pointeau (8) venant obstruer partiellement la busette quand le niveau a tendance à monter.

Au démarrage, le plateau est en position haute et le faux-fond est engagé légèrement à l'intérieur de la lingotière avec un jeu tel que le métal liquide ne puisse s'y écouler. La lingotière est refroidie par la lame d'eau. On verse le métal liquide par le chenal (5) et la busette (6) dans le moule formé par la lingotière et le faux-fond. La solidification commence à partir des parois de la lingotière refroidie et du faux-fond. Lorsque une croûte suffisamment solide est ainsi formée, on commande la descente du plateau support des faux-fonds et l'on poursuit la coulée, la limite des phases solide et liquide appelée front de solidification ayant en coupe la forme approximative représentée sur la figure 1 en (9).

Il est ensuite possible:

- soit de poursuivre la coulée et de l'arrêter lorsque la longueur souhaitée de produit coulé est atteinte: c'est la coulée semi-continue, la seule appliquée aux alliages d'aluminium (appelée cependant le plus souvent "coulée continue")
- soit de poursuivre la coulée jusqu'à vidange

complète du four en sectionnant le produit coulé en longueurs successives souhaitées, après l'avoir éventuellement cintré pour le rendre horizontal: c'est la coulée continue au sens strict, appliquée à l'acier.

Pour des raisons de productivité, il est usuel, tout au moins dans la coulée de produits en aluminium de couler plusieurs produits à la fois: plusieurs lingotières sont disposées sur un chantier, plusieurs faux-fonds sur un plateau support et le chenal est muni de plusieurs busettes.

Le démarrage manuel d'une coulée sur un tel chantier à écoulements multiples présente plusieurs inconvénients à la fois quant à la qualité des produits et à la sécurité de l'opérateur. Les lingotières ne se remplissent pas à la même vitesse; or comme la descente des faux-fonds ne peut commencer que lorsqu'un même niveau de métal requis est atteint dans toutes les lingotières, l'opérateur est amené à intervenir manuellement pour retarder le remplissage des lingotières les plus "en avance" de façon à les amener toutes en même temps au niveau de démarrage. On conçoit que cette méthode qui nécessite une grande dextérité de la part de l'opérateur ne permet pas d'assurer une bonne reproductibilité des conditions de démarrage et est la source de défauts aux pieds des produits coulés pouvant entraîner le rebut du produit tout entier. En outre, elle expose l'opérateur, à proximité directe du chantier, aux projections de métal liquide, aux réactions explosives métal-eau plus fréquentes dans les conditions transitoires du démarrage.

2°) PROBLEME POSE.

Le problème que s'est posé la demanderesse est l'automatisation complète de la coulée semi-continue, permettant d'écarter l'opérateur de la proximité directe du chantier, cet opérateur n'intervenant que pour indiquer les paramètres de la coulée: nature de l'alliage, forme, dimension et nombre de produits coulés simultanément et pour déclencher la coulée par un ordre donné au système d'automatisme. Ce système pilotant la coulée comportera donc une base de données renfermant les conditions de coulée en fonction des alliages et des formats et leur évolution éventuelle au cours du temps.

3°) DESCRIPTION DE L'ART ANTERIEUR.

Le brevet GB 1449846 (CONCAST) publié le 15/9/1976 décrit un procédé de régulation de débit de métal dans une installation de coulée continue qui consiste à:

- mesurer le niveau de métal dans le moule,
- fournir un signal représentant ce niveau,
- générer un signal de référence représentatif du niveau de métal désiré,
- comparer le signal représentant le niveau avec

le signal de référence,

- générer un signal de sortie pour agir soit sur le débit de métal, soit sur la vitesse de descente du produit coulé.

L'enseignement de ce brevet ne permet pas de résoudre deux problèmes: celui de la régulation de la coulée continue à plusieurs écoulements et celui des conditions transitoires de remplissage des lingotières au démarrage.

Les brevets des Etats-Unis 4498521 et 4567935 (KAISER ALUMINUM & CHEMICAL) décrivent respectivement un procédé et un dispositif de coulée automatique. Le procédé résout les deux problèmes indiqués ci-dessus puisqu'il s'agit d'un procédé de régulation du niveau de métal dans une coulée continue verticale à plusieurs écoulements pendant le démarrage permettant d'amener les niveaux de métal dans les différentes lingotières dans un même plan horizontal avant la descente du plateau.

Ce procédé ne rend cependant pas complètement automatique l'ensemble de l'opération de coulée puisqu'il ne prend pas en charge le basculement du four. En outre, ainsi que cela sera expliqué plus loin, les lois de niveau des lingotières individuelles sont sensiblement parallèles, c'est-à-dire qu'elles rejoignent la loi commune des niveaux en des points différents. Dans la présente invention, chaque lingotière individuelle a sa propre loi de rattrapage de la loi commune, plus ou moins pentue selon le retard de niveau de la lingotière considérée et adaptée de telle sorte que la loi commune des niveaux soit rejointe au même instant.

Le brevet des Etats-Unis 4660586 (ALUMINUM COMPANY OF AMERICA) revendique un procédé de régulation d'un niveau de métal liquide coulé dans un récipient. Ce procédé comprenant les étapes suivantes:

- détection du niveau de métal liquide,
- comparaison du niveau détecté avec un niveau de référence pour déterminer l'écart,
- variation du débit de métal liquide à l'aide d'un moteur pas-à-pas, les pas du mouvement dudit moteur étant la somme d'un terme proportionnel à l'écart, d'un terme proportionnel à la dérivée de l'écart et d'un terme proportionnel à la dérivée seconde de l'écart.

L'enseignement de ce brevet est tout-à-fait général: il peut s'appliquer à la régulation de niveau d'un liquide quelconque dans un récipient quelconque et en particulier à la régulation du niveau de métal dans une lingotière. Mais il ne permet pas non plus la prise en charge automatique de toutes les phases successives intervenant dans le démarrage et la poursuite d'une opération de coulée continue.

4°) EXPOSE DE L'INVENTION.

L'invention concerne un procédé et un dispositif

permettant l'automatisation complète des phases successives intervenant dans le démarrage et la poursuite d'une opération de coulée continue à plusieurs écoulements de plaques ou de billettes en alliage métallique et en particulier d'alliage d'aluminium.

Deux principes de base ont présidé à la conception de l'invention:

- imposer des séquences de remplissage les plus simultanées possible de toutes les lingotières afin que cette phase se déroule dans les mêmes conditions pour tous les écoulements et que le démarrage de la descente du plateau ait lieu à un niveau de métal liquide voisin, prédéterminé et reproductible dans toutes les lingotières;
- éviter cependant d'avoir à fermer complètement l'alimentation en métal liquide dans une lingotière, cette fermeture complète provoquant des replis froids sur les pieds des produits, sources de criques.

Le procédé est caractérisé en ce qu'il comporte une phase préalable et cinq phases principales successives. L'opérateur déclenche la première phase préalable, puis la première phase principale. Les suivantes s'enchaînent automatiquement:

- 1) Phase préalable de détermination du point de fermeture et de prépositionnement des quenouilles, sortes de pointeaux servant au réglage du débit dans chaque lingotière, dont la description sera donnée plus loin.
- 2) Phase d'alimentation en métal par le four de coulée.
- 3) Phase d'alimentation forcée des lingotières.
- 4) Phase de "rattrapage" individuel du niveau de métal dans chaque lingotière au cours de laquelle on amène les lingotières à un niveau imposé commun.
- 5) Phase de suivi d'une loi de niveau commune à toutes les lingotières.
- 6) Phase de descente du plateau avec suivi d'une loi de niveau en fonction de la longueur coulée.

Chacune de ces phases comprend elle-même un certain nombre d'étapes successives décrites ci-après:

4.1 Phase préalable de détermination du point de fermeture et de prépositionnement des quenouilles.

Cette phase est lancée sur demande de l'opérateur, avant le début de la coulée.

Le système réalise d'abord une séquence automatique de recherche du point de fermeture de chacune des quenouilles. C'est un préalable indispensable à l'étape suivante, qui est le prépositionnement des quenouilles avant coulée et aux étapes de coulée proprement dites, où des positionnements à des ouvertures bien définies seront également comman-

dées.

Dans le cas général, le prépositionnement des quenouilles se fera à ouverture nulle. Dans une variante du procédé, décrite plus loin avec davantage de détails, ce prépositionnement se fait à une ouverture différente de zéro, et éventuellement particulière à chacun des écoulements.

4.2 Phase d'alimentation en métal par le four de coulée.

Cette phase est lancée sur demande de l'opérateur, et sous réserve que la phase 4.1 se soit favorablement conclue. Elle est la première des phases de la coulée automatique à laquelle les phases suivantes s'enchaînent sans autre intervention de l'opérateur.

