



(22) Date de dépôt/Filing Date: 1997/10/27

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 1998/05/07

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2006/03/14

(30) Priorité/Priority: 1996/11/07 (96 13777) FR

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B22D 11/16* (2006.01)

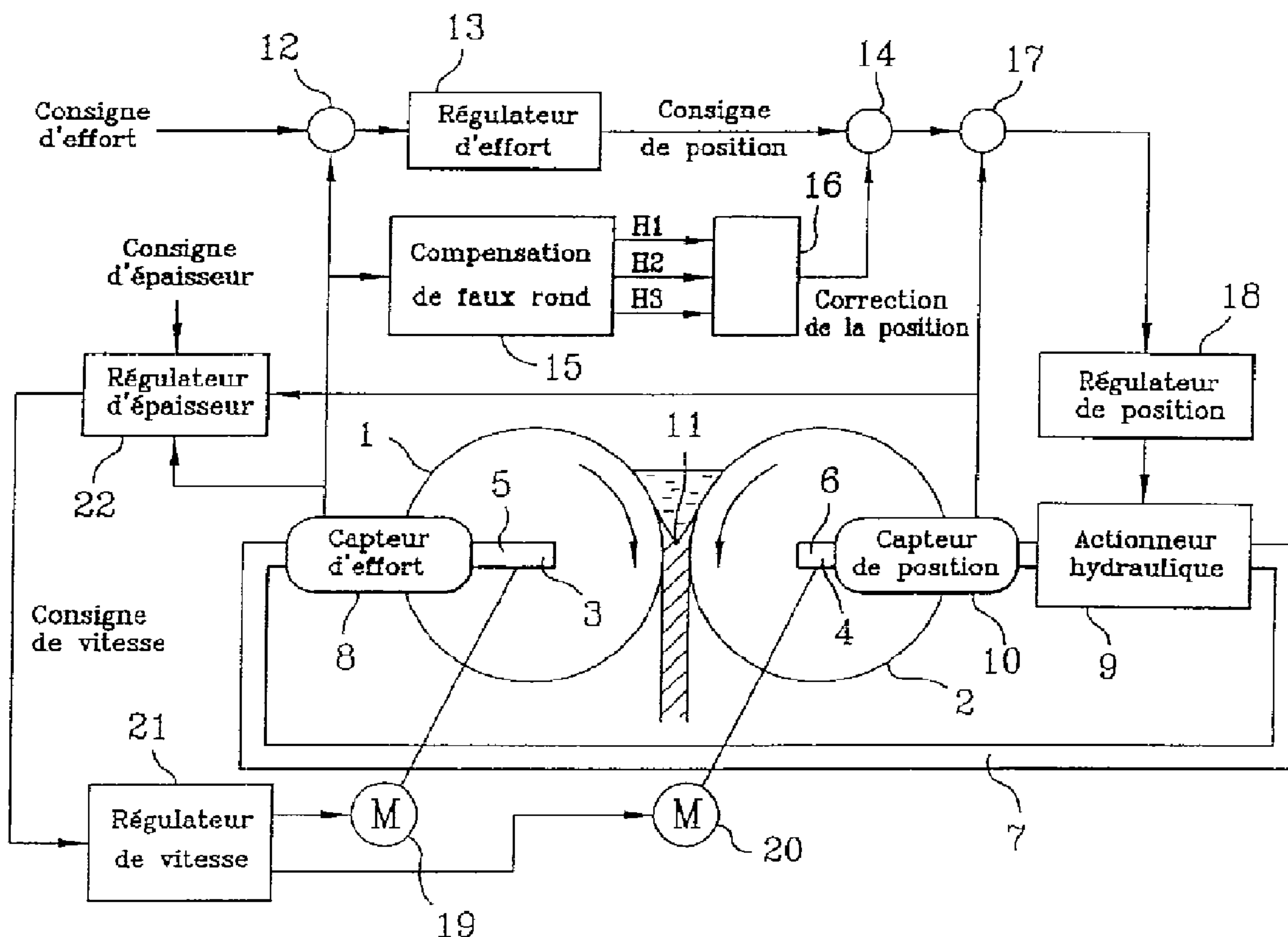
(72) Inventeurs/Inventors:
DAMASSE, JEAN-MICHEL, FR;
SALVADO, OLIVIER, FR

(73) Propriétaires/Owners:
USINOR, FR;
THYSSEN STAHL AKTIENGESELLSCHAFT, DE

(74) Agent: OGILVY RENAULT LLP/S.E.N.C.R.L.,S.R.L.

(54) Titre : PROCÉDE DE COULEE CONTINUE ENTRE DEUX CYLINDRES

(54) Title: PROCESS FOR CONTINUOUS CASTING BETWEEN TWO ROLLS



(57) Abrégé/Abstract:

Procédé de détection de défauts lors d'une coulée continue entre cylindres selon lequel, au cours de la coulée, on mesure un signal dépendant de l'effort d'écartement des cylindres (RSF), on sépare ledit signal en différentes composantes harmoniques, le résultat de la comparaison des composantes harmoniques ainsi obtenues avec des harmoniques de référence étant représentative d'un état de défauts des cylindres, cet état de défauts des cylindres permettant de définir différentes régler de conduite du procédé. Application notamment à la coulée continue entre cylindres de bandes minces en acier.

ABREGE

Procédé de détection de défauts lors d'une coulée
continue entre cylindres

Procédé de détection de défauts lors d'une coulée continue entre cylindres selon lequel, au cours de la coulée, on mesure un signal dépendant de l'effort d'écartement des cylindres (RSF), on sépare ledit signal en différentes composantes harmoniques, le résultat de la comparaison des composantes harmoniques ainsi obtenues avec des harmoniques de référence étant représentative d'un état de défauts des cylindres, cet état de défauts des cylindres permettant de définir différentes règles de conduite du procédé.

Application notamment à la coulée continue entre cylindres de bandes minces en acier.

Procédé de coulée continue entre deux cylindres

La présente invention concerne la coulée continue entre cylindres de produits métalliques minces, notamment en acier.

Selon cette technique connue, le produit fabriqué, par exemple une bande mince en acier de quelques millimètres d'épaisseur, est obtenue en déversant le métal en fusion dans un espace de coulée défini entre deux cylindres d'axes parallèles, refroidis et entraînés en rotation en sens contraire. Au contact des parois froides des cylindres, appelées viroles, le métal se solidifie et les peaux de métal solidifiées, entraînées par la rotation des cylindres, se rejoignent au niveau du col entre les cylindres, pour former la dite bande, extraite vers le bas.

L'exploitation du procédé de coulée entre cylindres est soumise à diverses contraintes relatives tant au produit coulé qu'à la mise en oeuvre de l'installation de coulée.

La bande coulée doit en particulier avoir une section correspondant, en forme et dimensions, à la section souhaitée, la section réelle de la bande étant directement fonction de l'espace, appelé entrefer, entre les cylindres au niveau du col.

Pour cela, on connaît un procédé de régulation de la coulée continue entre cylindres, décrite dans la demande de brevet FR-A-2728817, selon lequel on mesure l'effort d'écartement des cylindres (RSF) et on agit en conséquence sur la position relative desdits cylindres. Ce procédé permet d'agir sur la position relative des cylindres pour les écarter en cas d'effort trop important ou les rapprocher dans le cas d'effort trop faible, afin notamment d'éviter des percées de métal liquide ou même une rupture de la bande coulée, et aussi pour éviter un endommagement des cylindres en cas de sur-solidification

du métal coulé.

