



(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2013/12/24
(87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2015/07/02
(85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2016/06/23
(86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** IB 2013/002865
(87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2015/097488

(51) **Cl.Int./Int.Cl. B21B 37/00** (2006.01)

(71) **Demandeur/Applicant:**
ARCELORMITTAL, LU

(72) **Inventeurs/Inventors:**
MORETTO, CHRISTIAN, FR;
PETHE, NICOLAS, FR;
COUTURIER, ANDREY, FR

(74) **Agent:** SMART & BIGGAR

(54) **Titre : PROCEDE DE LAMINAGE A CHAUD**

(54) **Title: HOT ROLLING METHOD**

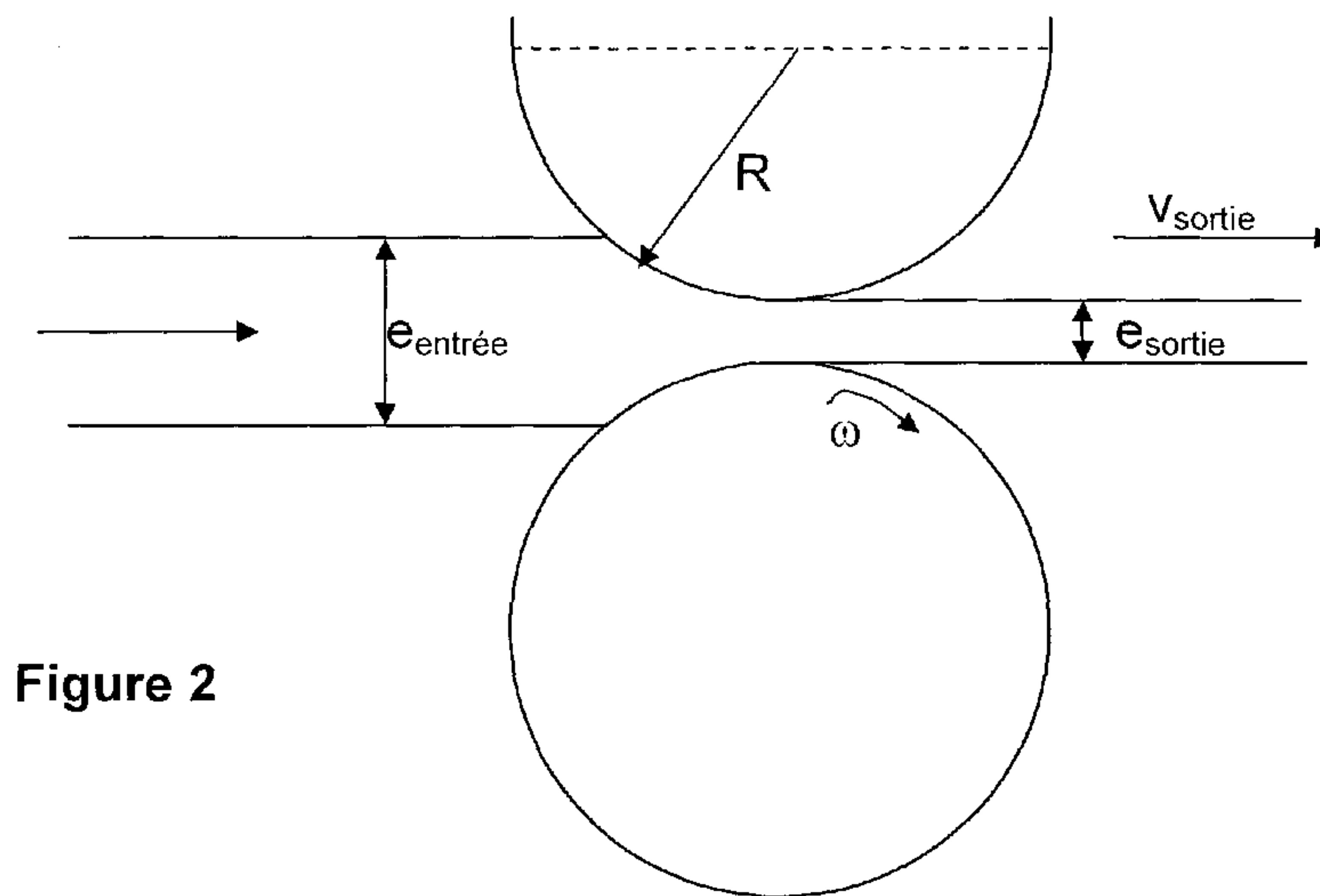
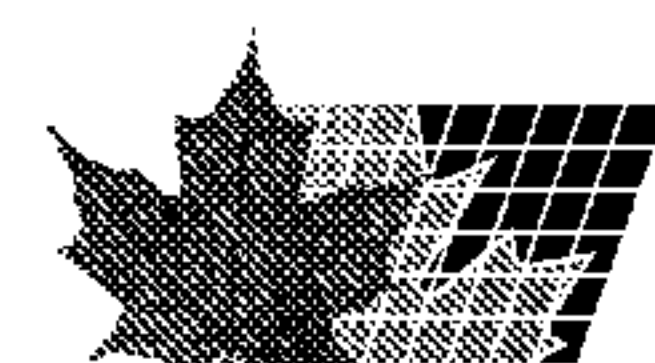


Figure 2

$$FWS = \frac{|v_{sortie} - v_{cage}|}{v_{cage}} \quad (a)$$

(57) **Abrégé/Abstract:**

Procédé de régulation d'au moins l'un des paramètres (a) d'un procédé de laminage à chaud d'un demi-produit métallique dans au moins une cage de laminoir comprenant au moins deux cylindres de travail, le procédé de régulation comprenant les étapes suivantes de calcul d'un ratio de glissement vers l'avant (FWS) à l'aide de l'équation suivante : $FWS = (a)$ où v_{sortie} est la vitesse du demi-produit à la sortie de ladite cage et v_{cage} est la vitesse linéaire des cylindres de travail; le calcul d'une estimation d'un coefficient de friction ($\mu_{réel}$) en fonction d'une valeur mesurée de la force de serrage (F) desdits cylindres de travail dans la cage et du ratio de glissement vers l'avant (FWS) précédemment calculé; et la régulation d'au moins l'un des paramètres (a) à partir de l'estimation calculée du coefficient de friction ($\mu_{réel}$). Procédé de laminage, laminoir et produit programme d'ordinateur associés.



(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(10) Numéro de publication internationale

WO 2015/097488 A1(43) Date de la publication internationale
2 juillet 2015 (02.07.2015)(51) Classification internationale des brevets :
B21B 37/00 (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/IB2013/002865(22) Date de dépôt international :
24 décembre 2013 (24.12.2013)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(71) Déposant : **ARCELORMITTAL INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO SL** [ES/ES]; CL/Chavarri, 6, 48910 Ses-
tao, Bizkaia (ES).(72) Inventeurs : **MORETTO, Christian**; 14 boulevard de la
tour neuve, F-57700 SAINT NICOLAS EN FORET (FR).
PETHE, Nicolas; 60 rue du bac, F-54460 LIVERDUN
(FR). **COUTURIER, Andrey**; 22 rue du moulin, F-71390
GRANGES (FR).(74) Mandataires : **JOURDIER, Martin** et al.; ArcelorMittal
France, Research & Development Intellectual Property, 6,
rue Campra - Immeuble le Cézanne, 93200 Saint-Denis
(FR).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : HOT ROLLING METHOD