Au cours de cette phase, se déroulent les étapes suivantes:

a) le basculement du four d'alimentation en métal liquide s'il est de type basculant ou l'ouverture de la quenouille obturant le trou de coulée s'il est fixe;

b) le remplissage du chenal alimentant les lingotières. Dans le cas général, les busettes disposées à la partie inférieure du chenal au dessus de chaque lingotière sont fermées par les quenouilles, de sorte que le métal remplisse le chenal sans s'écouler dans les lingotières.

Dans le cas particulier où les busettes ne sont pas fermées par les quenouilles, un barrage est disposé juste en amont de la busette qui est alimentée en premier, toujours pour que le métal remplisse le chenal sans s'écouler dans les lingotières.

Cette phase se termine quand le niveau de métal liquide dans le chenal a atteint une valeur prédéterminée.

4.3 Phase d'alimentation forcée.

Cette phase commence quand le niveau de métal liquide dans le chenal a atteint une valeur prédéterminée ou niveau seuil et se termine, pour chaque lingotière quand le détecteur de niveau dont il sera question plus loin détecte une certaine hauteur dh de métal sur le faux-fond. La fin de cette phase, et donc sa durée varient avec les lingotières.

L'obtention du niveau seuil dans le chenal déclenche les étapes suivantes:

c) à cet instant T_0 où le niveau seuil de métal liquide dans le chenal est atteint, positionnement des quenouilles alimentant les lingotières à une valeur d'ouverture dite d'ouverture initiale et déclenchement de l'origine des temps d'une loi de variation de niveau de métal N en fonction du temps, qui prendra effet un peu plus tard, et qui sera commune à toutes les lingotières: $N = f(T)$. Cette étape peut être modifiée par la variante sui-

vante: à l'instant T_0 où le niveau de métal liquide dans le chenal atteint une valeur prédéterminée, ouverture des quenouilles alimentant les lingotières à une position d'ouverture assez forte pour avoir un flux de métal élevé évitant les figeages, déclenchement de l'origine des temps de la future loi de variation de niveau de métal commune à toutes les lingotières, puis refermeture partielle des quenouilles jusqu'à la position dite d'ouverture initiale.

Dans le cas particulier où la phase précédente s'est déroulée quenouilles ouvertes, et où le métal a été contenu par un barrage, le déroulement de l'étape est le suivant: ouverture du barrage situé juste en amont de la première busette et déclenchement de l'origine du temps T_0 de la future loi de variation du niveau de métal $N = f(T)$.

Dans ce cas particulier, la variante précédente peut également être utilisée. Le prépositionnement des quenouilles s'effectue alors en position de surouverture, et une refermeture partielle à la position dite d'ouverture initiale intervient peu après l'ouverture du barrage.

d) maintien d'un niveau constant dans le chenal à l'aide de moyens de détection de ce niveau et d'un système de régulation agissant sur le basculement ou l'ouverture de la quenouille du four de maintien;

e) lorsque l'un quelconque des détecteurs de niveau de métal liquide installé au dessus de chaque lingotière détecte une hauteur de métal déterminée au-dessus du faux-fond dh , la phase d'alimentation forcée fait place à la phase de rattrapage pour cette lingotière alors qu'elle se poursuit pour les autres où cette hauteur dh n'a pas encore été détectée;

f) si la hauteur dh n'est pas atteinte, dans chaque lingotière, au bout d'une période de temporisation déterminée à partir du temps T_0 , ouverture de la quenouille par incréments successifs à partir de l'ouverture initiale

4.4) Phase de "rattrapage".

Cette phase est particulière à chaque lingotière: elle commence à des moments différents, mais se termine au même moment T_1 et à un même niveau N_1 situés sur la courbe $N = f(T)$.

Cette deuxième phase comporte les étapes suivantes:

g) Lorsque la phase d'alimentation forcée a pris fin pour une lingotière, mise en route d'une régulation de niveau dans cette lingotière, selon une loi de niveau croissante en fonction du temps pour amener ce niveau à une valeur N_1 déterminée à l'avance, la régulation agissant sur la position de la quenouille de la lingotière correspondante et cette loi de niveau étant linéaire entre le point de détection et le point N_1, T_1 ;

h) au fur et à mesure que la hauteur de métal dh est détecté dans les autres lingotières, mise en route de la régulation de niveau dans ces lingotières, selon une loi de niveau croissante en fonction du temps propre à chaque lingotière pour amener ce niveau à la même valeur N_1 et au même temps T_1 que ceux des autres lingotières, la régulation agissant toujours sur la position de la quenouille d'alimentation des lingotières, cette loi de niveau étant toujours linéaire entre le point de détection et le point N_1, T_1 ;

La phase de "rattrapage" prend fin au temps T_1 . Il n'est pas tenu compte, pour ce changement de phase, d'un retard éventuel d'une lingotière, car ce retard pourra se combler dans la phase suivante.

4.5) Phase de suivi d'une loi de niveau commune.

Cette phase comporte une seule étape:

i) à partir du temps T_1 , la régulation impose au niveau de métal dans l'ensemble des lingotières la loi de niveau commune $N = f(T)$. Cette loi peut présenter un changement de pente en T_2, N_2 ou même plusieurs.

La troisième phase se termine en T_3, N_3 (ou en T_n, N_n s'il y a plusieurs changements de pente dans la loi des niveaux) où commence la descente du plateau support des faux-fonds.

4.6) Phase de descente du plateau.

Cette phase comporte les étapes suivantes:

j) après contrôle des niveaux atteints et du temps écoulé, mise en route de la descente du plateau supportant les faux-fonds au temps T_3 , le niveau théorique étant N_3 , application d'une loi de vitesse de descente prédéterminée et régulation du niveau N dans chacune des lingotières selon la loi $N = f(L)$, L étant la longueur de produit coulé.

Une variante dont le détail et l'intérêt seront expliqués plus loin peut consister à démarrer la descente du plateau dès que, à l'intérieur d'un petit intervalle de temps avant T_3 , les niveaux se trouvent tous dans un petit intervalle autour de N_3 .

k) lorsque la longueur programmée de renvoi du four (inférieure à la longueur de produit coulé puisque le métal contenu dans le chenal permet encore de couler une certaine longueur) est atteinte, basculement arrière du four ou fermeture de la quenouille du four pour arrêter l'alimentation en métal, poursuite de la coulée grâce au métal contenu dans le chenal jusqu'à une baisse déterminée du niveau de métal dans les lingotières, relevage et inclinaison de la portion de chenal située au-dessus des lingotières pour évacuer, par l'ouverture ainsi créée le métal restant encore dans le chenal et arrêt de la descente du plateau.

Le choix du principe de régulation asservissant le niveau de métal dans la lingotière constitue également un des moyens de l'invention. On sait qu'il existe plusieurs principes:

- régulation à action proportionnelle. Le déplacement de la quenouille est alors simplement proportionnel à l'écart entre le niveau de métal détecté et sa valeur de consigne;
- régulation à action proportionnelle et intégrale. Le déplacement de la quenouille est la somme de deux termes: l'un proportionnel à l'écart entre le niveau de métal détecté et sa valeur de consigne et le deuxième proportionnel à l'intégrale de l'écart en fonction du temps;
- régulation à action proportionnelle, dérivée et intégrale. Le déplacement de la quenouille est la somme de trois termes: le premier proportionnel à l'écart, le deuxième proportionnel à la dérivée de l'écart en fonction du temps, le troisième proportionnel à l'intégrale de l'écart en fonction du temps.

La demanderesse a trouvé que le système le plus adéquat pour l'application considérée est le deuxième, à action proportionnelle et intégrale. Il est suffisamment rapide et sensible et évite, en particulier, les "pompages" et les instabilités.