Par ailleurs, on sait que un faux rond des cylindres ne peut pas être totalement évité, d'une part pour des raisons mécaniques et d'autre part du fait des déformations thermiques subies par la virole, lors du premier contact du métal en fusion au moment du démarrage de la coulée, et aussi ultérieurement lors de la rotation des cylindres. Il est déjà connu de compenser ce faux rond, qui sera appelé par la suite "faux rond normal" (ou encore "faux rond mécanique" bien qu'étant en partie d'origine thermique), en agissant automatiquement sur la position des paliers d'au moins un des cylindres en fonction de la position angulaire des cylindres, de manière à garder un entrefer le plus constant possible. Compte tenu de l'impossibilité pratique de mesurer directement l'entrefer, il a déjà été proposé d'utiliser comme paramètre représentatif du faux rond un signal fourni par les moyens de mesure de l'effort d'écartement des cylindres, le système de compensation de faux rond étant alors combiné avec un système de régulation tel que celui décrit dans le document FR-A-2728817 déjà cité.

La mise en oeuvre de ces procédés ne permet toutefois pas de détecter en temps réel certains défauts susceptibles de perturber la coulée ou même de conduire à son arrêt, ou d'endommager durablement les cylindres.

On connaît déjà des méthodes de détection de défauts, visuelles ou autres, permettant de déceler des défauts liés au procédé de coulée, à la thermo-hydraulique du métal en fusion, ou encore ceux connus sous le nom de "bandes brillantes". Ce dernier type de défaut correspond à une diminution localisée de la rugosité de surface des cylindres, laquelle entraîne des variations du refroidissement de la bande qui peuvent être détectées par de mesures de température effectuées sur la bande coulée. Mais l'observation de ces défauts ne peut se faire que a posteriori, sur la bande déjà formée,

et donc tardivement après leur apparition. Or ces défauts peuvent endommager l'état de surfaces des cylindres, et ceci d'autant plus qu'ils sont perçus tardivement, ces endommagements pouvant alors devenir irrémédiables.

5 Certains défauts pourraient a priori être détectés à partir de l'observation directe du signal représentant l'effort d'écartement des cylindres. Mais les variations de ce signal représentent à la fois des variations d'effort dues au faux rond normal et des variations dues
10 à d'autres paramètres où événements pouvant survenir en cours de coulée. Une observation directe du signal d'effort ne permet donc pas de déterminer la part de chacune de ces causes dans les variations du signal.

La présente invention a pour but de résoudre les
15 problèmes évoqués ci-dessus et vise à permettre, à partir de la mesure de l'effort d'écartement des cylindres (RSF), la détection en temps réel de défauts, avant qu'une amplification de ces défauts provoque des dégâts irrémédiables notamment aux cylindres. L'invention a
20 aussi pour but de permettre un suivi de l'évolution de ces défauts, afin de pouvoir proposer à l'opérateur des actions correctives ou d'interruption de la coulée en fonction de la gravité desdits défauts .

Avec ces objectifs en vue l'invention a pour objet
25 un procédé de coulée continue entre cylindres de produit métalliques minces, notamment en acier, selon lequel on mesure en continu, au cours de la coulée, l'effort d'écartement des cylindres, et on génère un signal représentatif des variations de l'effort d'écartement
30 (RSF) en fonction du temps, et on agit, notamment en fonction du dit signal, sur l'écartement des cylindres pour compenser le faux rond des cylindres, ce procédé étant caractérisé en ce que, dans le but de détecter des défauts autres que le faux rond des cylindres, on
35 décompose ledit signal en différentes composantes harmoniques, et on compare ces dites composantes

harmoniques à des harmoniques de référence de rang correspondant, les résultats de ladite comparaison étant représentatifs d'un état de défaut du procédé de coulée, et on définit, en fonction des résultats de ladite
5 comparaison, des règles de conduite du procédé de coulée.

Les inventeurs ont en effet pu établir, suite à de nombreux essais effectués à échelle industrielle, qu'il existe une certaine relation entre les variations des signaux représentatifs de l'effort d'écartement et
10 l'apparition de défauts lors de la coulée. Par exemple, l'apparition sur un cylindre du défaut appelé bande brillante se caractérise par la présence d'une perturbation sur le signal de l'effort d'écartement mesuré. Cette perturbation est cyclique et se manifeste à
15 chaque tour du cylindre. Elle reflète une sur-solidification du produit lorsqu'il passe au col et se traduit par des variations de l'effort qui sont nettement plus rapides que celles qui peuvent être engendrées par exemple par des variations de l'épaisseur du produit
20 solidifié.

Les inventeurs ont alors imaginé de faire une décomposition en harmoniques des dits signaux de manière à différencier dans ces signaux la part pouvant être attribuée au faux rond normal et celle provenant d'autres
25 causes. Ils ont ainsi vérifié, par comparaison des composantes harmoniques relevées lors de diverses coulées, que, bien que les signaux représentatifs de l'effort d'écartement varient en particulier en fonction du faux rond, même lorsque celui-ci est compensé par un
30 système de compensation, des variations de certaines composantes harmoniques correspondaient à l'apparition de défauts lors des coulées. Il est donc apparu qu'une analyse, effectuée en continu au cours des coulées, de ces composantes harmoniques pourrait permettre, par
35 comparaison avec une référence obtenue expérimentalement lors de coulées considérées sans défauts, de détecter

quasiment en temps réel des écarts révélateurs de tels défauts de coulée, bien plus rapidement que par les méthodes connues.

Une hypothèse explicative de la relation existant entre les variations des composantes harmoniques et la présence de défauts de coulée est que le faux rond normal provoque des variations du signal représentatif de l'effort d'écartement des cylindres (RSF) qui sont majoritairement lentes et douces, autrement dit que dudit signal se dégagent, du fait du dit faux rond normal, essentiellement une composante harmonique de rang faible, de fréquence égale à la fréquence de rotation des cylindres. Par contre, des défauts réels, tels que les bandes brillantes évoquées précédemment, engendrent principalement des variations brusques dudit signal et donc des harmoniques de rang plus élevé. Typiquement, le spectre du signal représentatif de l'effort d'écartement des cylindres et résultant du seul faux rond normal est caractérisé par une composante harmonique de rang 0 importante (par exemple 70% de l'amplitude totale du signal) et des harmoniques de rang supérieur en décroissance rapide (20% pour l'harmonique de rang 1, 10% pour l'harmonique de rang 2). On note rarement la présence d'harmoniques de rang plus élevé. Par contre, dans le cas de la présence de bandes brillantes, la répartition des harmoniques est différente du cas ci-dessus, la présence d'un front de sur-solidification au niveau de la bande brillante engendrant plus d'harmoniques élevées.

Il est précisé que ici et par la suite, on désigne par harmonique de rang i la composante du signal à une fréquence $F_i = 2^i F_0$, F_0 étant la fréquence fondamentale correspondant à la vitesse de rotation des cylindres. De manière similaire, on désignera par la suite par h_i l'amplitude des composantes harmoniques de rang i , et par H_i une valeur représentative des harmoniques de rang i

considérées sur un nombre de tours prédéterminé des cylindres.

Selon une disposition particulière de l'invention lorsque un système de régulation de l'entrefer, tel que décrit précédemment, est mis en place, on peut utiliser
5 comme signal représentatif des variations de l'effort d'écartement des cylindres (RSF), issu de la mesure du dit effort, un signal associé utilisé comme consigne de déplacement des paliers d'au moins un cylindre. C'est à
10 dire que le signal qui est alors décomposé en différentes composantes harmoniques est directement lié à ladite consigne de déplacement élaborée par un module de compensation de faux rond, et reflétant donc les variations de l'effort d'écartement.

15 Pour effectuer la décomposition du signal en ses différentes composantes harmoniques, on pourra notamment utiliser une transformée de Fourier rapide appliquée au signal représentatif de l'effort d'écartement des
cylindres (RSF), ce signal étant donc soit directement le
20 signal de mesure de l'effort d'écartement, soit un signal correspondant élaboré par le dit module de compensation de faux rond.