(54) Titre : PROCEDE DE LAMINAGE A CHAUD

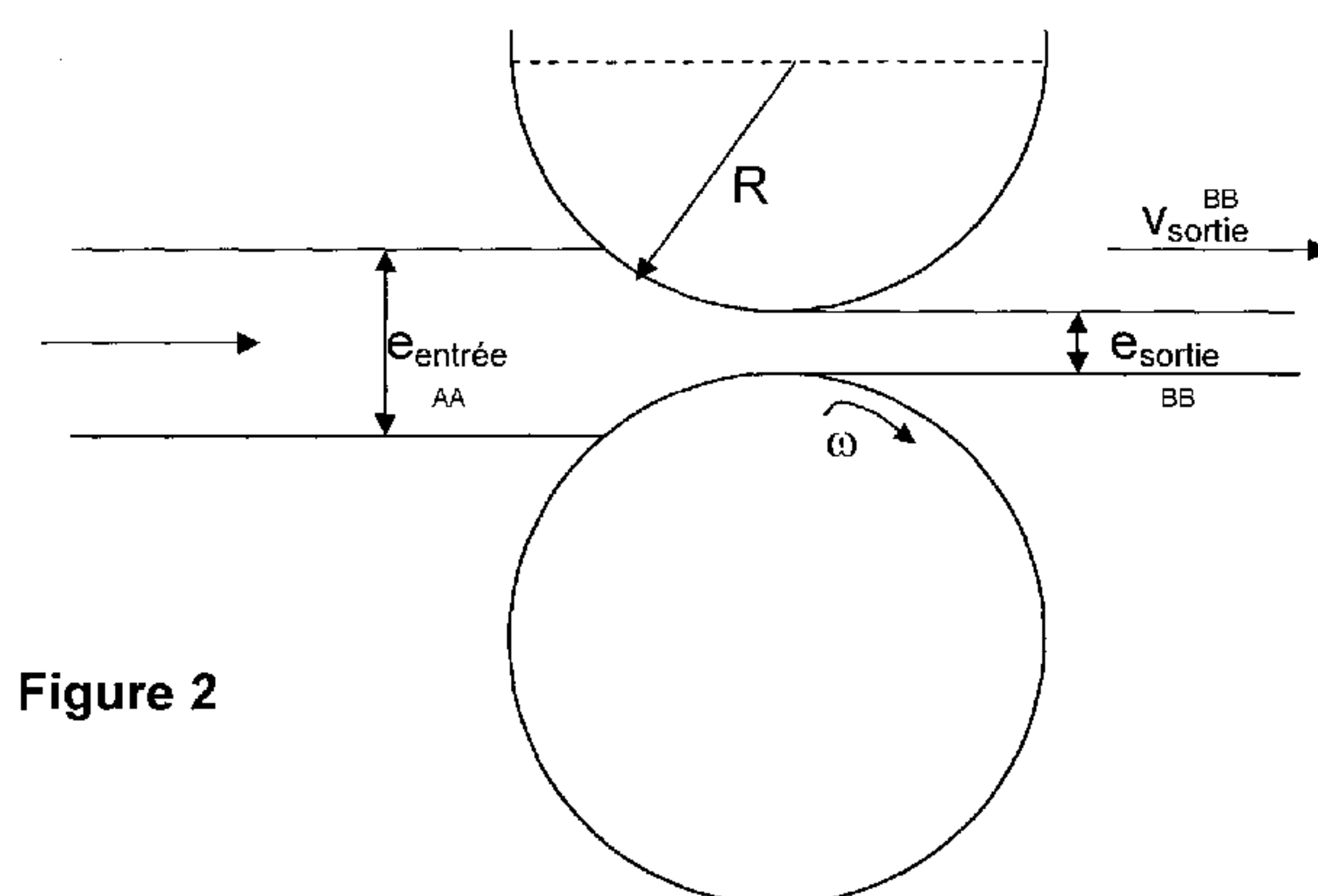


Figure 2

$$FWS = \frac{|v_{sortie} - v_{cage_{CC}}|}{v_{cage_{CC}}} \quad (a)$$

AA In
BB Out
CC Stand(57) Abstract : Method for regulating at least one of the parameters (a) of a method for the hot-rolling of a part-finished metallic product through at least one stand of rolls of a rolling mill comprising at least two working rolls, the regulating method comprising the following steps of calculating a forward slippage ratio (FWS) using the following equation: $FWS = (a)$ where v_{out} is the speed of the part-finished product leaving said stand and v_{stand} is the linear speed of the working rolls; calculating an estimate of a coefficient of friction (μ_{actual}) as a function of a measured value of the clamping force (F) of said working rolls in the stand and of the forward slippage ratio (FWS) previously calculated; and regulating at least one of the parameters (a) on the basis of the calculated estimate of the co-efficient of friction (μ_{actual}). Associated rolling method, associated rolling mill and associated computer program product.

(57) Abrégé : Procédé

[Suite sur la page suivante]



WO 2015/097488 A1

WO 2015/097488 A1

de régulation d'au moins l'un des paramètres (a) d'un procédé de laminage à chaud d'un demi-produit métallique dans au moins une cage de laminoir comprenant au moins deux cylindres de travail, le procédé de régulation comprenant les étapes suivantes de calcul d'un ratio de glissement vers l'avant (FWS) à l'aide de l'équation suivante : $FWS = (a)$ où v_{sortie} est la vitesse du demi-produit à la sortie de ladite cage et v_{cage} est la vitesse linéaire des cylindres de travail; le calcul d'une estimation d'un coefficient de friction ($\mu_{\text{réel}}$) en fonction d'une valeur mesurée de la force de serrage (F) desdits cylindres de travail dans la cage et du ratio de glissement vers l'avant (FWS) précédemment calculé; et la régulation d'au moins l'un des paramètres (a) à partir de l'estimation calculée du coefficient de friction ($\mu_{\text{réel}}$). Procédé de laminage, laminoir et produit programme d'ordinateur associés.

Procédé de laminage à chaud

L'invention concerne le laminage à chaud des produits métallurgiques. Plus
5 précisément, elle concerne un procédé de régulation d'au moins un paramètre du
procédé de laminage à chaud.

Dans la suite du texte on prendra l'exemple du laminage à chaud des
bandes d'acier mais l'invention est applicable au laminage à chaud d'autres
produits métallurgiques, notamment l'aluminium ou ses alliages.

10 Habituellement, les bandes d'acier laminées à chaud sont fabriquées selon
le schéma suivant:

- coulée continue d'une brame d'épaisseur allant de 200 à 260 mm;
- réchauffage de la brame à une température d'environ 1100-1200°C;
- passage de la brame dans un laminoir dégrossisseur comportant une
15 cage réversible unique ou une pluralité de cages indépendantes (par exemple au
nombre de cinq) disposées les unes à la file des autres, de manière à obtenir une
bande ayant une épaisseur de 30 à 50 mm environ;
- passage de la bande dans un laminoir finisseur comportant une pluralité
de cages (par exemple au nombre de six ou sept) dans lesquelles la bande est
20 simultanément présente, de manière à lui conférer une épaisseur de 1,5 à 10 mm
environ, puis mise de la bande sous forme d'une bobine.

La bande laminée à chaud ainsi obtenue peut ensuite être soumise à des
traitements thermiques ou mécaniques qui lui conféreront ses propriétés
définitives, ou subir un laminage à froid qui réduira encore davantage son
25 épaisseur avant l'accomplissement des ultimes traitements thermiques ou
mécaniques.

Pendant le laminage à chaud de bandes d'acier, dans chaque cage du train
finisseur, la bande d'acier est soumise à un chemin thermique et mécanique bien
déterminé (réduction, température) qui est influencé par le frottement entre les
30 rouleaux de travail et la bande dans l'entrefer entre les rouleaux. Ce chemin a une

influence majeure sur la qualité de la bande (aspect de surface et propriétés métallurgiques).

Il est donc primordial de pouvoir contrôler et maîtriser le frottement dans l'entrefer des rouleaux (ou cylindres). Un coefficient de frottement trop élevé conduit à une consommation d'énergie trop importante, une dégradation rapide des rouleaux ainsi que des défauts de surface sur la bande. A l'inverse, un coefficient de frottement trop faible provoque des problèmes de glissement et de guidage de la bande ainsi que des problèmes d'engagement de celle-ci dans la cage.

La régulation du coefficient de frottement est notamment assurée par le processus de lubrification.