Le dispositif correspondant comporte:

- a) un moyen d'alimentation en métal liquide à partir d'un four de maintien, par exemple un système de basculement ou de quenouille,
- b) un chenal alimentant les lingotières de coulée continue à l'aide d'orifices calibrés munis de moyens d'obturation totale ou partielle,
- c) des moyens de maintien d'un niveau constant dans le chenal comprenant un système de détection de ce niveau et un système de régulation agissant sur le basculement ou l'ouverture de la quenouille du four de maintien
- d) des moyens d'obturation totale ou partielle des orifices calibrés de chaque lingotière, comprenant chacun un pointeau appelé quenouille, et un actionneur de ce pointeau, capable de chercher automatiquement le point de fermeture de l'orifice,
- e) des détecteurs de niveau de métal liquide installés au dessus de chaque lingotière,
- f) un système de régulation asservissant le niveau de métal dans chaque lingotière d'abord à une loi de croissance déterminée propre à cette lingotière puis à une loi de croissance commune à toutes les lingotières, par commande de l'actionneur agissant sur la section de l'orifice d'alimentation de cette lingotière,
- g) un système détectant qu'un niveau déterminé N_3 est atteint dans l'ensemble des lingotières et commandant la descente du plateau supportant les faux-fonds obturant le fond des lingotières au démarrage selon une loi de vitesse prédétermi-

née,

h) un système détectant que la longueur programmée de renvoi du four est atteinte et commandant l'arrêt de l'alimentation du chenal à partir du four de coulée, l'arrêt de la descente du plateau, et le relevage et l'inclinaison de la portion de chenal située au-dessus des lingotières .

La description détaillée du procédé et du dispositif sera mieux comprise à l'aide des figures :

La figure 1 illustre, ainsi que nous l'avons indiqué plus haut le principe de la coulée continue de demi-produits telle qu'elle est pratiquée dans l'art antérieur.

La figure 2 et sa variante 2 bis représentent le système de régulation de niveau du métal utilisé dans l'invention.

La figure 3 représente l'organigramme des étapes successives d'une opération de coulée continue selon l'invention.

La figure 4 représente, en fonction du temps, et en trait plein, un exemple de loi de niveau imposée dans les lingotières et les niveaux réels atteints dans les différentes lingotières, au nombre de trois dans l'exemple considéré.

Les figures 5, 6 et 7 représentent la position des niveaux de métal au moment de la mise en route de la descente du plateau par rapport au niveau de consigne et les trois variantes de conditions à remplir pour déclencher cette mise en route.

La figure 8 représente une forme préférée de réalisation d'un capteur capacitif de niveau.

La figure 9 représente le schéma du pont de mesure utilisé pour la mesure du niveau.

Sur la figure 2, on peut voir que le système de régulation du niveau de métal comprend:

- un capteur de niveau (10) qui délivre un signal proportionnel au niveau du métal dans la lingotière,
- un régulateur (11) qui compare ce signal à une valeur de consigne représentant le niveau souhaité,
- un actionneur (12) qui peut déplacer verticalement la quenouille (13) en fonction de l'écart détecté par le régulateur,
- une quenouille (13) dont la partie inférieure, généralement tronconique, obture plus ou moins, en fonction de sa position, la section supérieure de la busette (14), agissant ainsi sur la débit de métal liquide arrivant par le chenal (15).

La quenouille (13), au lieu d'obturer la section supérieure de la busette, peut, en variante, obturer sa section inférieure. Une telle disposition est représentée sur la figure annexe 2bis. Dans ce cas, il n'est pas possible d'effectuer le remplissage du chenal avec les busettes fermées, car alors le métal fige entre busette et quenouille. La procédure utilisée est donc la variante décrite plus haut:

Avant coulée:

- prépositionnement des quenouilles à une ou-

verture non nulle (position dite d'ouverture initiale, ou, le cas échéant, de surouverture)

- fermeture d'un barrage situé juste en amont de la première busette;

Remplissage du chenal jusqu'à un niveau seuil;

Ouverture du barrage et lancement de l'origine des temps de la loi de niveau commune;

Poursuite du remplissage comme dans le cas général.

Sur l'organigramme de la figure 3, on a représenté, de façon traditionnelle, les étapes successives du procédé (hors phase préalable) par des rectangles et les étapes présentant une alternative fonction de la réalisation (O pour oui) ou non (N pour non) d'une condition extérieure par des losanges. Le texte à l'intérieur du rectangle indique l'opération considérée; celui à l'intérieur du losange formule la condition extérieure.

Le premier losange (21) à la partie supérieure du diagramme représente l'ordre de basculement du four. Tant qu'il n'est pas donné (N), le programme boucle sur lui-même.

S'il est donné (O), on passe au stade suivant: Basculement du four(22). Le métal liquide s'écoule dans le chenal et, les quenouilles d'alimentation des lingotières étant fermées, le niveau de métal monte dans ce chenal. Le détecteur de niveau placé dans le chenal compare en permanence le niveau réel avec un niveau de consigne(23). Si ce niveau n'est pas atteint (N), le basculement du four se poursuit. Dès qu'il est atteint, l'étape suivante se déclenche:(24)

Les quenouilles d'alimentation des lingotières s'ouvrent toutes à une position telle que le flux de métal liquide soit suffisant pour éviter les figeages intempestifs. A ce moment, on déclenche l'origine des temps de la loi de variation de niveau de métal dans la lingotière, commune à toutes les lingotières. Une telle loi est représentée sur la figure 4 et sera commentée plus loin. Puis, après un temps très court prédéterminé, les quenouilles se referment toutes partiellement à une ouverture initiale fixe. Il est aussi possible, ainsi que cela a été indiqué plus haut, de passer directement à l'ouverture initiale sans surouverture préalable.

A partir de cette étape, les opérations successives se déroulent de façon indépendante pour chaque lingotière. Le diagramme ne représente la suite des étapes que pour une seule lingotière mais il est le même pour chacune des autres.

Le losange (25) représente la comparaison de la hauteur de métal au dessus du faux-fond détectée dans la lingotière avec une valeur de consigne dh préalable, 3 mm par exemple. Si cette hauteur dh n'est pas atteinte dans un laps de temps déterminé, (26), une loi d'ouverture de la quenouille par incréments en fonction du temps (27) est alors lancée de façon à accélérer le remplissage des lingotières jusqu'à la va-

leur de consigne. Si, dans l'une quelconque des lingotières, malgré les incréments successifs d'ouverture de la quenouille, la hauteur de consigne n'est pas atteinte au bout d'une période déterminée (28), c'est qu'il y a eu un incident: la coulée est alors arrêtée (29). Dans le cas normal (25, O), le métal liquide a atteint la hauteur dh de consigne, mais pas au même instant dans chaque lingotière. Il s'agit d'amener toutes les lingotières au même moment, à un même niveau correspondant à la loi des niveaux en fonction du temps. A cet effet, le programme calcule pour chaque lingotière individuelle une loi particulière de rattrapage partant du point de détection et permettant aux niveaux de métal dans chaque lingotière de se raccorder sur la loi des niveaux, au point A (T_1, N_1) de la figure 4, par exemple (rectangle 30).

A partir de ce point A de la figure 4, la loi de niveau en fonction du temps est commune à toutes les lingotières et est représentée par cette même figure 4 (31). En (32), les détecteurs de niveau des lingotières comparent le niveau de métal détecté avec un niveau de consigne N_3 assigné pour la descente du plateau supportant les faux-fonds. Si ce niveau est atteint, la descente du plateau est commandée (33).

L'étape suivante consiste à comparer la longueur de produit coulé avec la longueur programmée (34). Si cette longueur est atteinte, la coulée est arrêtée (35). L'arrêt de la coulée comprend les opérations successives suivantes non représentées sur l'organigramme:

- basculement arrière du four ou fermeture de sa quenouille de coulée pour arrêter l'alimentation en métal liquide,
- poursuite de la coulée avec le métal contenu dans le chenal jusqu'à une baisse déterminée du niveau de métal dans les lingotières,
- relevage et inclinaison de la portion de chenal située au-dessus des lingotières et arrêt de la descente du plateau.

La figure 4 représente, en fonction du temps, le niveau de métal repéré par rapport à la lingotière, pour une installation de coulée continue, comprenant, pour des raisons de simplification trois écoulements a, b, c seulement. Mais la description s'applique de la même façon à une installation comprenant un nombre plus élevé d'écoulements.

Pour plus de clarté, nous avons représenté, à côté de l'axe vertical des niveaux, une demi-lingotière en coupe (40), les faux-fonds en position initiale (41, a, b, c) des trois lingotières et un niveau de métal à un instant donné (42). La loi des niveaux imposée, qui dépend de l'alliage et du format est représentée par la ligne A, B, C, D en trait plein. La hauteur dh est la hauteur minimale détectée à l'étape (25) de la figure 2. L'on constate que cette hauteur dh est atteinte successivement par le métal des lingotières c, a et b. Le programme calcule alors trois lois de niveaux linéaires de pentes différentes (représentées par des tirets), selon

le "retard" des lingotières et la position du faux-fond au départ et sur lesquelles la régulation individuelle de chacune des lingotières va se caler, de telle sorte que les niveaux de métal se retrouvent identiques au point A. Ensuite, de A à B, puis de B à C, les régulations individuelles de chacune des lingotières imposent à l'ensemble des niveaux, avec les fluctuations inhérentes à toute régulation, la loi commune prévue jusqu'au niveau N_3 qui commande la descente du plateau. Les niveaux réellement observés sont représentés par des lignes pointillées.