Dans une disposition préférée de l'invention, on calcule la valeur H_i représentative de chaque harmonique
25 de rang i comme étant une valeur moyenne des amplitudes h_i de chaque harmonique, déterminée sur un nombre donné de tours des cylindres. La valeur H_i représentative de chaque harmonique étant calculée comme étant une moyenne sur un nombre de tours donné des amplitudes mesurées,
30 ceci permet d'atténuer l'effet de défauts aléatoires et localisés dans le temps et l'espace, non répétitifs sur plusieurs tours de cylindre. Ainsi, si le défaut est engendré par un problème durable sur un cylindre, le système intégrera complètement cette donnée au bout dudit
35 nombre de tours, alors que l'effet des harmoniques n'apparaissant que sur un nombre de tours faible,

notablement inférieur au dit nombre de tours donné, sera considérablement atténué.

La comparaison du signal mesuré avec un signal d'une coulée jugée bonne peut s'effectuer de différentes manières. On peut comparer simplement termes à termes les valeurs H_i représentatives de chaque harmonique du signal mesuré à des valeurs de références H_{ir} provenant de mesures effectuées lors de coulées jugées bonnes, et vérifier que la somme des différences des valeurs H_i représentatives de chaque harmonique avec les valeurs H_{ir} de référence n'est pas trop élevée. On peut aussi comparer la proportion de chaque harmonique par rapport à une répartition proportionnelle de référence. Toutefois, préférentiellement, la comparaison sera effectuée sur la base d'un barycentre des harmoniques, ce barycentre étant calculé en pondérant chaque harmonique d'un coefficient prédéterminé, de manière à accorder aux différentes harmoniques des importances relatives en pondérant de façon inégale ces dernières. Ce mode de calcul est justifié par des constatations expérimentales : lors d'une coulée jugée bonne, la première harmonique est la plus importante, l'importance des différentes harmoniques étant décroissante en fonction du rang croissant des harmoniques considérées. En pondérant les harmoniques de rang plus élevé par un coefficient adapté, les variations de ces harmoniques de rang élevé seront en quelque sorte amplifiées, rendant leur apparition ou augmentation plus facilement perceptible dans le résultat du calcul de barycentre.

On pourra par exemple calculer un barycentre fréquentiel B_f en affectant à chaque fréquence d'harmoniques un coefficient représentant l'amplitude de l'harmonique considéré :

$$B_f \text{ (Hz)} = \frac{\sum H_i * F_i}{\sum H_i}$$

et normer ce barycentre par la fréquence fondamentale pour obtenir un rapport $R = B_f/F_0$ qui pourra

être comparé à une valeur de référence R_0 prédéterminée, de manière à s'affranchir d'éventuelles différences de fréquence fondamentale, et donc de vitesse effective des cylindres, entre la coulée considérée et la référence.

5 On pourra de plus calculer la dérivée dR/dt et également comparer le résultat à un deuxième seuil prédéterminé, permettant ainsi de suivre l'évolution du rapport R dans le temps, une évolution rapide de R étant en quelque sorte le signe d'une aggravation rapide d'un
10 défaut.

Avec les valeurs des différents paramètres :

A représentant l'amplitude totale des variations :

$$A = \sum H_i$$

R représentatif de la part ou de l'importance des
15 défauts dans le signal,

$$\text{et } E = dR/dt$$

on peut établir un tableau de décision, comme on le verra par la suite, qui pourra être utilisé pour proposer en temps réel à l'opérateur des actions correctives sur
20 certains paramètres de coulée, dans le but visé de remédier à des défauts le plus rapidement possible après leur apparition.

D'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre
25 d'exemples de réalisation de l'invention, donnée à titre indicatif et nullement limitatif, à lire conjointement aux dessins annexés parmi lesquels :

-la figure 1 est une vue schématique d'un dispositif de coulée entre cylindres avec un système de
30 régulation de type connu en soi, mais utilisant une décomposition en harmonique du signal de compensation de faux rond,

-la figure 2 représente un tableau de décision permettant de définir la démarche à suivre au cours de la
35 coulée en fonction des valeurs des différents paramètres fournis par le procédé selon l'invention,

-les figures 3a, 3b, 3c et 3d présentent, sous forme de tracés représentant les variations des différents paramètres mesurés ou calculés, les résultats obtenus lors d'une coulée jugée bonne avec procédé de compensation de faux rond,

-les figures 4a, 4b, 4c et 4d présentent les tracés correspondants obtenus lors d'une coulée jugée mauvaise.

L'installation de coulée, représentée seulement partiellement à la figure 1, comporte de manière classique, et connue en soi, deux cylindres 1, 2, d'axes parallèles, espacés l'un de l'autre d'une distance nommée entrefer. Elle correspond à l'épaisseur souhaitée de la bande coulée, moins l'écrasement dû à la RSF. Les deux cylindres 1, 2 sont entraînés en rotation de sens contraires, à même vitesse. Ils sont portés par des paliers 3, 4, schématiquement représentés, de deux supports 5, 6 montés sur un châssis 7. Le support 5, et donc l'axe du cylindre 1 correspondant, est fixe par rapport au châssis 7. L'autre support 6 est mobile en translation sur le châssis 7. Sa position est réglable et déterminée par des vérins de poussée 9 agissant de manière à rapprocher ou éloigner les supports 5, 6, l'un de l'autre. Des moyens de mesure de l'effort d'écartement des cylindres (RSF), tels que des pesons 8, sont disposés entre le support fixe 5 et le châssis 7. Des capteurs permettent de mesurer la position du support mobile 6, et donc les variations de position par rapport à une position de consigne prédéterminée en fonction de l'épaisseur souhaitée de la bande.

Lors d'une coulée, le métal en fusion est déversé entre les cylindres, et commence à se solidifier au contact de leurs parois refroidies en formant des peaux solidifiées qui sont entraînées par la rotation des cylindres et se rejoignent sensiblement au niveau du col entre les cylindres pour former la bande solidifiée extraite vers le bas. Ce faisant, le métal exerce sur les

cylindres un effort d'écartement (RSF), mesuré par les pesons 8, cet effort étant variable notamment en fonction du degré de solidification du métal.

Pour réguler cet effort, et garantir la continuité de la coulée, l'installation de coulée comporte un système de régulation. Dans ce système de régulation, la différence entre le signal de la consigne d'effort et le signal de l'effort mesuré par le capteur d'effort 8 est calculée par un premier comparateur 12. Le signal de cette différence est introduit dans un régulateur d'effort 13 qui détermine un signal de consigne de position introduit dans un deuxième comparateur 14. Le signal de l'effort mesuré par le capteur d'effort 8 est aussi introduit dans un système de compensation de faux rond 15 qui effectue une décomposition en harmoniques du signal d'effort et génère des signaux H_1 , H_2 , H_3 de compensation de chacune des dites harmoniques. Ces signaux H_1 , H_2 et H_3 sont additionnés dans un sommateur 16 qui engendre un signal de consigne de correction de la position qui est transmis au deuxième comparateur 14. Le signal de sortie du deuxième comparateur 14 est introduit dans un troisième comparateur 17 ainsi qu'un signal de position provenant du capteur de position 10. Le signal de sortie du troisième comparateur 17 est introduit dans le régulateur de position 18 qui commande les vérins 9.

La rotation des cylindres 1 et 2 est assurée respectivement par des moteurs 19 et 20 commandés par un régulateur de vitesse 21. Ce régulateur de vitesse 21 reçoit un signal d'un régulateur d'épaisseur 22 recevant lui-même un signal de consigne d'épaisseur, le signal d'effort émis par le capteur d'effort 8 et le signal de position émis par le capteur de position 10.

Une action sur les vérins 9 est exécutée automatiquement par ce système de régulation, qui permet par exemple d'agir sur les vérins 9 dans le sens conduisant à un écartement des cylindres pour réduire

l'effort d'écartement (RSF), ou inversement dans le sens d'un rapprochement des cylindres pour augmenter l'effort. De manière similaire, ce système permet d'effectuer une compensation au moins partielle du faux rond normal, c'est à dire de compenser un éventuel désaxage existant entre l'axe de la virole et son axe de rotation ainsi que les irrégularités de forme d'un cylindre, que celles-ci soient d'origine mécanique ou thermique. Le système de régulation prend alors en compte ces défauts de forme et de coaxialité pour donner une consigne de déplacement aux vérins de poussée 9 commandant l'entrefer des cylindres afin de maintenir cet entrefer le plus constant possible au cours de la rotation des cylindres.