Actuellement la lubrification est généralement réalisée au niveau de chaque cage du laminoir par injection d'une émulsion composée d'eau et d'un fluide lubrifiant, habituellement de l'huile, sur le cylindre au niveau de l'entrefer, voir par exemple le document US-A-3605473.

La nécessité d'avoir une lubrification performante est encore accrue avec le laminage des nouvelles nuances d'acier THR (Très Haute Résistance, généralement comprise entre 450 et 900 MPa) ou UHR (Ultra Haute Résistance, généralement supérieure à 900 MPa) et/ou des nouveaux formats, par exemple des épaisseurs de bande inférieures à 3mm. En effet ces aciers tels que l'USIBOR® ou les aciers Dual Phase sont naturellement plus durs et nécessitent l'application d'une force de laminage plus importante, ce qui réduit la capacité du laminoir. Ces aciers peuvent aussi avoir une composition de surface telle qu'elle présente moins de calamine qui agit habituellement comme premier élément de lubrification.

De plus dans les procédés de laminage actuels, pour éviter le risque de non engagement de la bande dans l'entrefer des cylindres lié à un coefficient de frottement trop élevé, l'injection d'émulsion lubrifiante est désactivée lors du laminage du début de la bande. De la même façon pour éviter que la bande suivante refuse de s'engager à cause de la présence d'émulsion lubrifiante sur les cylindres, l'injection d'émulsion lubrifiante est désactivée lors du laminage de la queue de la bande précédente. Ces deux portions qui sont donc laminées sans

lubrifiant doivent être éliminées car n'ayant pas l'épaisseur requise, ce qui représente une perte de plusieurs mètres de bande (de 5 à 10 mètres de bande par cage) et donc une perte non négligeable en terme de perte de productivité.

Afin d'assurer une lubrification efficace et par conséquent réguler le coefficient de friction de sorte à éviter des incidents de laminage tels que glissements ou non engagement de la bande de nombreuses solutions ont été proposées.

Le document JP-A-2008264828 décrit un procédé de laminage à chaud dans lequel les cylindres de travail sont recouverts d'une couche de revêtement de composition spécifique afin de garantir une certaine valeur de coefficient de frottement.

Le document JP-A-2005146094 décrit un procédé de laminage à chaud dans lequel le glissement de la bande serait évité en utilisant une huile lubrifiante de composition particulière.

Cependant ces solutions ne permettent pas de réguler le coefficient de frottement en continu en cours de laminage. En effet, le coefficient de frottement dépend entre autres de la nature du matériau constituant la bande à laminier, de l'état des cylindres de travail (rugosité, dégradation, calamine, etc.), de la vitesse de laminage et du pourcentage de réduction à atteindre. Ainsi, l'efficacité de lubrification peut être très différente entre le début et la fin d'une campagne de laminage, et même d'un train à l'autre et d'une cage à l'autre dans le même train. Or les deux solutions proposées ne permettent pas de prendre en compte les variations de ces paramètres au cours du procédé.

Le document JPH-A-1156410 décrit un procédé dans lequel la force de serrage des cylindres de laminage appliquée serait mesurée par capteur, puis la quantité d'huile lubrifiante injectée serait ajustée de sorte que la force de laminage mesurée soit égale à une valeur cible.

Cette solution vise à ajuster le coefficient de frottement en cours de procédé mais ne prend pas en compte l'ensemble des paramètres dont dépend le coefficient de frottement, ce qui la rend peu efficace. De plus cette solution implique des risques importants d'instabilités du procédé de laminage, telles que

des variations de vitesse ou de traction, si la quantité de lubrifiant à apporter pour atteindre la force requise est importante.

Le but de l'invention est donc de fournir un procédé de laminage dans lequel le coefficient de frottement est régulé de façon fiable et efficace en cours de production afin d'éviter les incidents de laminage et d'obtenir un rendement optimal. Le but de l'invention est également de façon préférentielle de fournir un procédé réduisant les instabilités du procédé de laminage et permettant de lubrifier sur toute la longueur de la bande.

A cet effet l'invention a pour premier objet un procédé de régulation selon la revendication 1.

Ce procédé de régulation peut également comprendre les caractéristiques des revendications 2 à 7, prises isolément ou en combinaison.

L'invention a également pour objet un procédé de laminage selon la revendication 8.

Ce procédé de laminage peut également comprendre les caractéristiques des revendications 9 à 13, prises isolément ou en combinaison.

L'invention a également pour objet un laminoir à chaud selon la revendication 14.

Ce laminoir peut également comprendre les caractéristiques de la revendication 15.

L'invention a également pour objet un produit programme d'ordinateur selon la revendication 16.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaitront à la lecture de la description qui va suivre.

Afin d'illustrer l'invention, des essais ont été réalisés et vont être décrits à titre d'exemples non limitatifs, notamment en référence aux figures qui représentent :

- La figure 1 représente un laminoir à deux cages équipées d'un mode de réalisation d'un dispositif de régulation selon l'invention,

- La figure 2 représente les différentes variables utilisées dans un mode de réalisation d'un procédé de régulation selon l'invention
- La figure 3 représente un schéma de régulation selon un premier mode de réalisation de l'invention
- 5 - La figure 4 représente un schéma de régulation selon un second mode de réalisation de l'invention
- La figure 5 représente le début d'injection d'huile et le couple moteur en fonction du temps lors d'un essai utilisant un procédé de régulation selon l'invention
- 10 - La figure 6 représente l'épaisseur de la bande laminée en sortie de cage en fonction du temps lors d'un essai utilisant un procédé de régulation selon l'invention

La figure 1 montre une bande métallique B en cours de laminage dans un laminoir comprenant deux cages 1, 2 dans lesquelles la bande B est
15 simultanément sous emprise, par exemple un laminoir finisseur pour le laminage à chaud des bandes d'acier. Les laminoirs de ce type comportent généralement 5, 6 ou 7 cages. Chacune des cages 1, 2 comprend, classiquement, deux cylindres de travail 1a, 1a' et 2a, 2a' et deux cylindres de soutien 1b, 1b' et 2b, 2b'. Chaque
20 cage est activée par un couple moteur C₁, C₂ (non représentés). La distance entre les deux cylindres de travail, respectivement 1a -1a' et 2a-2a' se nomme l'entrefer S (non représenté) et est réglé à l'aide de vis de serrage 7.

La lubrification des cylindres est assurée au niveau de chacune des cages par un dispositif d'injection 3, tel que par exemple des buses de projection
25 permettant de projeter une émulsion d'huile et d'eau.

Selon un mode de réalisation de l'invention, un dispositif 4 de mesure de vitesse est disposé à la sortie de la première cage dans le sens de défilement de la bande, ce dispositif 4 permet de mesurer la vitesse de la bande en sortie de la cage v_{sortie} . Ce dispositif peut être, à titre d'exemple, un dispositif à mesure optique
30 tel qu'un vélocimètre laser. Cette mesure de la vitesse permet de calculer en temps réel le glissement vers l'avant (FWS pour ForWard Slip ratio en anglais) à partir de la formule suivante :

$$FWS = \frac{|v_{sortie} - v_{cage}|}{v_{cage}} \quad (\text{Formule 1})$$

Dans laquelle :

- v_{sortie} est la vitesse de la bande en sortie de la cage, par exemple mesurée à l'aide du dispositif 4.
- v_{cage} est la vitesse linéaire des cylindres de travail calculée selon la formule suivante :

$$v_{cage} = \omega R \quad (\text{Formule 2})$$

R étant le rayon du cylindre de travail et ω la vitesse angulaire des cylindres de travail mesurée par exemple par un générateur à Impulsion)

Les vitesses v_{sortie} et v_{cage} peuvent être exprimées en n'importe quelle unité de vitesse, sous réserve d'être exprimées toutes deux dans cette même unité. De même l'unité dans laquelle est exprimée la vitesse angulaire ω doit être cohérente avec celle de v_{cage} .