La descente est ainsi déclenchée par la réalisation simultanée de deux conditions:

- $T > T_3$
- pour toute lingotière n, $N_n = N_3$.

Dans la pratique, et en raison des fluctuations inhérentes à toute régulation, la deuxième condition peut conduire à arrêter complètement l'alimentation sur la lingotière la plus en avance pendant un temps relativement long. Cela est contraire au deuxième principe évoqué plus haut et peut conduire à des défauts au pied du produit coulé.

Cette situation est schématisée sur la figure 5, représentant dans un système d'axes temps-niveau la loi des niveaux en trait plein gras et en trait pointillé l'évolution des niveaux observés dans l'ensemble des lingotières limité dans cet exemple à trois: a, b et c. La lingotière a atteint le niveau N_3 au temps T_a , la lingotière b au temps T_b et la lingotière c au temps T_c . La descente du plateau ne commence donc qu'au temps T_c . La lingotière a reste non alimentée pendant une durée assez longue $T_c - T_a$, la lingotière b un peu moins. Cette attente est, de toute façon, préjudiciable à la qualité des produits.

Aussi, a-t-on imaginé deux variantes schématisées respectivement sur les figures 6 et 7.

Ces deux figures sont identiques à la figure 5. Elles représentent la même loi des niveaux et la même évolution des niveaux observés dans les trois lingotières a, b, c.

Sur la variante de la figure 6, au temps T_3 , seule la lingotière a a atteint le niveau N_3 ; son alimentation est coupée depuis le temps T_a . On compare alors les niveaux atteints au temps T_3 dans les deux autres lingotières avec le niveau de consigne N_3 . Si ces niveaux N_b et N_c sont dans une fourchette admissible prédéterminée, symétrique ou non autour de N_3 , alors la descente est déclenchée.

Cette variante a l'intérêt de limiter de façon considérable la période pendant laquelle la lingotière a, la plus en avance, cesse d'être alimentée.

Les conditions pour le début de la descente deviennent:

- $T > T_3$
- pour toute lingotière n, N_n dans une fourchette admissible autour de N_3

Dans la variante de la figure 7, la comparaison des niveaux N_b et N_c avec N_3 est faite non pas seule-

ment à partir de l'instant T_3 mais à partir d'un intervalle de temps prédéterminé dT avant T_3 . Dès lors que, à partir du temps $T_3 - dT$, l'ensemble des niveaux dans les trois lingotières sont à l'intérieur de la fourchette de niveau définie, la descente est déclenchée.

Les conditions pour le début de la descente deviennent:

$$- T > T_3 - dT$$

- pour toute lingotière n , N_n dans une fourchette admissible autour de N_3

Le fonctionnement de l'invention qui vient d'être décrite implique:

- des mesures de niveau précises et fiables,
- des moyens de positionnement précis de chacune des quenouilles relativement à chacune des busettes.

Selon l'invention, on utilise de préférence:

- un capteur capacitif de niveau du métal,
- un actionneur intégrant un dispositif de détection du point de fermeture de la busette.

Le principe du capteur capacitif est le suivant:

On réalise un condensateur plan dont l'une des armatures est un disque métallique et l'autre la surface supérieure du métal liquide. On sait que la capacité d'un condensateur plan C est égale au produit de la surface de l'armature par la constante diélectrique du milieu séparant les armatures divisé par la distance entre les armatures. La mesure de la capacité du condensateur est une mesure indirecte de la distance entre les deux armatures et donc du niveau du métal.

Pratiquement, on opère schématiquement de la façon suivante, telle que représentée sur les figures 8 et 9.

La figure 8 représente le capteur lui-même, en place au dessus de la surface supérieure du métal liquide dans une lingotière.

La figure 9 représente le schéma du pont de mesure de la capacité du condensateur ainsi constitué.

Sur la figure 8, le niveau de métal liquide, représenté par le repère (50) constitue une des armatures du condensateur. La deuxième armature (51) fait partie du capteur proprement dit. Une troisième armature (52), disposée à une distance fixe et au-dessus de l'armature (51), constitue, avec cette dernière un deuxième condensateur dont la capacité servira de référence dans le pont de mesure dont il sera question ci-après. A titre d'exemple, la distance e entre le niveau de métal liquide et l'armature (51) est de 18 mm à l'équilibre de même que la distance entre les deux armatures (51) et (52).

La capacité du condensateur C_x formé par les armatures (50) et (51) est comparée en permanence à la capacité de référence C_r du condensateur formé des armatures (51) et (52) à l'aide d'un pont de mesure dont le schéma est représenté sur la figure 9. Le pont comprend 4 branches reliées entre elles par 4 sommets (53), (54), (55), (56). Les branches (53)-(54) et (54)-(55) sont alimentées en courant alternatif sinu-

soïdal par l'intermédiaire de deux transformateurs identiques (57) et (58) dont les primaires sont reliés en série à une source de courant haute fréquence (80 khz par exemple). Dans la branche (55)-(56), on place le condensateur C_x et dans la branche (56)-(53), le condensateur de référence C_r . Le sommet (55) correspondant à l'armature constituée par le métal liquide de C_x est relié à la terre. Cela est aisément réalisé par l'intermédiaire du plateau métallique supportant le faux-fond sur lequel repose le produit coulé. Les sommets opposés (54) et (56) sont reliés entre eux par l'intermédiaire d'un transformateur (59) à un détecteur de courant (60). Lorsque la distance entre les armatures (50) et (51) de C_x est égale à une valeur de référence, de 18 mm par exemple, les capacités de C_x et de C_r sont égales, le pont est équilibré et aucun courant ne traverse le détecteur (60). Lorsque cette distance diminue ou augmente, le pont est déséquilibré et le détecteur est traversé par un courant. Un système électronique envoie alors un ordre à un servomoteur qui fait monter ou descendre le capteur de façon à le ramener à une distance du métal liquide égale à la valeur de référence de 18 mm par exemple. La recopie des déplacements successifs du capteur permet de générer à chaque instant un signal correspondant au niveau de métal liquide dans la lingotière.

Un tel dispositif est placé au-dessus du métal liquide dans chaque lingotière et permet de mesurer et de réguler le niveau du métal.

L'actionneur se caractérise essentiellement par son dispositif de détection du point de fermeture de la busette. Selon l'invention, l'actionneur est, de préférence, constitué principalement d'un ensemble motoréducteur électrique avec asservissement précis de la position de la tige. La tige est creuse et comporte à l'intérieur un axe capable de coulisser de quelques mm. Cet axe est maintenu sorti par un dispositif de type ressort. C'est à cet axe que l'on fixe la quenouille.

Lorsque la tige se déplace dans le sens "sortie", si la quenouille rencontre un obstacle sur sa trajectoire, le ressort est enfoncé, l'axe coulisse dans la tige et vient actionner un fin de course.

Grâce à ce dispositif de détection, on peut déterminer par une procédure automatique le point de fermeture des busettes. Ce point correspond à la position de sortie minimale de la tige permettant d'actionner le fin de course, corrigé de la course parcourue par l'axe pour enfoncer le ressort et actionner le fin de course.

La position d'ouverture de la quenouille est ensuite déterminée à partir de ce point de référence.

5°) EXEMPLE.

Le dispositif décrit ci-dessus a été monté sur un chantier de coulée continue destiné à la coulée simultanée de 5 plaques de format 1360 mm par 610 mm en alliage d'aluminium 5052 (Norme Aluminium Asso-

ciation). Les lingotières sont disposées parallèles entre elles et transversalement par rapport à l'axe du chenal d'alimentation.

Leur hauteur est de 115 mm. La valeur de consigne pour dh est de 3 mm au dessus du faux-fond à double courbure. La valeur de consigne pour N_3 est de 48 mm en-dessous du niveau supérieur de la lingotière. La vitesse de descente est de 42 mm/minute. Ces paramètres ont été introduits dans le système d'automatismes.

Un premier ordre a lancé l'étape préalable de recherche des points de fermeture. Selon les écoulements, ces points se sont trouvés être situés entre 18 et 29 mm de la course des actionneurs qui est de 100 mm (0 mm = tige complètement sortie). A la fin de cette étape, les actionneurs ont placé les quenouilles à leur point de fermeture.

Un deuxième ordre a lancé la coulée proprement dite. A la fin de l'étape de remplissage du chenal, l'obtention du niveau seuil a déclenché l'ouverture des quenouilles 7 mm au-dessus du point de fermeture.