On va maintenant décrire une méthode préférée de détermination des différents paramètres A, R et E qui seront utilisés pour avertir l'opérateur de la présence de défauts et de la gravité de ceux-ci.

Dans cette méthode on utilise une décomposition en harmoniques du signal représentatif de l'effort d'écartement des cylindres, cette décomposition étant effectuée dans le module de compensation de faux rond à l'aide d'une transformée de Fourier. On pourrait tout aussi bien réaliser la même opération non pas à l'aide d'une transformée de Fourier mais avec une transformée de Laplace ou toute autre opération mathématique ou de traitement du signal telle que par exemple l'utilisation de filtres permettant d'obtenir le même résultat, à savoir une décomposition d'un signal en différentes composantes harmoniques.

On calcule ensuite les valeurs H_j comme indiqué précédemment, c'est à dire en effectuant une moyenne des amplitudes h_j sur un nombre de tours prédéterminé des cylindres, par exemple sur les dix derniers tours. On notera que la méthode de calcul des coefficients H_j précédente n'est donnée qu'à titre d'exemple et n'est absolument pas limitative. Les valeurs H_j représentatives

de chaque harmonique de rang i peuvent également être calculées comme étant la valeur efficace de l'amplitude h_i des harmoniques ou toute autre valeur calculée caractérisant ces dites harmoniques, ce calcul pouvant être fait selon une moyenne arithmétique, selon la méthode des moindres carrés ou selon toute autre méthode.

Quel que soit le mode de calcul, les valeurs H_i sont représentatives de l'amplitude relative de chaque harmonique de rang i et de fréquence F_i .

On calcule ensuite le critère B_f comme étant un barycentre fréquentiel des différentes harmoniques. C'est à dire que l'on calcule le barycentre des fréquences des harmoniques considérées, chaque valeur F_i étant affectée d'un poids constitué par la valeur H_i correspondante, soit :

$$B_f = \frac{\sum H_i \times F_i}{\sum H_i}$$

On utilisera en général uniquement les harmoniques de rang 0, 1 et 2. Toutefois il serait bien évidemment possible de prendre en compte plus d'harmoniques.

Afin de pouvoir effectuer des comparaisons valables à des vitesses de rotation des cylindres différentes, on calcule alors le ratio $R_f = B_f/F_0$, F_0 correspondant à la fréquence de rotation des cylindres.

Dans le cas pris en exemple où seules sont prises en compte les trois premières harmoniques, on obtient alors les trois critères suivants :

- amplitude globale des variation du signal :
 $A = H_1 + H_2 + H_3$,

- barycentre normé :

$$R_f = \frac{(F_1 \times H_1 + F_2 \times H_2 + F_3 \times H_3)}{(H_1 + H_2 + H_3) \times F_0}$$

- évolution de R_f dans le temps : $E = dR_f/dt$.

Une comparaison de ces différents critères calculés en cours de coulée avec un seuil prédéterminé permet alors de détecter pour la coulée en cours si un tel défaut apparaît.

A titre d'exemple, dans un cas où le signal représentatif de l'effort d'écartement des cylindres est

le signal issu du module de compensation de faux rond, c'est à dire exprimé en valeur de déplacement du cylindre mobile, et en présence du seul faux rond normal, on peut avoir :

5 $H_0 = 700 \mu\text{m}$, $H_1 = 200 \mu\text{m}$, $H_2 = 100 \mu\text{m}$, avec
 $F_0 = 0,2 \text{ Hz}$, $F_1 = 0,4 \text{ Hz}$ et $F_2 = 0,8 \text{ Hz}$,
alors $B_f = 0,3 \text{ Hz}$ et $R_f = 1,5$.

Si une bande brillante apparait, ces valeurs deviennent respectivement $350 \mu\text{m}$, $350 \mu\text{m}$ et $300 \mu\text{m}$ pour
10 H_0 , H_1 , H_2 , et alors $R_f = 2,25$.

On voit ainsi que en fixant simplement un seuil adéquat sur R_f , par exemple $R_{f\text{seuil}}=1,6$, le passage de R_f au dessus de ce seuil peut activer une alarme signalant un défaut.

15 Une meilleure appréciation de la gravité des défauts peut être obtenue par la prise en compte simultanée des trois critères mentionnés ci-dessus.

Pour cela, on pourra par exemple utiliser un tableau de décision tel que représenté figure 2 qui
20 indique directement à l'opérateur l'état défectologique de la coulée, c'est à dire lui donne une indication sur la présence, l'importance, et l'évolution de défauts et signale le besoin d'entreprendre des actions correctives, telles que des modifications de certains paramètres de
25 coulée pour essayer de remédier aux défauts apparus, ou au pire la nécessité d'arrêter la coulée pour éviter des dégâts irrémédiables à l'installation de coulée.

Ce tableau présente par exemple la démarche a suivre en fonction des valeurs relatives des coefficients
30 A , R_f et E :

- A "petit" est le signe de faibles variations de l'effort d'écartement des cylindres, la coulée se déroule dans de bonnes conditions,
- quand A est "moyen",
- 35 - si R et E sont "petit", ce qui signifie pas ou peu de défauts,, la coulée se déroule encore dans de

bonnes conditions,

5 - si R est "petit" et E "grand", cela peut signifier que, bien qu'il n'y ait pas de présence réelle de défauts, le point de fonctionnement de l'installation est instable, pour des raisons liées essentiellement au faux rond "normal", et une alarme du procédé de coulée est déclenchée pour avertir l'opérateur d'un besoin de modifier par exemple les conditions thermiques de la virole (température ou débit de l'eau de
10 refroidissement),

- si R est "grand" et E "petit", ce qui signale la présence de défauts, sans tendance notable à une éventuelle aggravation de ceux-ci, une alarme du procédé de coulée est déclenchée,

15 - si R et E sont "grand", signalant la présence de défauts et l'aggravation de ceux-ci, un arrêt de la coulée est demandé,

- quand A est "grand",

20 - si R et E sont "petit", aucun défaut latent n'est signalé, le faux rond normal est correctement compensé, mais l'amplitude des déplacements du cylindre mobile pour réaliser cette compensation est importante, ce qui n'est pas grave pour la coulée elle-même, mais peut révéler des problèmes de géométrie des cylindres,

25 - si R est "grand" et E "petit", ce qui signale en plus la présence de défauts, mais sans aggravation notable, une alarme du procédé de coulée est déclenchée,

30 - si E est "grand", quelque soit la valeur de R, une forte aggravation des défauts est signalée et un arrêt rapide de la coulée est demandé.

On notera que les caractères "petit", "moyen" et "grand" des différents critères sont appréciés par comparaison à des données expérimentales acquises lors de coulées antérieures.

35 A titre d'illustration des possibilités de détection de défauts par le procédé selon l'invention, on

peut se reporter aux figures 3a, 3b, 3c et 3d qui
présentent les variations des différents paramètres
mesurés et calculés lors d'une coulée avec procédé de
compensation de faux rond jugée bonne, et aux figures 4a,
5 4b, 4c et 4d qui montrent comparativement les courbes
obtenues lors d'une coulée présentant des défauts de
bandes brillantes.

Les figures 3a et 4a présentent les variations de
l'effort d'écartement des cylindres exprimé en
10 pourcentage de la RSF admissible, mesuré pendant 40
minutes à partir du début de coulée.

Les figures 3b et 4b montrent l'évolution pendant
ce temps du paramètre A, c'est à dire l'amplitude moyenne
sur 10 tours, en μm , du déplacement des paliers du
15 cylindre mobile commandé par le module de compensation du
faux rond.