Toujours selon un mode de réalisation de l'invention un dispositif 5 de mesure de force permettant de mesurer en temps réel la force de serrage F des cylindres de travail est également prévu au niveau de chaque cage. Ces dispositifs bien connus de l'homme du métier peuvent être par exemple des jauges de contraintes installées sur les montants de cage ou sous les vis de serrage 7.

Les données mesurées de force de serrage F et de vitesse de la bande en sortie de cage v_{sortie} sont transmises à une unité de traitement 6 qui peut ensuite, en fonction de ces mesures et d'autres paramètres enregistrés au préalable, envoyer des consignes par exemple aux buses d'injection d'émulsion lubrifiante 3 ou aux vis de serrage 7.

Une unité de traitement 6 permettant de mettre en œuvre un premier mode de réalisation du procédé de régulation selon l'invention est décrite ci-dessous en référence à la figure 3.

La vitesse de la bande en sortie de la cage v_{sortie} et la vitesse angulaire des cylindres de travail ω sont mesurées en ligne et leurs valeurs sont envoyées à un

premier calculateur 8. Ce premier calculateur 8 comprend au moins une mémoire interne sur laquelle est stockée la valeur du rayon R des cylindres de travail, ce qui permet de calculer la vitesse linéaire des cylindres de travail v_{cage} et ensuite la valeur du ratio de glissement vers l'avant FWS selon la formule 1.

5 La valeur calculée FWS est ensuite transmise à un second calculateur 9 qui reçoit également en donnée d'entrée la valeur de la force de serrage F mesurée en temps réel par le capteur 5. Ce second calculateur comprend au moins une mémoire interne sur laquelle sont stockés les paramètres P_1 . Ces paramètres P_1 dépendent du modèle choisi pour le calcul du coefficient de frottement $\mu_{\text{réel}}$.

10 Différents modèles simplifiés peuvent être adaptés pour obtenir le calcul du coefficient de frottement $\mu_{\text{réel}}$ à partir des valeurs de ratio de glissement vers l'avant FWS et de force de serrage F . Ces modèles sont connus dans leur généralité mais pas dans leur application particulière telle que décrite dans l'invention.

15 A titre d'exemple nous allons décrire ci-après l'utilisation aux fins de l'invention du modèle d'Orowan, mais d'autres modèles connus de l'homme du métier pourront être utilisés, tel que le modèle de SIMS ou Bland & Ford. La théorie générale de chacun de ces trois modèles est décrite par exemple dans
 20 « The calculation of roll pressure in hot and cold flat rolling », E.Orowan, Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, June 1943, vol.150, n°1 140-167 pour le modèle d'Orowan, « The calculation of roll force and torque in hot rolling mills », R.B. Sims, Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, June 1954, vol.168, n°1 191-200 pour le modèle de Sims, "The Calculation of Roll Force and Torque in Cold Strip Rolling with Tensions », D.R.
 25 Bland et H. Ford, Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, June 1948, vol.149, p.144, pour le modèle de Bland & Ford.

Pour calculer en temps réel le coefficient de frottement $\mu_{\text{réel}}$ en utilisant le modèle d'Orowan les paramètres P_1 sont les épaisseurs d'entrée $e_{\text{entrée}}$ et de sortie e_{sortie} de la bande, les tractions d'entrée $\sigma_{\text{entrée}}$ et de sortie σ_{sortie} de la bande,
 30 ces paramètres étant dans l'exemple présent fixés en début de laminage mais peuvent également être estimés ou mesurés en temps réel. Ces paramètres sont illustrés en figure 2.

A partir de ces données le second calculateur 9 calcule ainsi le coefficient de frottement $\mu_{\text{réel}}$, donnée transmise à un processeur 10. Le temps de calcul de $\mu_{\text{réel}}$ est inférieur ou égal à 100ms et de préférence inférieur ou égal à 50ms.

Les données d'entrée de processeur 10 sont $\mu_{\text{réel}}$, une valeur cible de coefficient de frottement μ_{cible} déterminée à partir d'abaques ou de modélisation, en fonction de la nuance d'acier de la bande laminée, du nombre de kilomètres de bandes laminées sur l'installation considérée, de l'usure des rouleaux, du type d'huile utilisée, etc..ainsi qu'un paramètre α_0 . Ce paramètre est la valeur initiale du paramètre de procédé α qui sera utilisé pour réguler le coefficient de friction $\mu_{\text{réel}}$.

Ce paramètre peut être à titre d'exemple le débit d'injection Q_{huile} de l'huile lubrifiante. La valeur initiale peut être déterminée par exemple à l'aide d'abaques ou par modélisation.

La valeur du coefficient de frottement $\mu_{\text{réel}}$ est ensuite comparée à la valeur cible de coefficient de frottement μ_{cible} . Si la valeur absolue de la différence entre ces deux valeurs $|\mu_{\text{cible}} - \mu_{\text{réel}}|$ est supérieure à une valeur prédéterminée Δ , une nouvelle valeur du paramètre α_n est alors calculée puis appliquée afin que la valeur du coefficient de frottement calculée $\mu_{\text{réel}}$ soit ramenée à une valeur plus proche de la valeur cible μ_{cible} , et ce afin d'éviter un refus d'engagement et de glissement de la bande si $\mu_{\text{réel}} < \mu_{\text{cible}} + \Delta$ ou une usure prématurée des cylindres de travail et des défauts de surface dans le cas contraire. On pourra par exemple réduire ou augmenter le débit d'injection Q_{huile} de l'huile lubrifiante. Il est préférable de garder le débit d'eau dans l'émulsion constant pour des considérations thermiques de refroidissement du cylindre et de bon fonctionnement afin de s'assurer que l'émulsion injectée couvre une grande partie du cylindre.

Le temps qui s'écoule entre la mesure de la vitesse de sortie de la bande v_{sortie} et la réception de la consigne α_n est inférieur ou égal à 500 ms et de préférence inférieur ou égal à 150 ms.

Cette succession de mesures, calculs et régulations peut ainsi être répétée jusqu'à la fin du laminage de la bande considérée et jusqu'à la fin de la campagne de laminage.

La figure 4 représente un schéma de régulation selon un second mode de réalisation de l'invention.

La différence avec le premier mode de réalisation décrit précédemment et illustré en figure 3 est que les valeurs FWS et $\mu_{\text{réel}}$ calculées respectivement par les calculateurs 8 et 9 sont transmises à un second processeur 11. Les données d'entrée de ce second processeur sont donc FWS, $\mu_{\text{réel}}$ ainsi qu'un ensemble de paramètres P_2 . Ces paramètres P_2 dépendent du modèle choisi pour le calcul du coefficient de frottement $\mu_{\text{réel}}$.

Si l'on utilise comme dans le mode de réalisation précédent le modèle d'Orowan les paramètres P_2 sont les épaisseurs d'entrée $e_{\text{entrée}}$ et de sortie e_{sortie} de la bande, les tractions d'entrée $\sigma_{\text{entrée}}$ et de sortie σ_{sortie} de la bande, le rayon R des rouleaux, ces paramètres étant dans l'exemple présent fixés en début de laminage, mais peuvent également être estimés ou mesurés en temps réel. P_2 inclut aussi le module de cédage M de la cage du laminoir considérée. Ce module, généralement exprimé en t/mm, caractérise la déformation élastique de la cage liée à l'effort de laminage.

A partir de ces données le processeur calcule par exemple la valeur de force de laminage F' qui devrait être appliquée pour obtenir l'épaisseur e_{sortie}

En effet la nouvelle valeur du paramètre α peut générer des modifications sur d'autres paramètres et ainsi créer des problèmes par exemple de sous épaisseur en sortie de la cage.