La première lingotière à arriver à la hauteur dh l'a atteint 18 secondes après l'ouverture des quenouilles, la dernière 25 secondes après cette ouverture.

Toutes les lingotières ont rallié le niveau N_1 au temps de consigne $T_1 = 40$ s, en suivant des lois de consigne particulières.

Le niveau N_3 a été atteint par l'ensemble des lingotières 85 secondes après l'ouverture des quenouilles, moment auquel le plateau support des faux-fonds a commencé sa descente.

Revendications

1 Procédé pour le démarrage et la poursuite de la coulée automatique à plusieurs écoulements sur un chantier de coulée continue de plaques ou de billettes en alliage métallique et en particulier d'alliage d'aluminium caractérisé en ce qu'il comporte une phase préalable, déclenchée par une première commande et une succession de cinq phases principales, déclenchées par une deuxième commande, qui réalisent les étapes suivantes:

1) Durant la phase préalable:

Recherche automatique des points de fermeture par leurs quenouilles respectives des buses alimentant les lingotières depuis le chenal situé au-dessus de celles-ci, et prépositionnement des quenouilles,

2) Durant la phase d'alimentation en métal par le four de coulée.

a) basculement ou ouverture de la quenouille obturant le trou de coulée du four d'alimentation en métal liquide,

b) remplissage du chenal alimentant les lingotières, le métal étant empêché de s'écouler vers celles-ci par un ou des dispositifs appro-

priés,

2) Durant la phase d'alimentation forcée.

c) à l'instant T_0 où le niveau de métal liquide dans le chenal atteint une valeur prédéterminée, ouverture du ou des dispositifs empêchant le métal de s'écouler dans les lingotières, positionnement des quenouilles à une valeur d'ouverture dite ouverture initiale et déclenchement de l'origine des temps d'une loi de variation de niveau de métal N en fonction du temps qui prendra effet dans les étapes ultérieures et qui sera commune à toutes les lingotières : $N = f(T)$,

d) maintien d'un niveau constant dans le chenal à l'aide de moyens de détection de ce niveau et d'un système de régulation agissant sur le basculement ou l'ouverture de la quenouille du four de maintien;

e) chaque fois que le détecteur de métal liquide installé au dessus de chaque lingotière détecte une hauteur de métal déterminée dh au-dessus du faux-fond d'une lingotière particulière, passage pour cette lingotière à l'étape g décrite ci-après,

f) si la hauteur dh n'est pas atteinte, dans chaque lingotière, au bout d'une période de temporisation déterminée à partir du temps T_0 , ouverture de la quenouille par incréments successifs à partir de l'ouverture initiale

4) Durant la phase de rattrapage.

g) Lorsque la hauteur dh a été détectée dans une lingotière, mise en route d'une régulation de niveau dans cette lingotière, selon une loi de niveau croissante en fonction du temps et linéaire entre le point de détection et le point (N_1, T_1) pour amener ce niveau à une valeur N_1 déterminée à l'avance, la régulation agissant sur la position de la quenouille de la lingotière correspondante,

h) au fur et à mesure que la hauteur de métal dh est détectée dans les autres lingotières, mise en route de la régulation de niveau dans ces lingotières, selon une loi de niveau croissante en fonction du temps propre à chaque lingotière pour amener ce niveau à la même valeur N_1 et au même temps T_1 que ceux des autres lingotières, la régulation agissant toujours sur la position de la quenouille d'alimentation des lingotières,

5) Durant la phase de suivi d'une loi de niveau commune

i) à partir du temps T_1 , asservissement du niveau de métal dans l'ensemble des lingotières à la loi de niveau commune $N = f(T)$, cette loi pouvant présenter un changement de pente en T_2, N_2 ou même plusieurs,

6) Durant la phase de descente du plateau.

j) au temps T_3 , et après contrôle des niveaux par rapport au niveau théorique N_3 , mise en route de la descente du plateau supportant les faux-fonds, application d'une loi de vitesse de descente prédéterminée et régulation du niveau N dans chacune des lingotières selon une nouvelle loi $N = f(L) = f(\text{longueur coulée})$,

k) lorsque la longueur du produit coulé atteint une valeur programmée, basculement arrière du four ou fermeture de la quenouille du four pour arrêter l'alimentation en métal, poursuite de la coulée avec le métal contenu dans le chenal jusqu'à une baisse déterminée du niveau de métal dans les lingotières, relevage et inclinaison de la portion de chenal située au-dessus des lingotières et arrêt de la descente du plateau.

2 Procédé de démarrage et de coulée selon la revendication 1 caractérisé en ce que:

- les quenouilles obturent les busettes au niveau de leur section supérieure,
- le dispositif utilisé pour empêcher le métal de s'écouler vers les lingotières pendant l'étape de remplissage du chenal est constitué par l'ensemble des quenouilles, positionnées au point de fermeture lors de l'étape préalable.

3 Procédé de démarrage et de coulée selon la revendication 1 caractérisé en ce que:

- les quenouilles obturent les busettes au niveau de leur section inférieure,
- le dispositif utilisé pour empêcher le métal de s'écouler vers les lingotières pendant l'étape de remplissage du chenal est constitué par un barrage disposé juste en amont de la première busette,
- les quenouilles sont déjà prépositionnées à la valeur dite d'ouverture initiale pendant l'étape préalable.

4 Procédé de démarrage et de coulée selon l'une des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que, au cours de l'étape c, lorsque le niveau de métal liquide dans le chenal atteint une valeur prédéterminée, on ouvre les quenouilles ou on les maintient, si elles sont déjà ouvertes, à une position d'ouverture assez forte pour avoir un flux de métal élevé évitant les figeages, on déclenche une loi de variation de niveau de métal commune à toutes les lingotières $N = f(T)$, puis on referme partiellement les quenouilles jusqu'à la position dite d'ouverture initiale.

5 Procédé selon l'une des revendications 1 à 4 caractérisé en ce que la descente du plateau commence dès que les deux conditions suivantes sont réalisées:

- $T > T_3$
- pour toute lingotière n , N_n dans une fourchette admissible autour de N_3

6 Procédé selon l'une des revendications 1 à 4 caractérisé en ce que la descente du plateau commence dès que les deux conditions suivantes sont réalisées:

- $T > T_3 - dT$, dT étant un intervalle de temps prédéterminé
- pour toute lingotière n , N_n dans une fourchette admissible autour de N_3

7 Procédé selon l'une des revendications 1 à 6 caractérisé en ce que les régulations de niveau sont à action proportionnelle et intégrale.

8 Dispositif pour le démarrage et la poursuite de la coulée automatique à plusieurs écoulements sur un chantier de coulée continue de plaques ou de billettes en alliage métallique et en particulier d'alliage d'aluminium caractérisé en ce qu'il comporte:

- a) un moyen d'alimentation en métal liquide à partir d'un four de maintien, par exemple un système de basculement ou de quenouille,
- b) un chenal alimentant les lingotières de coulée continue à l'aide de busettes et de quenouilles,
- c) des moyens de maintien d'un niveau constant dans le chenal comprenant un système de détection de ce niveau et un système de régulation agissant sur le basculement ou la position de la quenouille du four de maintien,
- d) des moyens d'obturation totale ou partielle des orifices calibrés de chaque lingotière, comprenant chacun un pointeau appelé quenouille, et un actionneur de ce pointeau, capable de chercher automatiquement le point de fermeture de l'orifice,
- e) des capteurs de niveau de métal liquide installés au dessus de chaque lingotière,
- f) un système de régulation asservissant le niveau de métal dans chaque lingotière à une loi de croissance déterminée propre à cette lingotière, par commande de l'actionneur agissant sur la section de l'orifice d'alimentation de cette lingotière,
- g) un système détectant qu'un niveau déterminé N_3 est atteint dans l'ensemble des lingotières et commandant la descente du plateau supportant les faux-fonds obturant le fond des lingotières au démarrage selon une loi de vitesse prédéterminée,
- h) un système détectant que la longueur programmée du produit coulé est atteinte et commandant l'arrêt de la descente du plateau, la fermeture complète des moyens d'obturation des orifices d'alimentation des lingotières et l'arrêt de l'alimentation du chenal de coulée à partir du four de coulée.

9 Dispositif selon la revendication 8 caractérisé en ce que l'actionneur de la quenouille est un moto-réducteur électrique avec asservissement de position comportant:

- une tige creuse,

- un axe à l'intérieur de cette tige, capable de coulisser de quelques mm, à l'extrémité duquel est fixée la quenouille, et qui est maintenu sorti par un système de type ressort,
- un fin de course, actionné par l'axe coulissant quand celui-ci, contrariant la poussée du ressort, est repoussé à l'intérieur de la tige.