Les figures 3c et 4c montrent en correspondance
temporelle l'évolution du paramètre R.

Les figures 3d et 4d montrent en correspondance sur
20 le même graphique les évolutions des valeurs H_0 , H_1 et
 H_2 , représentatives des amplitudes des harmoniques de
rang 0, 1 et 2, la première (H_0) étant représenté en bas
du schéma, la seconde (H_1) au milieu et la troisième (H_2)
en haut.

25 On constate que, dans le cas de la coulée jugée
bonne, la croissance de A pendant environ les 20
premières minutes correspond à une croissance similaire
de H_0 et reflète essentiellement l'évolution de la
compensation de faux rond, jusqu'à obtenir une stabilité
30 de A au voisinage de $50 \mu\text{m}$, signalant une compensation de
faux rond quasi-parfaite. On note également une stabilité
du paramètre R au bout d'une dizaine de minutes, après
une excursion de R vers des valeurs supérieures,
correspondant à une amplitude relativement importante de
35 H_2 pendant la même période de début de coulée.

Par comparaison, les tracés des figures 4b, 4c et

4d, relatifs à une coulée dont le déroulement a été
fortement perturbé, montrent des amplitudes importantes
de H_1 et H_2 pendant environ 40 minutes, avec une valeur
élevée de a pendant la même période, et surtout une
5 valeur élevée de R .

On comprendra aisément au vu de ces relevés que une
comparaison, effectuée en temps réel en cours de coulée,
des valeurs de A et surtout de R avec des seuils
prédéterminés aurait permis de détecter rapidement les
10 défauts correspondant aux fortes amplitudes des
harmoniques H_1 et H_2 , et d'agir immédiatement sur les
paramètres de coulée pour éviter qu'ils ne s'aggravent.

L'invention n'est pas limitée aux modes de calculs
des différents paramètres indiqués ci-dessus uniquement à
15 titre d'exemple.

En particulier, en utilisant toujours les mêmes
valeurs H_i représentatives de l'amplitude de chaque
harmonique, on pourra calculer un autre barycentre B du
spectre harmonique de la valeur représentative de
20 l'effort d'écartement des cylindres, par exemple en
affectant alors à chaque valeur H_i un coefficient de
pondération judicieusement choisi permettant d'accentuer
dans la valeur calculée de ce barycentre l'influence des
harmoniques de rang plus élevé, qui sont significatives
25 de défauts. Quelque soit le type de calcul de barycentre
utilisé, on utilisera des valeurs représentatives des
différentes harmoniques et des coefficients de
pondération relatifs à chaque harmonique tels que l'on
puisse aisément suivre l'évolution de la valeur du
30 barycentre et la comparer à des valeurs expérimentales en
vue de définir en temps réel un niveau déféctologique par
comparaison avec l'état déféctologique (coulée sans
problèmes, coulée perturbée, coulée mauvaise ayant
conduit à un arrêt ou à un endommagement des cylindres,
35 etc) des coulées précédentes.

Pour effectuer la comparaison des harmoniques, on

pourra également définir une répartition de référence des amplitudes des harmoniques, en pourcentage de chaque harmonique par rapport au signal total, par exemple en posant a priori que la première harmonique représente 66% de ce signal, la deuxième 17 % et la troisième également 17%. On pourra alors suivre l'évolution de cette répartition au cours de chaque coulée et, par comparaison avec la répartition de référence, apprécier facilement d'éventuels écarts. Cette comparaison pourra par exemple être faite en calculant une somme R_d des différences entre la proportion H_i/A de chaque composante harmonique dans le signal mesuré représentatif de l'effort d'écartement et la proportion de référence α_i : $R_d = \text{pos}(\alpha_0 - H_0/A) + \text{pos}(H_1/A - \alpha_1) + \dots + \text{pos}(H_i/A - \alpha_i)$, (c'est à dire, chaque élément de cette somme n'est comptabilisé que s'il est positif). De cette façon, si la proportion de l'harmonique de rang 0 est supérieure à la proportion de référence ou si la proportion d'une harmonique de rang supérieur ou égal à 1 est inférieure à la proportion de référence, la différence relative à l'harmonique considérée n'est pas prise en compte. Par exemple, si le premier harmonique représente par exemple 98 % de A, le second 2 % et le troisième 0 %, ce qui correspondrait à une absence presque totale d'harmonique de rang supérieur à 0 et donc à une absence de défauts, $R_d=0$.

Dans le cas où l'installation de coulée continue entre cylindres ne comporterait pas de système de régulation de l'entrefer en fonction du faux rond, on pourrait bien évidemment appliquer le procédé selon l'invention précédemment décrit en prenant directement comme signal soumis à une décomposition en harmonique la mesure directe des variations de l'effort d'écartement des cylindres (RSF), l'utilisation des valeurs H_i issues du module de compensation de faux rond restant toutefois particulièrement pratique lorsque un tel module de compensation existe déjà dans l'installation et effectuée

déjà, dans le cadre de son fonctionnement habituel, la décomposition en harmonique requise.

REVENDICATIONS

1. Procédé de coulée continue entre cylindres de produits métalliques minces, selon lequel on mesure en continu, au cours de la coulée, l'effort d'écartement des cylindres (RSF), et on génère un signal représentatif des variations de l'effort d'écartement (RSF) en fonction du temps, et on agit, notamment en fonction dudit signal, sur l'écartement des cylindres pour compenser le faux rond des cylindres, caractérisé en ce que, dans le but de détecter des défauts autres que le faux rond des cylindres, on décompose ledit signal en différentes composantes harmoniques, et on compare ces dites composantes harmoniques à des harmoniques de référence de rang correspondant, les résultats de ladite comparaison étant représentatifs d'un état de défaut du procédé de coulée, et on définit, en fonction des résultats de ladite comparaison, des règles de conduite du procédé de coulée.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit signal représentatif, issu de la mesure des variations l'effort d'écartement des cylindres (RSF), est un signal associé utilisé comme consigne de déplacement des paliers d'un cylindre dans une boucle de régulation de l'écartement entre lesdits cylindres.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'on utilise une transformée de Fourier afin de décomposer ledit signal représentatif de l'effort d'écartement des cylindres (RSF) en différentes composantes harmoniques.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que pour effectuer la comparaison, on utilise comme valeur représentative de chaque harmonique de rang i , une valeur H_i correspondant à la moyenne des amplitudes h_i des harmoniques de ce rang mesurées sur un nombre de tours donné.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que pour effectuer la comparaison, on utilise un barycentre des harmoniques, ce barycentre étant calculé en pondérant une valeur représentative de chaque harmonique d'un coefficient prédéterminé.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'on calcule un barycentre fréquentiel $(B_f) = (\Sigma(H_i F_i)) / (\Sigma H_i)$ dans lequel la valeur représentative de chaque harmonique est sa fréquence F_i et le coefficient de pondération H_i représente l'amplitude de l'harmonique considérée.
7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que la comparaison est effectuée sur la base d'un ratio $R_f = B_f / F_0$, où F_0 est la fréquence correspondant à la vitesse de rotation des cylindres.
8. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la comparaison est effectuée en utilisant comme critère de comparaison la proportion H_i / A de chaque composante harmonique par rapport au signal représentatif de l'effort d'écartement, H_i représentant l'amplitude de l'harmonique de rang i et $A = \Sigma H_i$.
9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que le résultat de la comparaison est représenté par la somme $R_d = \text{pos}(\alpha_0 - H_0 / A) + \text{pos}(H_1 / A - \alpha_1) + \dots + \text{pos}(H_i / A - \alpha_i)$.
10. Procédé selon l'une des revendications 7 ou 9, caractérisé en ce qu'on utilise un tableau de décision pour déterminer la conduite à suivre pour la coulée, en fonction des valeurs des critères:
 - $A = \Sigma H_i$,
 - R (R_f ou R_d),
 - $E = dR/dt$.