En effet si l'on modifie le débit d'huile injecté Q_{huile} on modifie le coefficient de frottement $\mu_{\text{réel}}$ et par conséquent la force F appliquée par le rouleau sur la bande. Cela se traduit alors par une modification de l'épaisseur e_{sortie} de la bande en sortie de la cage, comme illustré en figure 5. On peut donc obtenir des épaisseurs en sortie de cage non conformes. Si ce problème se présente on peut alors utiliser le même modèle que celui utilisé pour calculer $\mu_{\text{réel}}$ mais en sens inverse. Dans le cas présent du modèle d'Orowan on reprend les paramètres d'entrée d'épaisseur $e_{\text{entrée}}$, e_{sortie} , de traction $\sigma_{\text{entrée}}$, σ_{sortie} , de diamètre D , le coefficient de frottement cible $\mu_{\text{aimé}}$, et le ratio de glissement calculé FWS et on obtient ainsi la force F' à appliquer sur la bande, et la variation nécessaire de

l'entrefer ΔS selon la formule 3 ci-dessous et on corrige alors en conséquence les positions de vis de serrage 7 qui définissent l'entrefer.

$$\Delta S \equiv \frac{F' - F}{M} \quad (\text{Formule 3})$$

Dans laquelle :

- 5 - F' est la valeur de la force de laminage calculée par le processeur 11.
- F est la valeur de la force de laminage mesurée par le capteur 5.
- M est le module de cédage de la cage considérée

Les unités de ces trois grandeurs doivent être cohérentes entre elles et peuvent par exemple être en Newton pour les forces F et F' et en N/mm pour le module de cédage M.

On pourra utiliser ce même principe de calcul par modèle inversé pour contrôler d'autres paramètres du procédé de laminage tel que les tractions amont et aval de la cage $\sigma_{\text{entrée}}$, σ_{sortie} afin d'éviter des perturbations de la vitesse de la bande en sortie de laminage.

15 Les unités de traitement décrites précédemment en référence aux figures 3 et 4 contiennent différents éléments tels que des calculateurs ou des processeurs mais on pourrait envisager un seul et même processeur permettant de réaliser les différentes opérations de calcul et consignes, ou tout autre configuration possible permettant des étapes de calcul et consignes.

20

Essai

Un procédé de laminage à chaud selon l'invention a été réalisé avec une bande d'acier DWI (Drawn and Wall Ironed), l'huile de lubrification utilisée étant une huile standard commerciale.

25

Les résultats sont illustrés en figures 5 et 6.

Comme illustré en figure 5, le débit d'injection Q_{huile} est nul lors du laminage de la tête de bande. Ceci est volontaire cet essai étant principalement consacré à la lubrification de la queue de bande.

30 Par contre on constate que le débit d'injection d'huile Q_{huile} a été régulé jusqu'à la fin du laminage de la bande, ce qui signifie que la queue de bande a

également été laminée en présence de lubrifiant, ce qui n'était pas le cas dans l'art antérieur.

La figure 6 représente l'épaisseur de la bande en sortie de cage e_{sortie} en fonction du temps de laminage. On observe une chute de cette épaisseur e_{sortie} après 10 secondes, cette baisse correspond à ce qui a été expliqué précédemment. La modification du débit d'huile injecté Q_{huile} entraîne une modification de la force F appliquée et dans le cas présent une diminution importante de l'épaisseur e_{sortie} de la bande en sortie de la cage. Grâce à la régulation illustrée en figure 4 une nouvelle force de serrage F' est calculée et l'entrefer S modifié en conséquence afin d'obtenir une épaisseur de sortie e_{sortie} conforme aux attentes du client. L'augmentation et le maintien de l'épaisseur e_{sortie} sont visibles sur cette figure 6.

Ni glissement, ni refus d'engagement de la bande suivante ne se sont produits lors de cet essai, ce qui signifie que le coefficient de frottement a été régulé de façon fiable et efficace. De plus, la queue de bande a pu être laminée en présence de lubrifiant sans incidence sur le laminage de la bande suivante.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de régulation d'au moins l'un des paramètres (α) d'un procédé de laminage à chaud d'un demi-produit métallique dans au moins une cage de laminoir comprenant au moins deux cylindres de travail,

le procédé de régulation comprenant les étapes suivantes :

- le calcul d'un ratio de glissement vers l'avant (FWS) à l'aide de l'équation suivante :

$$FWS = \frac{|v_{sortie} - v_{cage}|}{v_{cage}}$$

où v_{sortie} est la vitesse du demi-produit à la sortie de ladite cage et v_{cage} est la vitesse linéaire des cylindres de travail ;

- le calcul d'une estimation d'un coefficient de friction ($\mu_{réel}$) en fonction d'une valeur mesurée de la force de serrage (F) desdits cylindres de travail dans la cage et du ratio de glissement vers l'avant (FWS) précédemment calculé ; et
- la régulation d'au moins l'un des paramètres (α) à partir de l'estimation calculée du coefficient de friction ($\mu_{réel}$).

2. Procédé de régulation selon la revendication 1, dans lequel :

- lors de l'étape de calcul de l'estimation du coefficient de friction ($\mu_{réel}$) , une valeur cible du coefficient de friction (μ_{cible}) est prédéterminée, et le coefficient de friction ($\mu_{réel}$) est calculé en temps réel ;
- lors de l'étape de régulation, si $|\mu_{cible} - \mu_{reel}|$ est supérieure à une valeur prédéterminée (Δ), le paramètre de procédé (α) correspondant est ajusté de telle sorte que $|\mu_{cible} - \mu_{reel}|$ devienne inférieure ou égale à la valeur prédéterminée (Δ).

3. Procédé de laminage selon la revendication 1 ou 2, dans lequel avant le calcul du ratio de glissement vers l'avant (FWS), on mesure la vitesse (v_{sortie}) du

demi-produit à la sortie de la cage est mesurée, et le temps entre ladite mesure de (v_{sortie}) et le calcul du coefficient de friction ($\mu_{\text{réel}}$) est inférieur ou égal à 100ms..

4. Procédé de laminage selon la revendication 3, dans lequel le temps entre la mesure de v_{sortie} et le calcul de $\mu_{\text{réel}}$ est inférieur ou égal à 50ms.
5. Procédé de laminage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le temps entre la mesure de v_{sortie} et la régulation de l'un au moins l'un des paramètres du procédé de laminage à chaud (α) est inférieur ou égal à 500ms.
6. Procédé de régulation selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant une étape de correction, ultérieure à l'étape de régulation de l'un au moins un des paramètres α du procédé, qui consiste à réguler la force de serrage F en fonction des valeurs de ratio de glissement vers l'avant (FWS) et de coefficient de frottement ($\mu_{\text{réel}}$) calculées.
7. Procédé de régulation selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant une étape de correction, ultérieure à l'étape de régulation d'un au moins un des paramètres α du procédé, qui consiste à réguler les tractions d'entrée ($\sigma_{\text{entrée}}$) et de sortie (σ_{sortie}) de la bande en fonction des valeurs du ratio de glissement vers l'avant (FWS) et du coefficient de frottement ($\mu_{\text{réel}}$) calculées.
8. Procédé de laminage à chaud d'un demi-produit métallique dans au moins une cage de laminage comprenant au moins deux cylindres de travail dans lequel au moins l'un des paramètres α du procédé est régulé à l'aide d'un procédé de régulation conforme à l'une quelconque des revendications précédentes.
9. Procédé de laminage selon la revendication 8, dans lequel une émulsion lubrifiante composée d'huile et d'eau est injectée au niveau de l'entrefer des cylindres de travail et dans lequel l'un au moins un des paramètres de procédé α est le débit d'injection de ladite huile (Q_{huile}).