5

10 Dispositif selon l'une des revendications 8 ou 9 caractérisé en ce que le système de détection du niveau de métal liquide dans les lingotières est un capteur capacitif de niveau constitué:

10

- d'un condensateur plan dont une première armature est la surface supérieure du métal dans la lingotière et la deuxième une plaque parallèle à cette surface et à une certaine distance de cette surface,
- d'un pont de mesure comparant la capacité de ce condensateur plan à une capacité fixe de référence,
- d'un servomoteur asservi au pont de mesure capable de déplacer la deuxième armature vers le haut ou vers le bas pour maintenir constante la capacité entre la deuxième armature et la surface du métal,
- d'un système produisant un signal proportionnel au déplacement de la deuxième armature.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

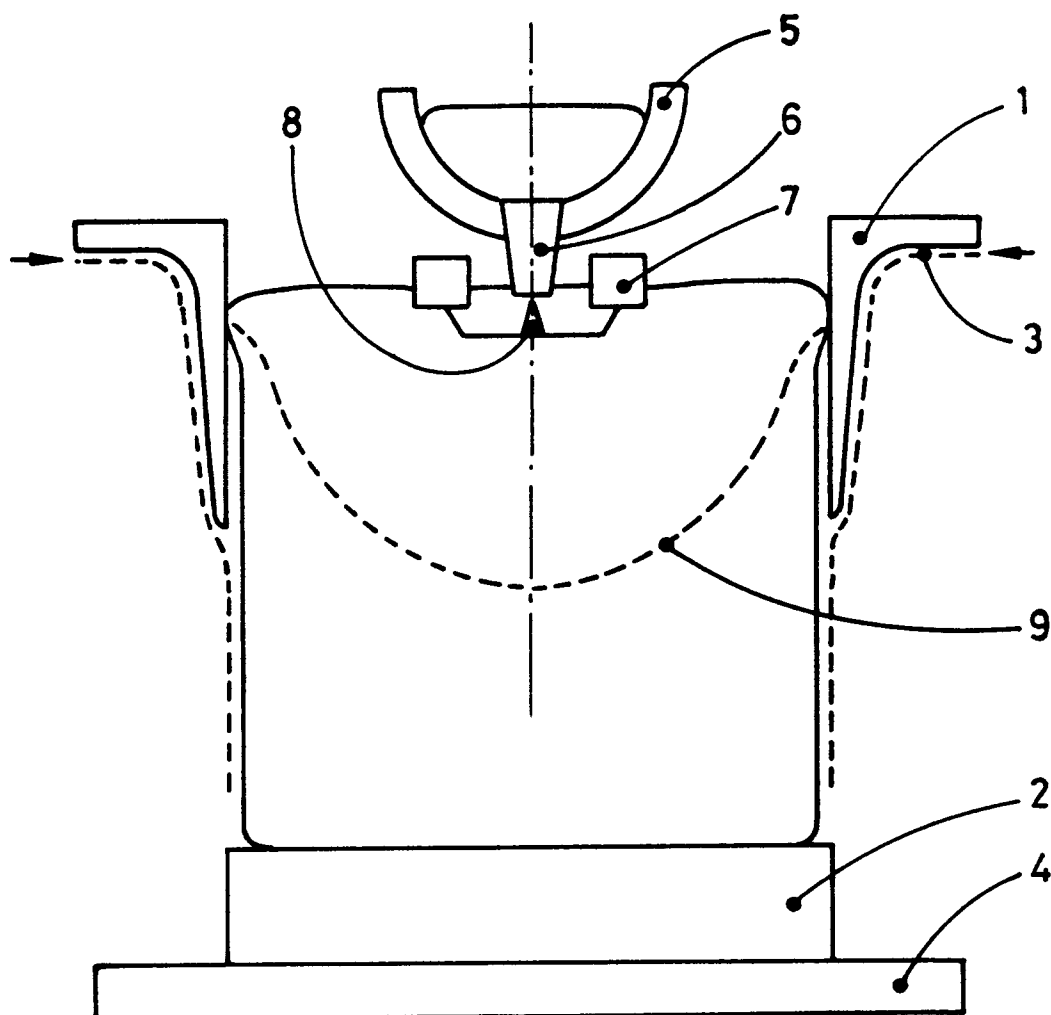


FIG. 1

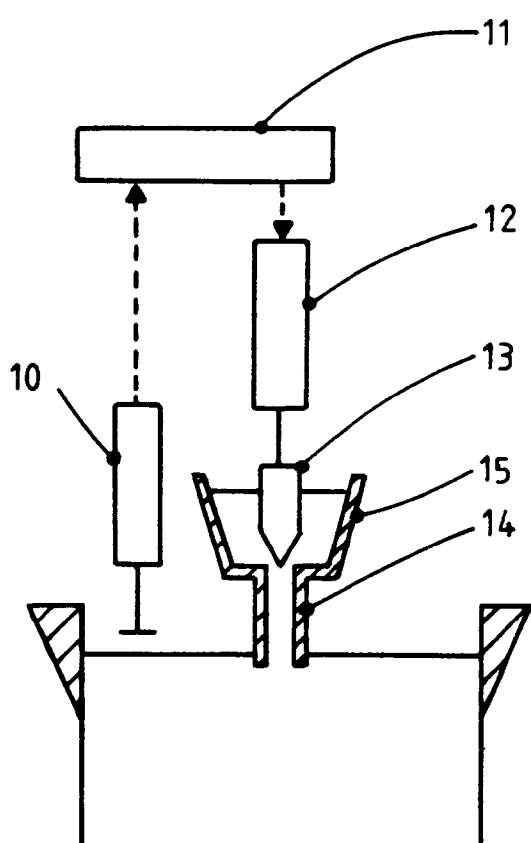


FIG. 2

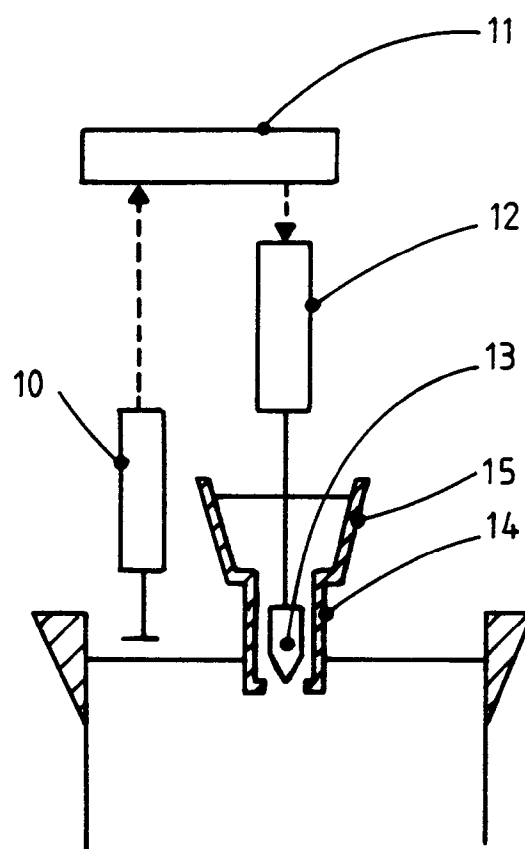
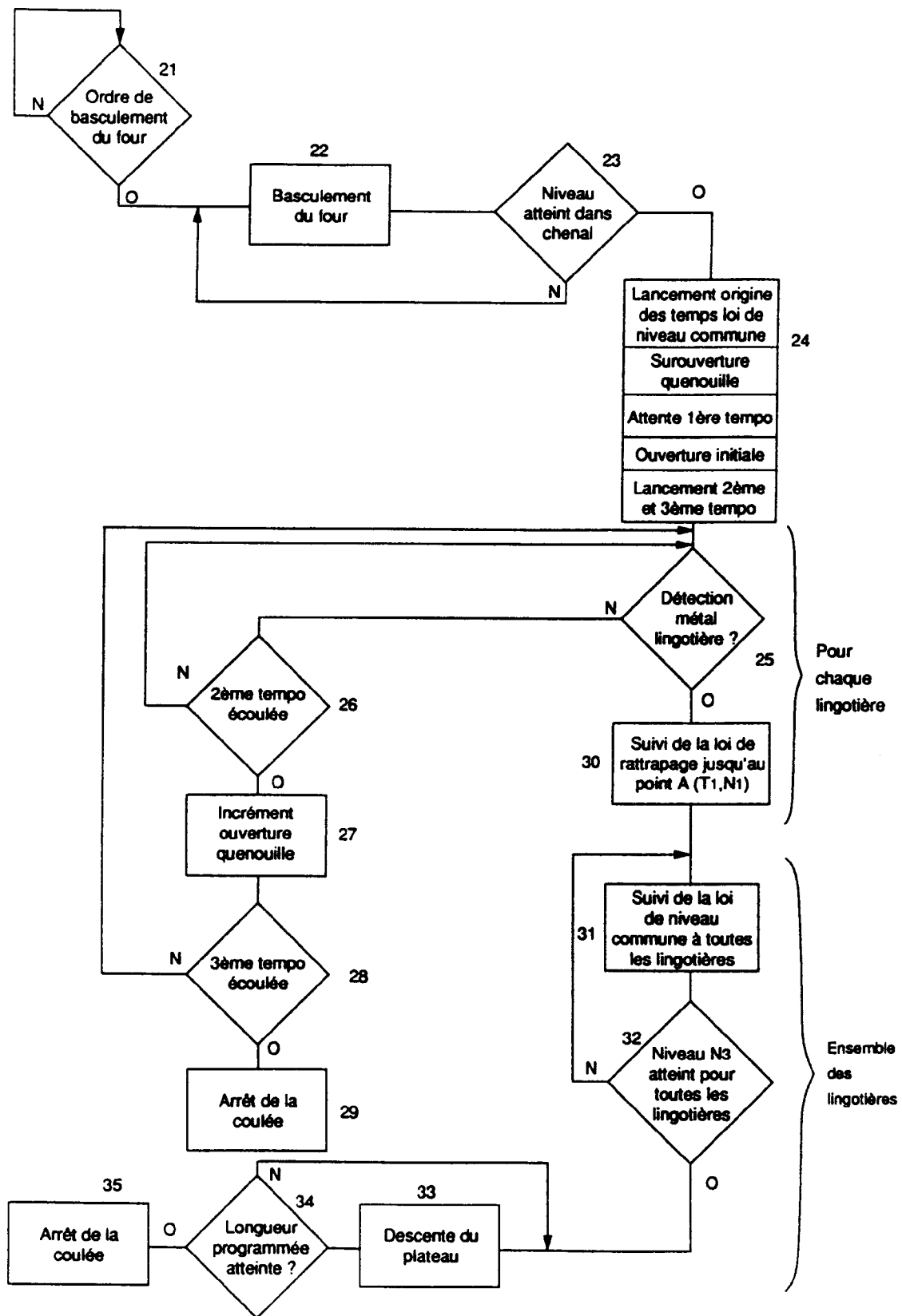