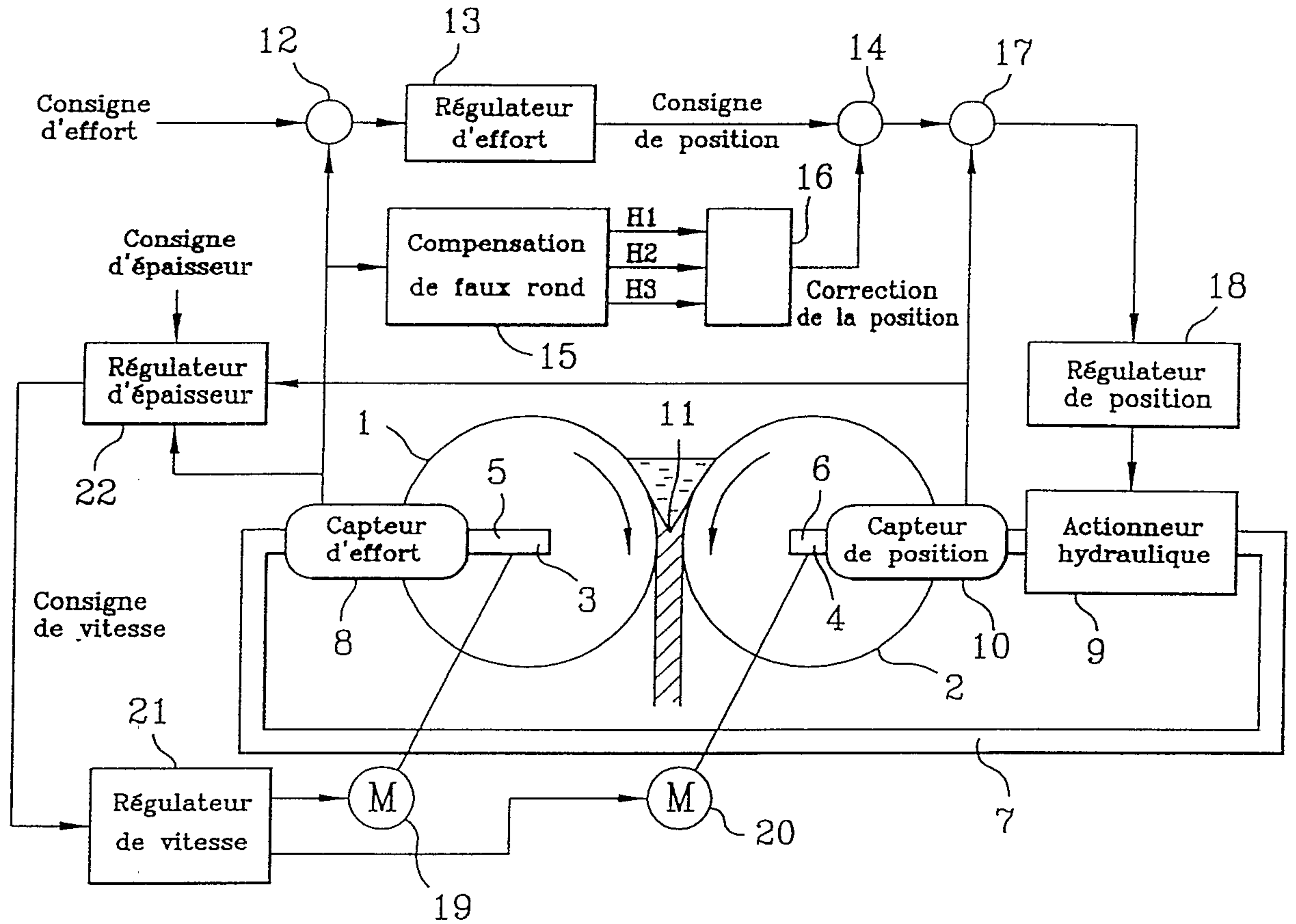
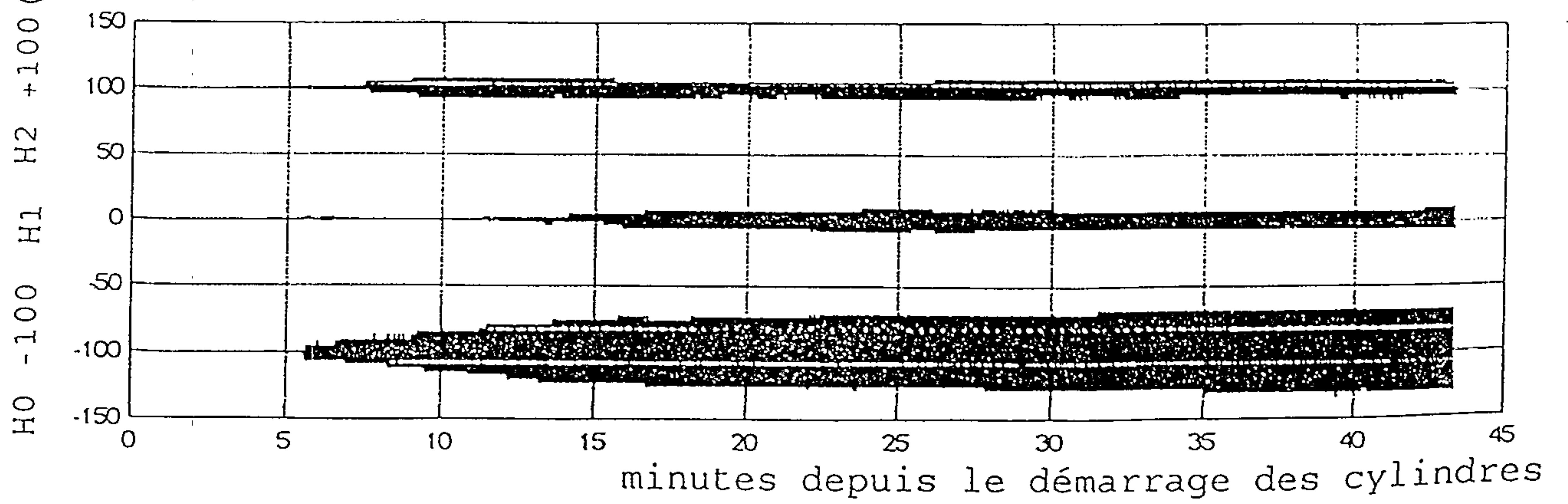
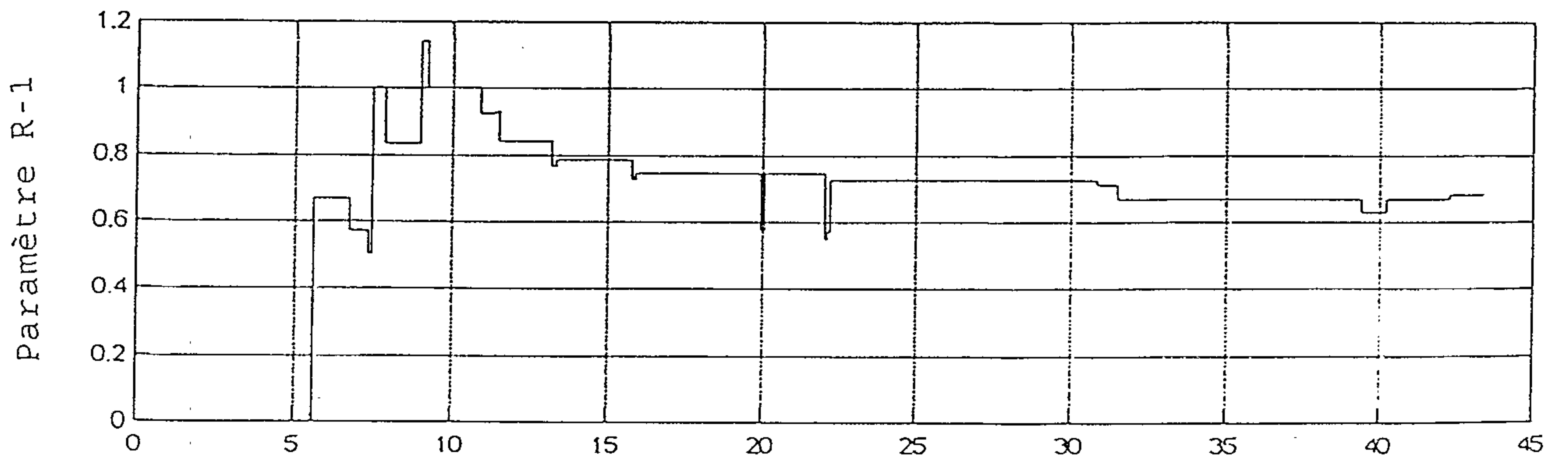
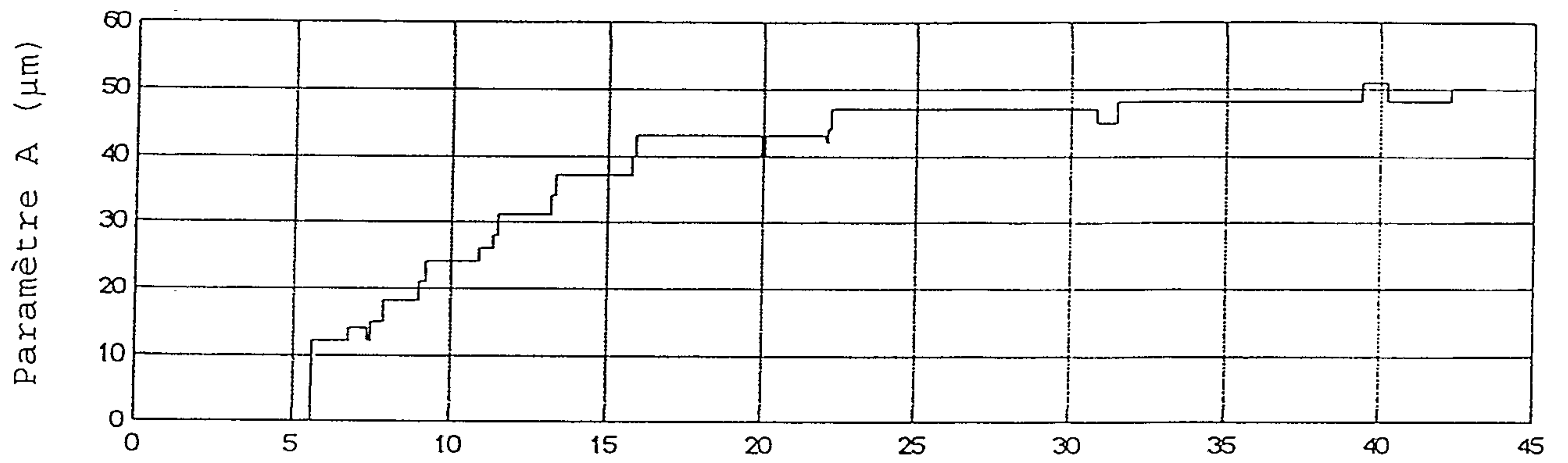
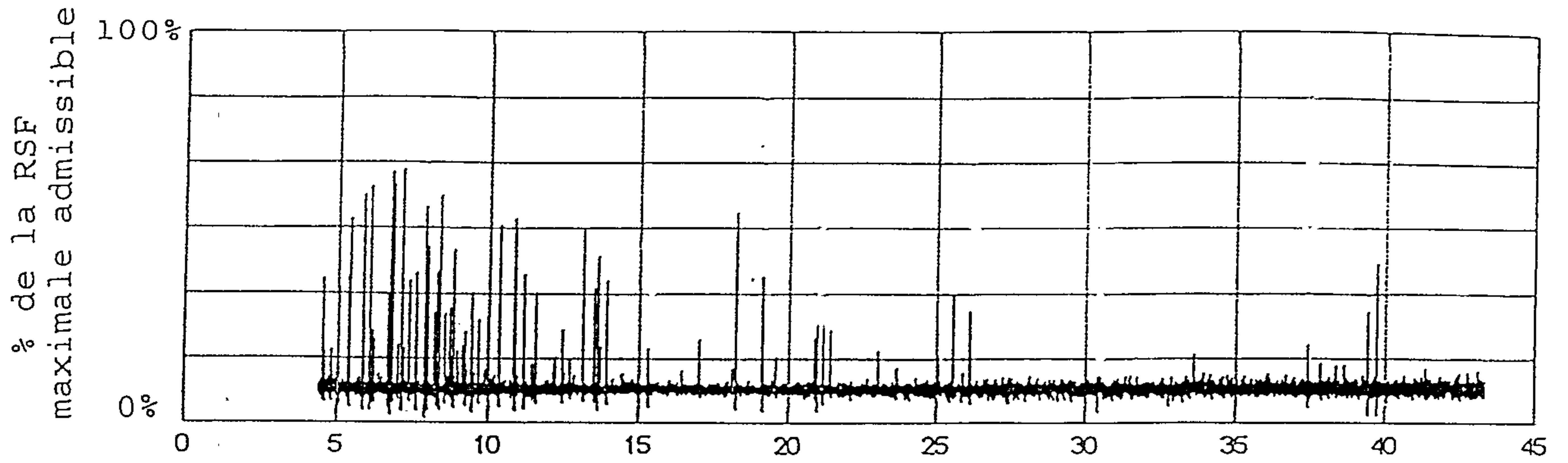