FIG. 2 bis



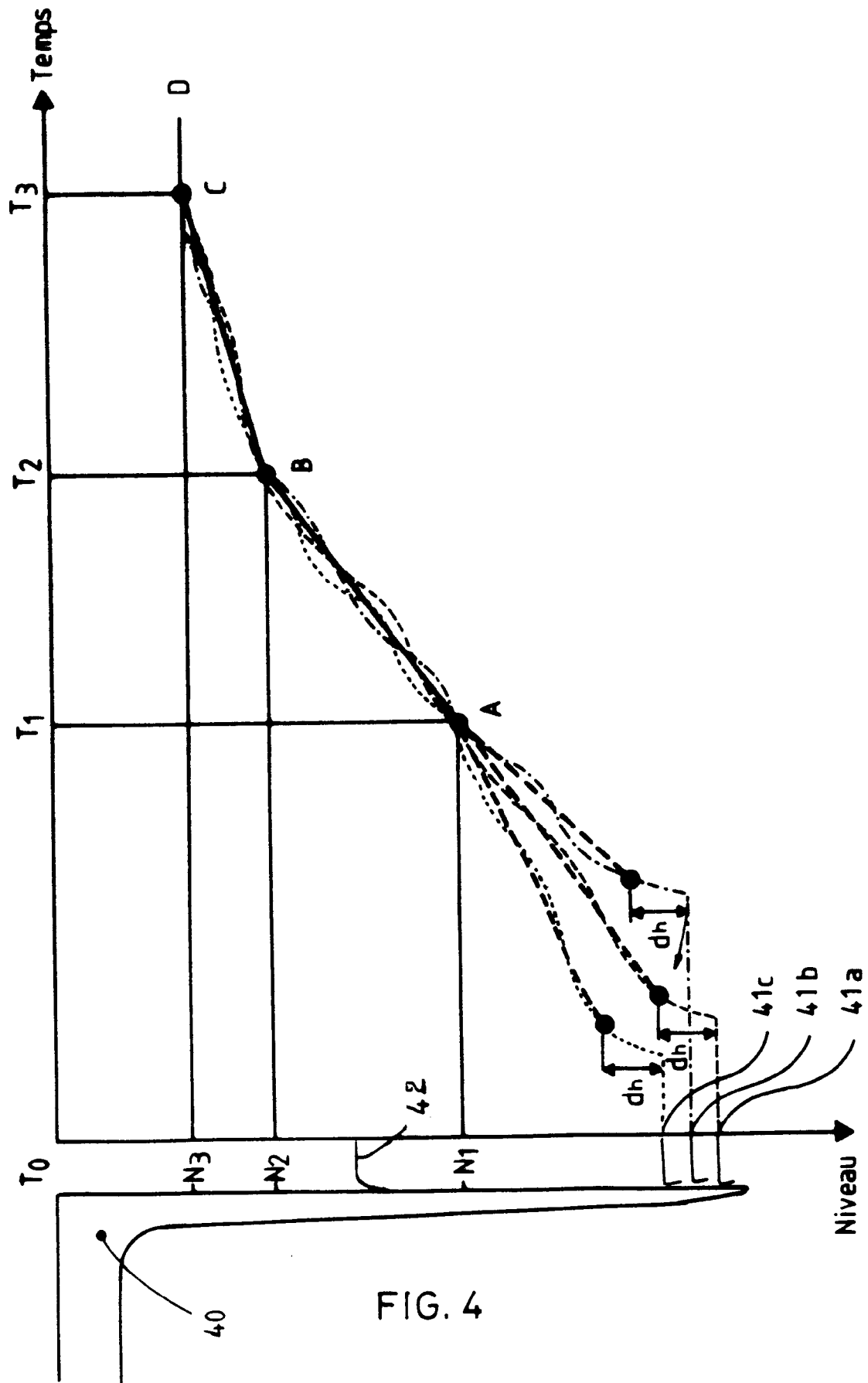


FIG. 4

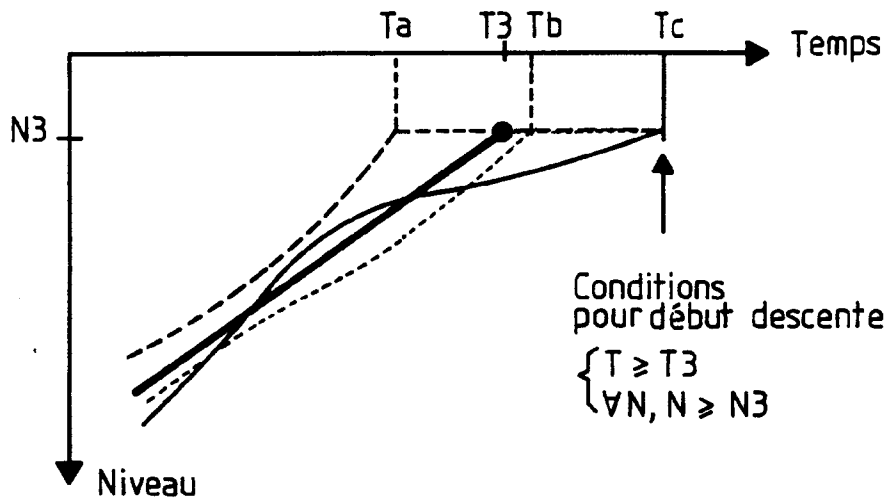


FIG. 5

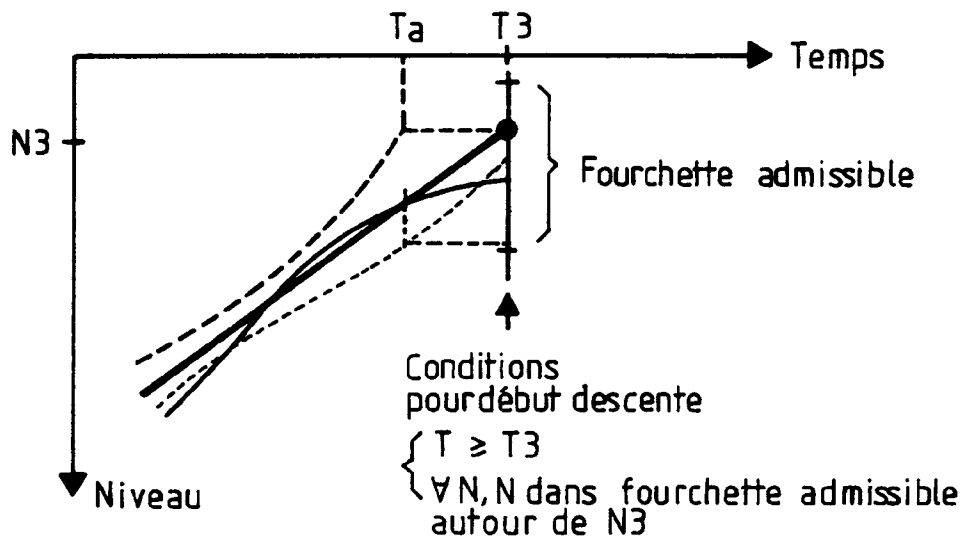


FIG. 6

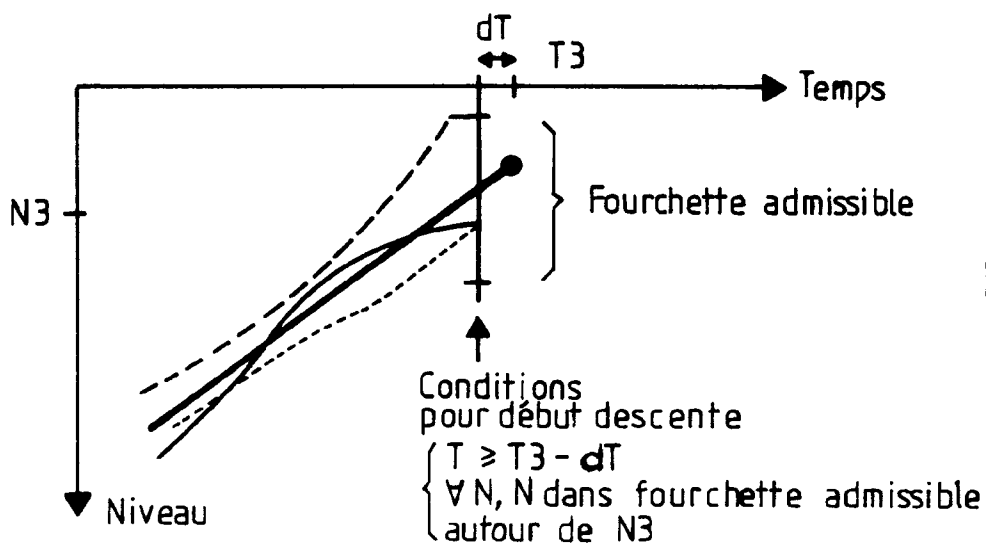


FIG. 7

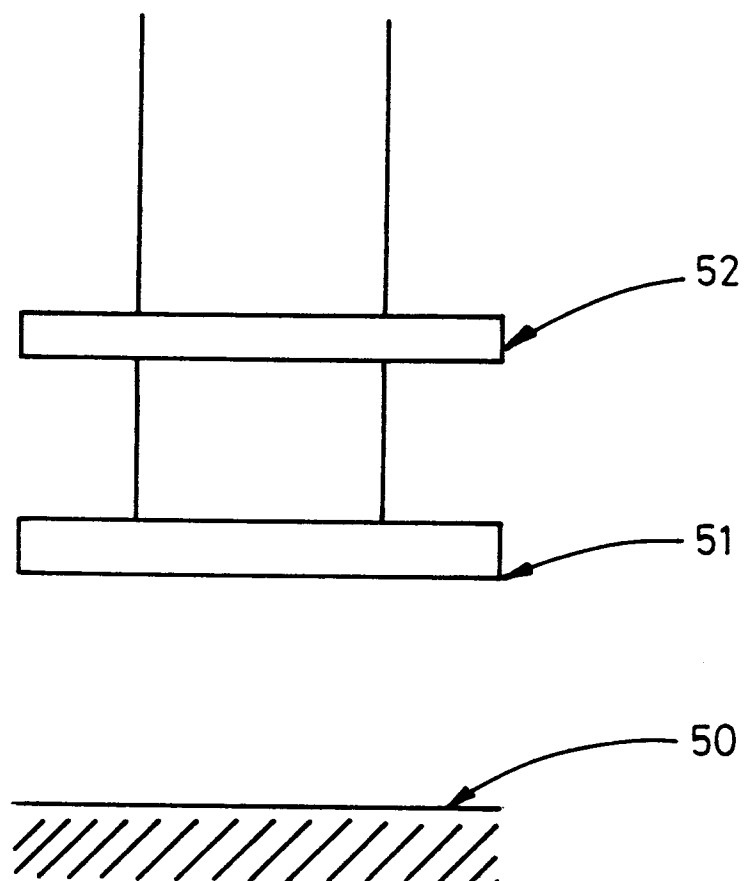


FIG. 8

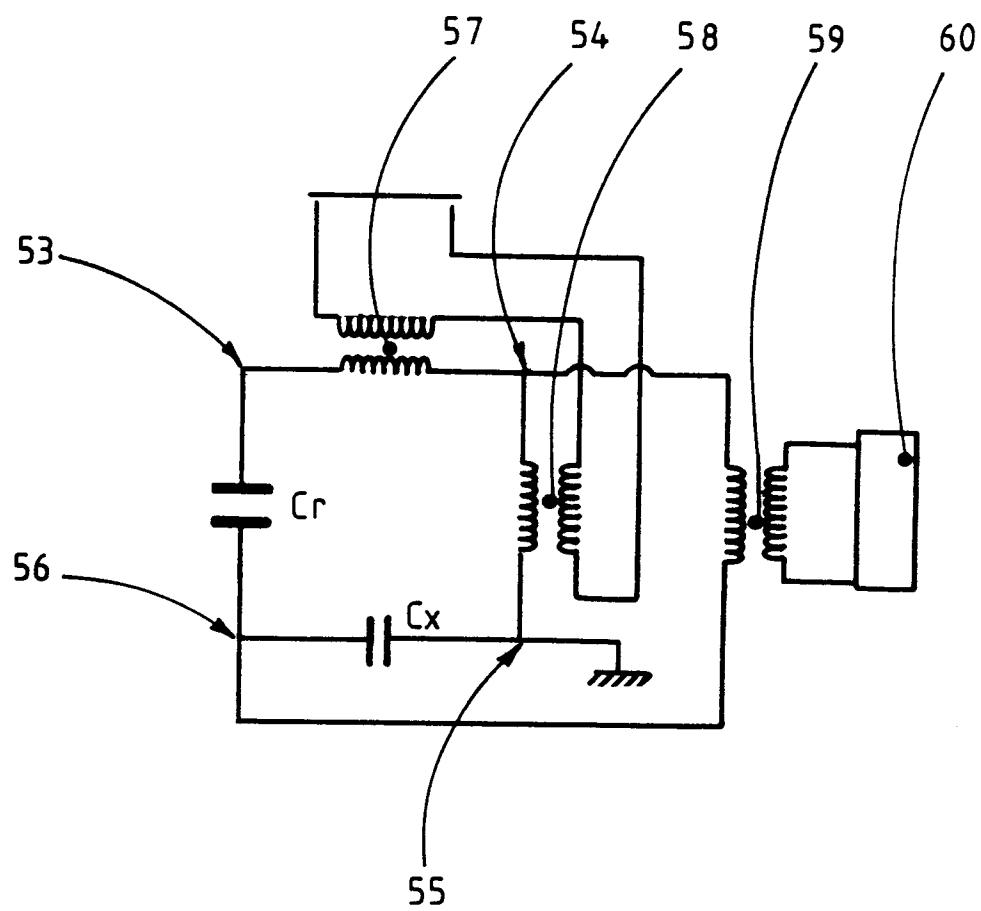


FIG. 9



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 92 42 0186

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.5)
D,A	FR-A-2 202 744 (CONCAST) * revendications *	1-8	B22D11/18 B22D11/14
D,A	EP-A-0 186 116 (ALUMINIUM CO. OF AMERICA) * abrégé; figure 1 *	1-8	
D,A	GB-A-2 099 189 (KAISER ALUMINIUM) * revendications *	1-8	
A	EP-A-0 233 078 (METACON) * revendications; figures 1-3 *	1-8	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12, no. 247 (M-717)(3094) 13 Juillet 1988 & JP-A-63 033 153 (SUMITOMO LIGHT METAL IND. LTD.) 12 Février 1988 * abrégé *	1-8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
			B22D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 10 SEPTEMBRE 1992	Examineur HODIAMONT S.
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 03.92 (P0402)