FIG.1

TABLEAU DE DECISION							
A	petit	moyen		grand			
		E \ R	petit	grand	E \ R	petit	grand
1	petit		1	2		1	2
	grand		2	3		3	3

- 1: perturbations faibles
- 2: alarme processus
- 3: arrêt de la coulée

FIG.2



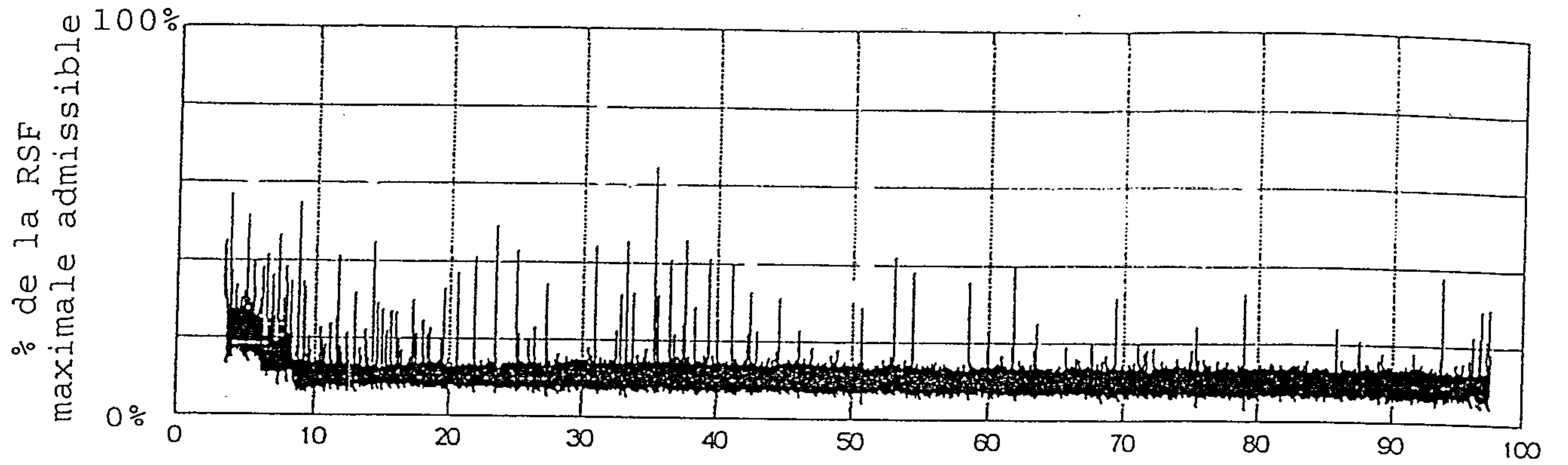


Fig. 4a

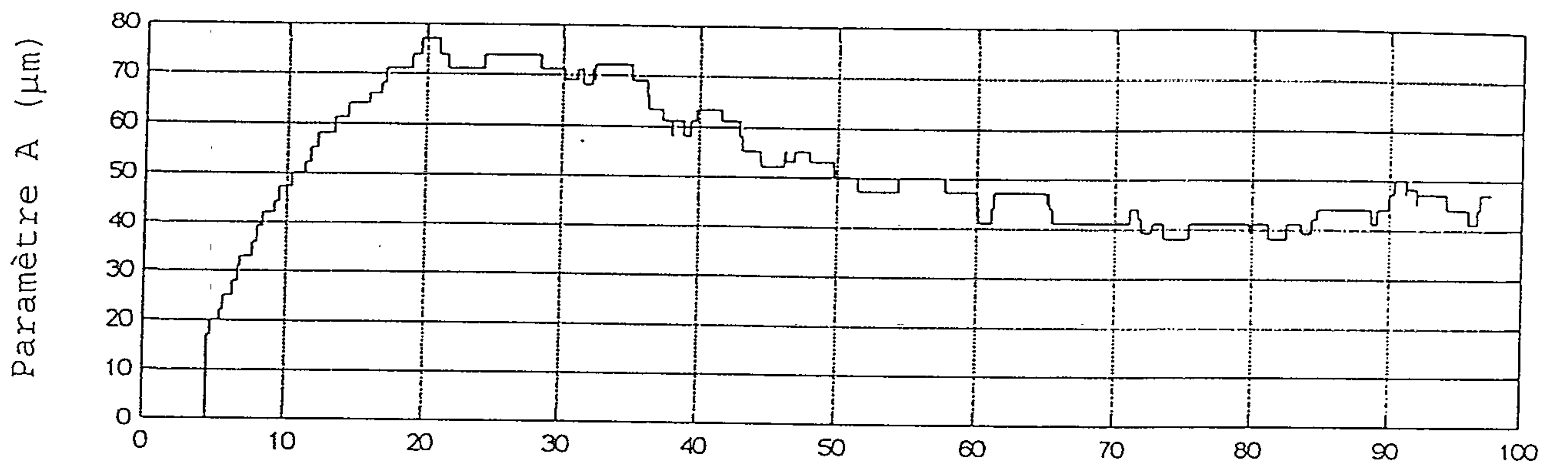


Fig. 4b

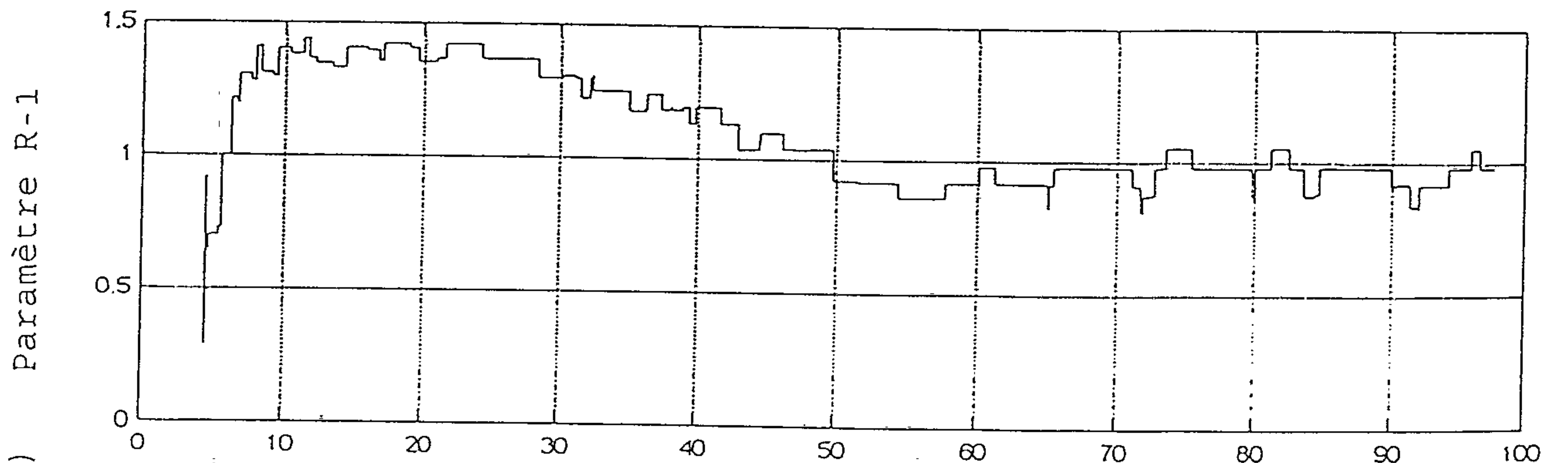
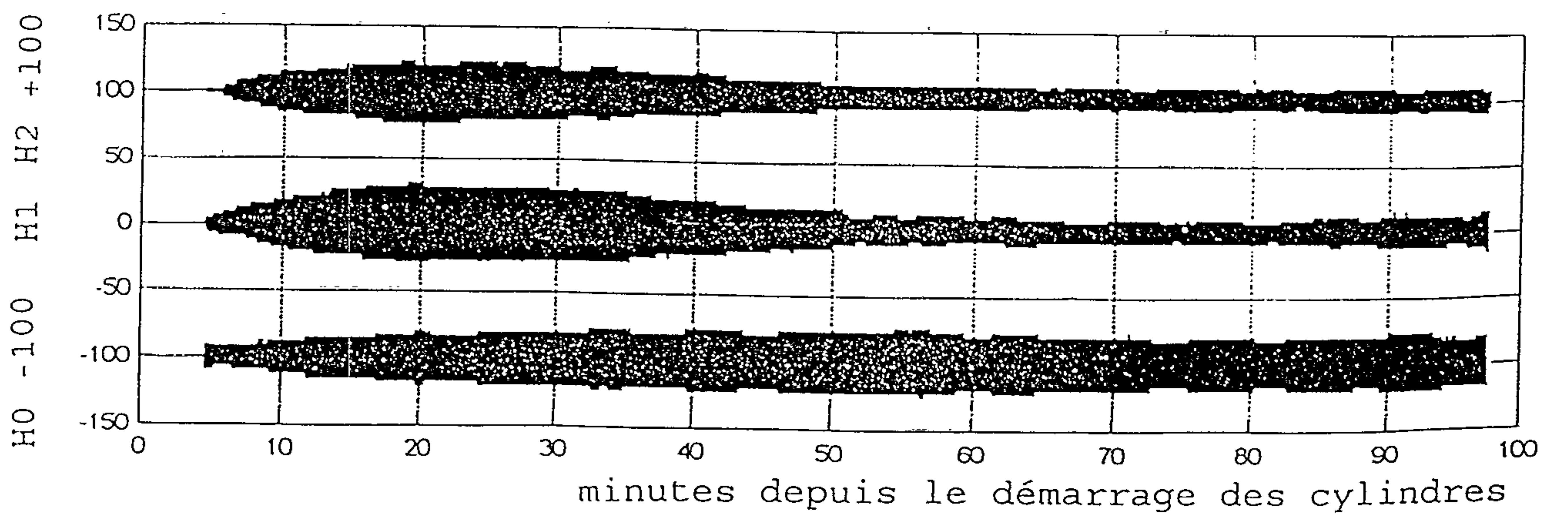


Fig. 4c



minutes depuis le démarrage des cylindres

Fig. 4d