10. Procédé de laminage selon l'une des revendications 8 ou 9, dans lequel le demi-produit métallique laminé est une bande d'aluminium.
11. Procédé de laminage selon l'une des revendications 8 ou 9, dans lequel le demi-produit métallique laminé est une bande d'acier.
12. Procédé de laminage selon la revendication 11, dans lequel la bande d'acier laminée est une bande d'acier à très haute résistance ou à Ultra Haute résistance.
13. Procédé de laminage selon la revendication 11 ou 12, dans lequel la bande d'acier laminée à une épaisseur à la fin du laminage inférieure ou égale à 3 mm.
14. Laminoir à chaud pour la mise en œuvre du procédé de laminage selon l'une quelconque des revendications 8 à 11.
15. Laminoir à chaud selon la revendication 12 dans lequel la vitesse du demi-produit v_{sortie} en sortie de la cage de laminoir est mesurée à l'aide d'un vélocimètre laser.
16. Produit programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont mises en œuvre par un ordinateur, mettent en œuvre le procédé de régulation selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.

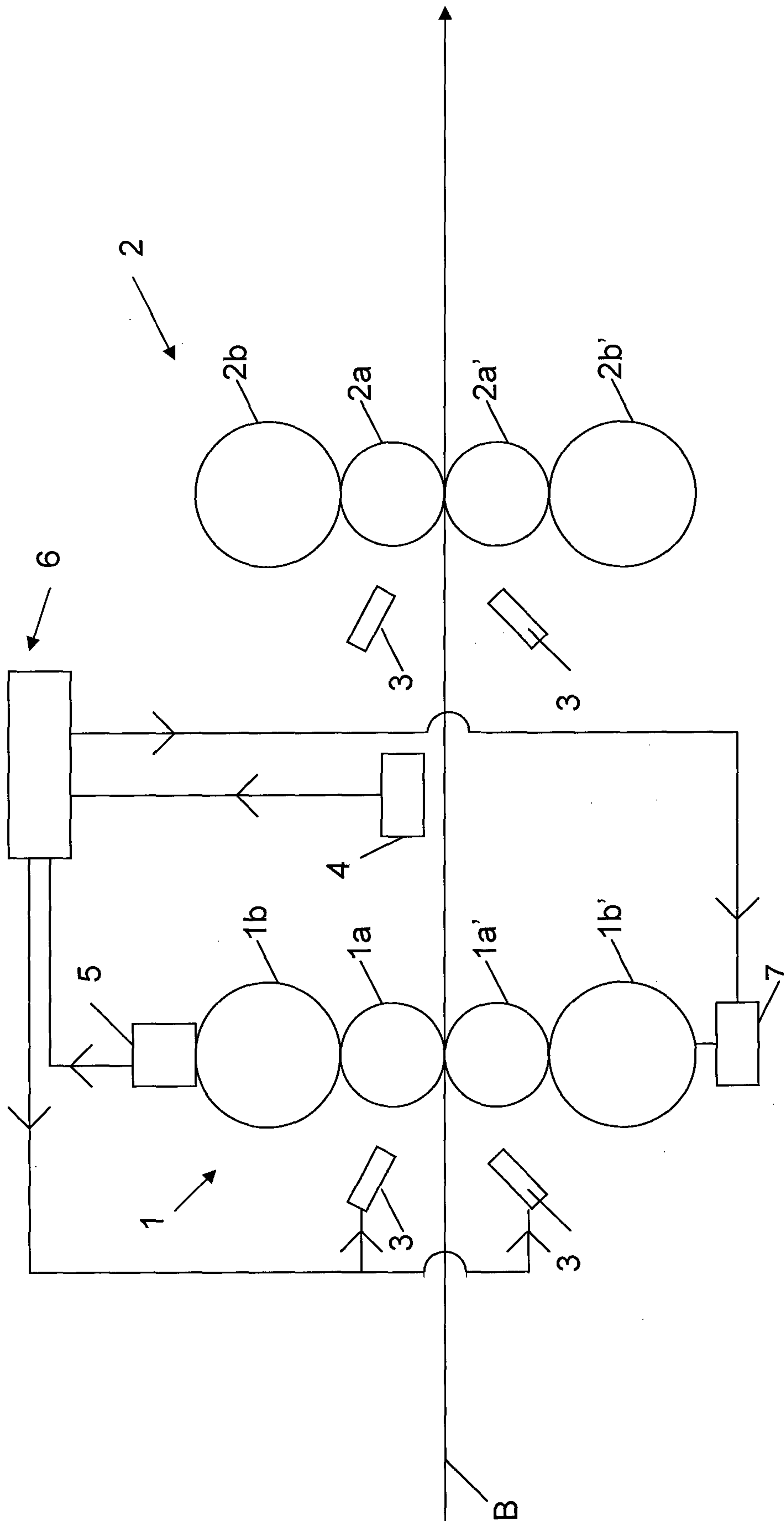


Figure 1

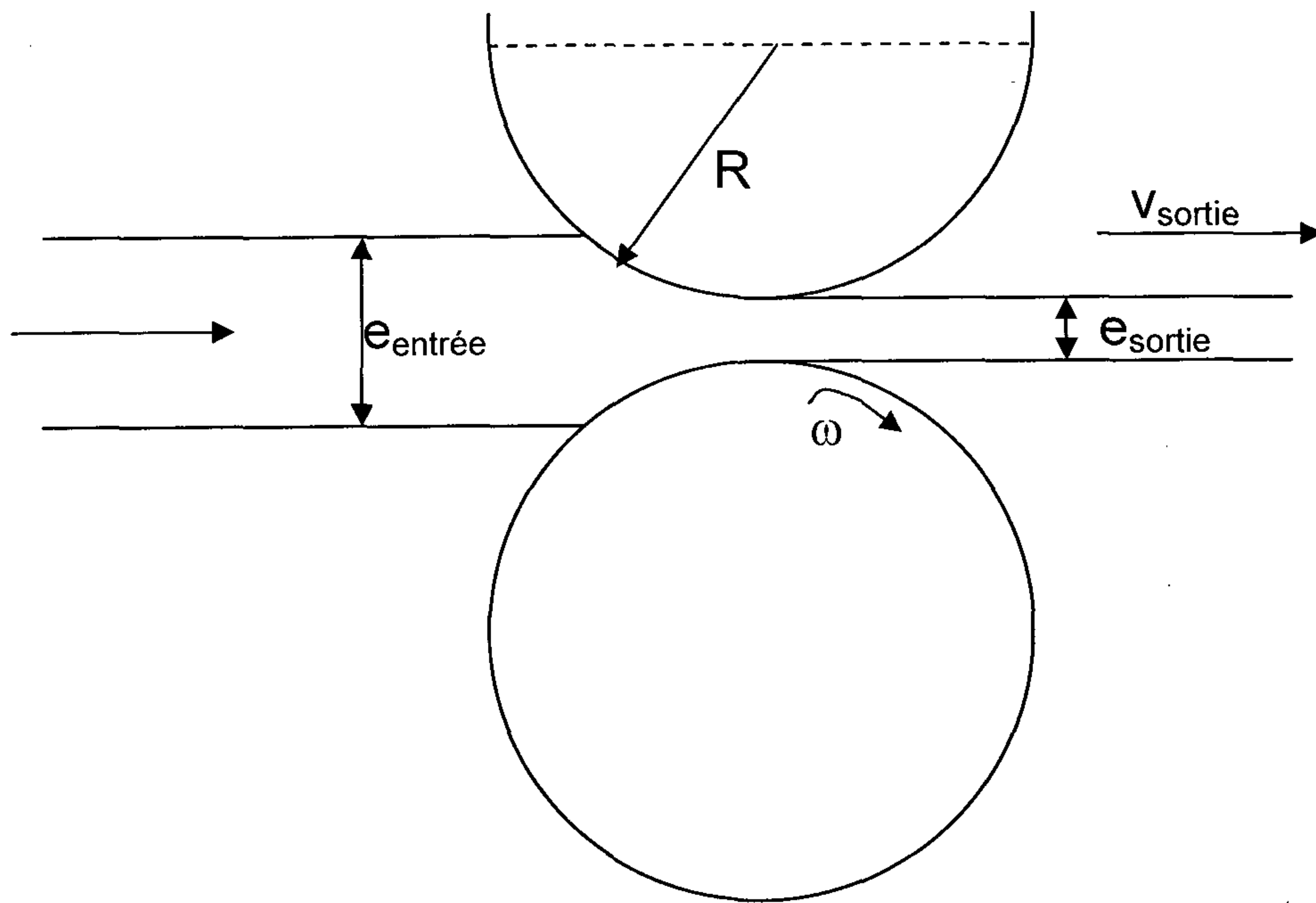


Figure 2

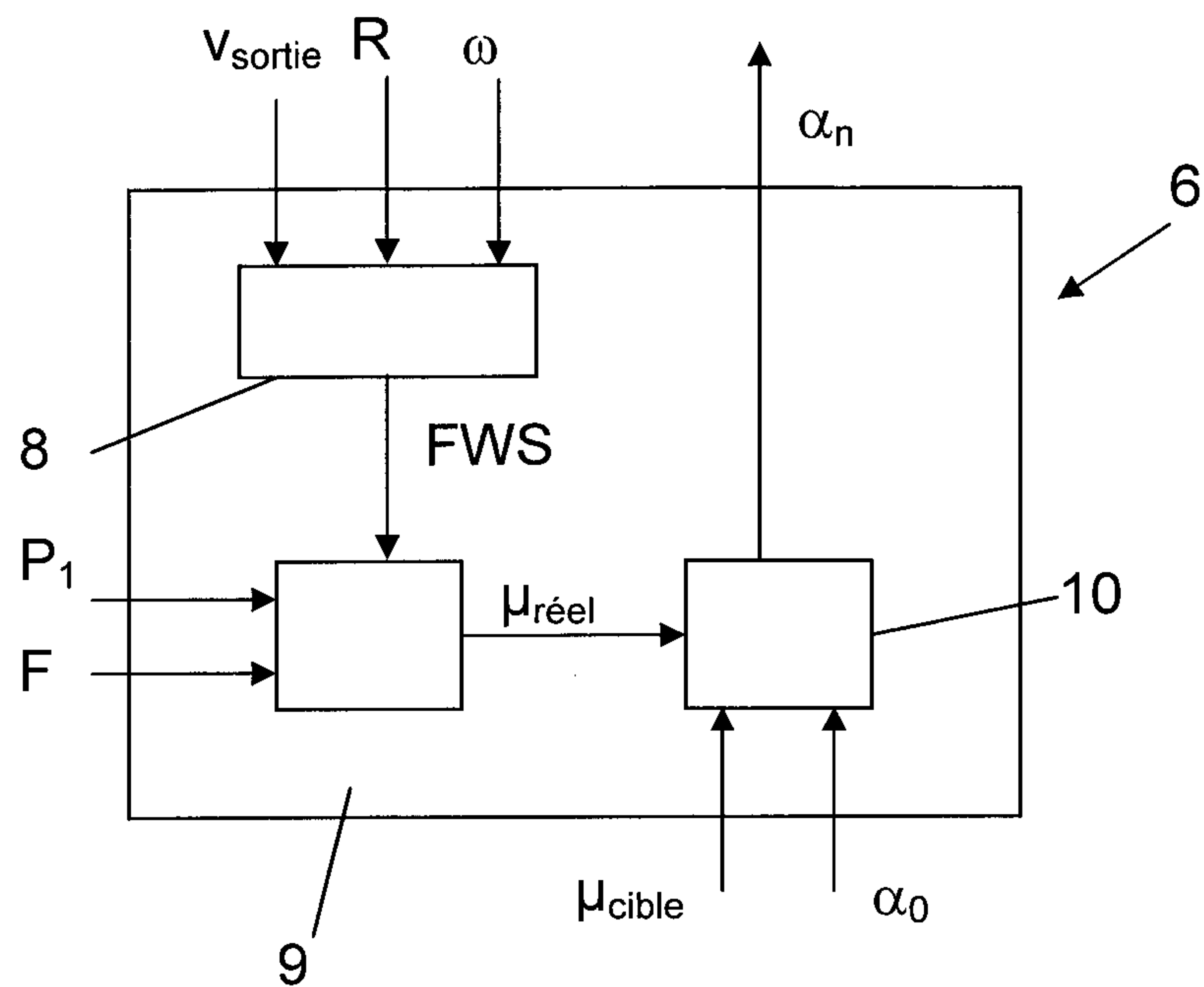


Figure 3

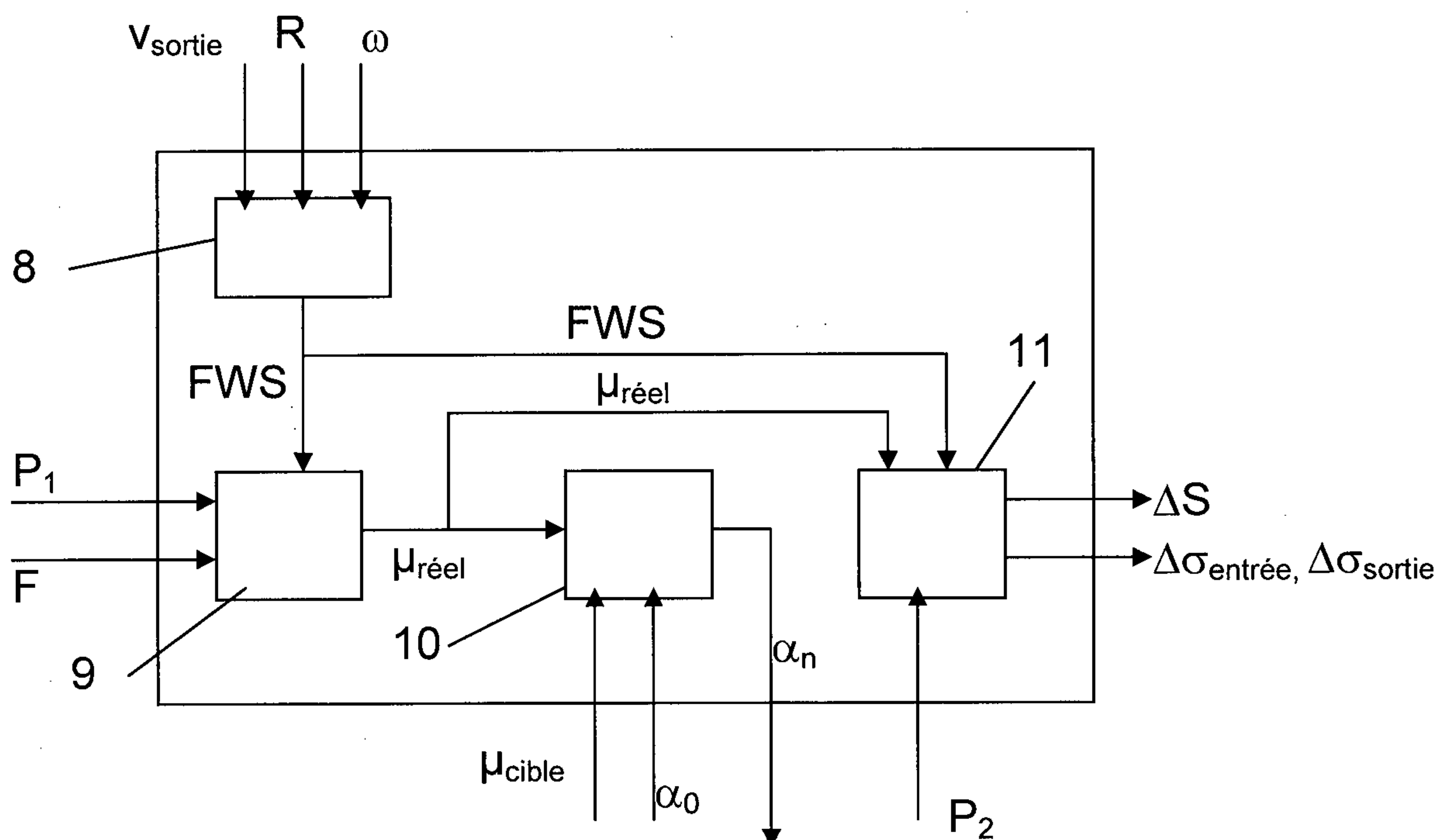


Figure 4

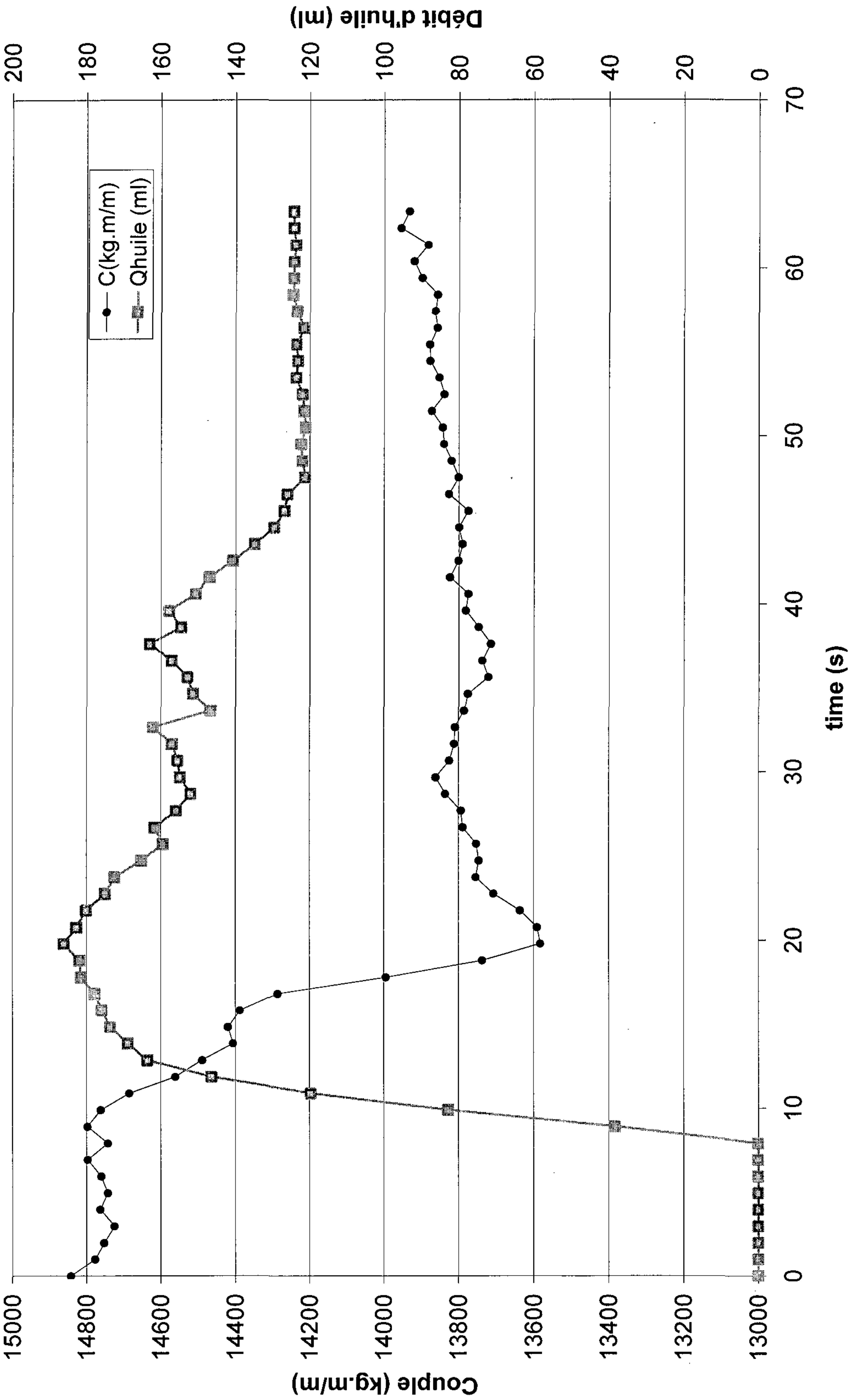


Figure 5

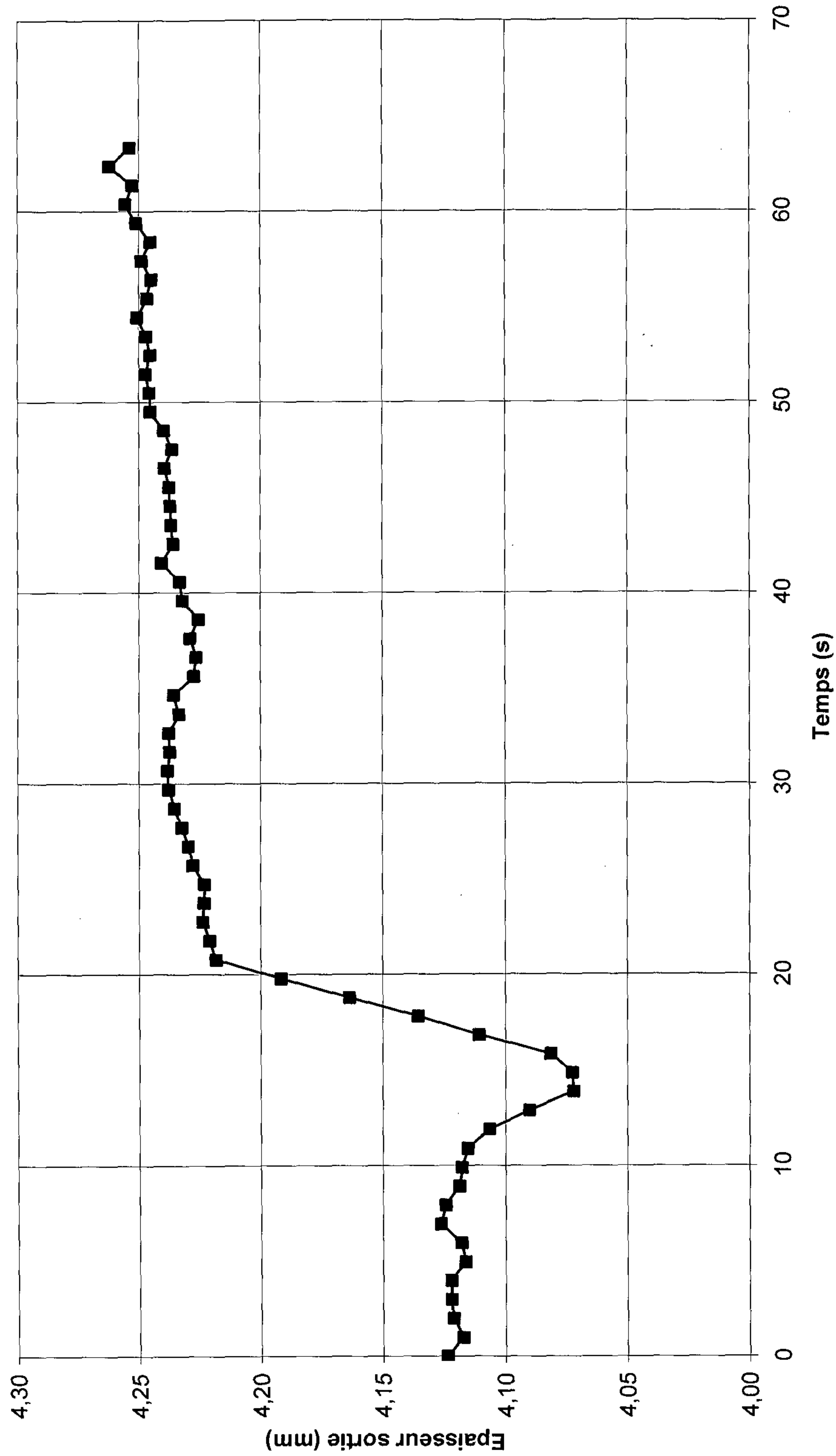


Figure 6

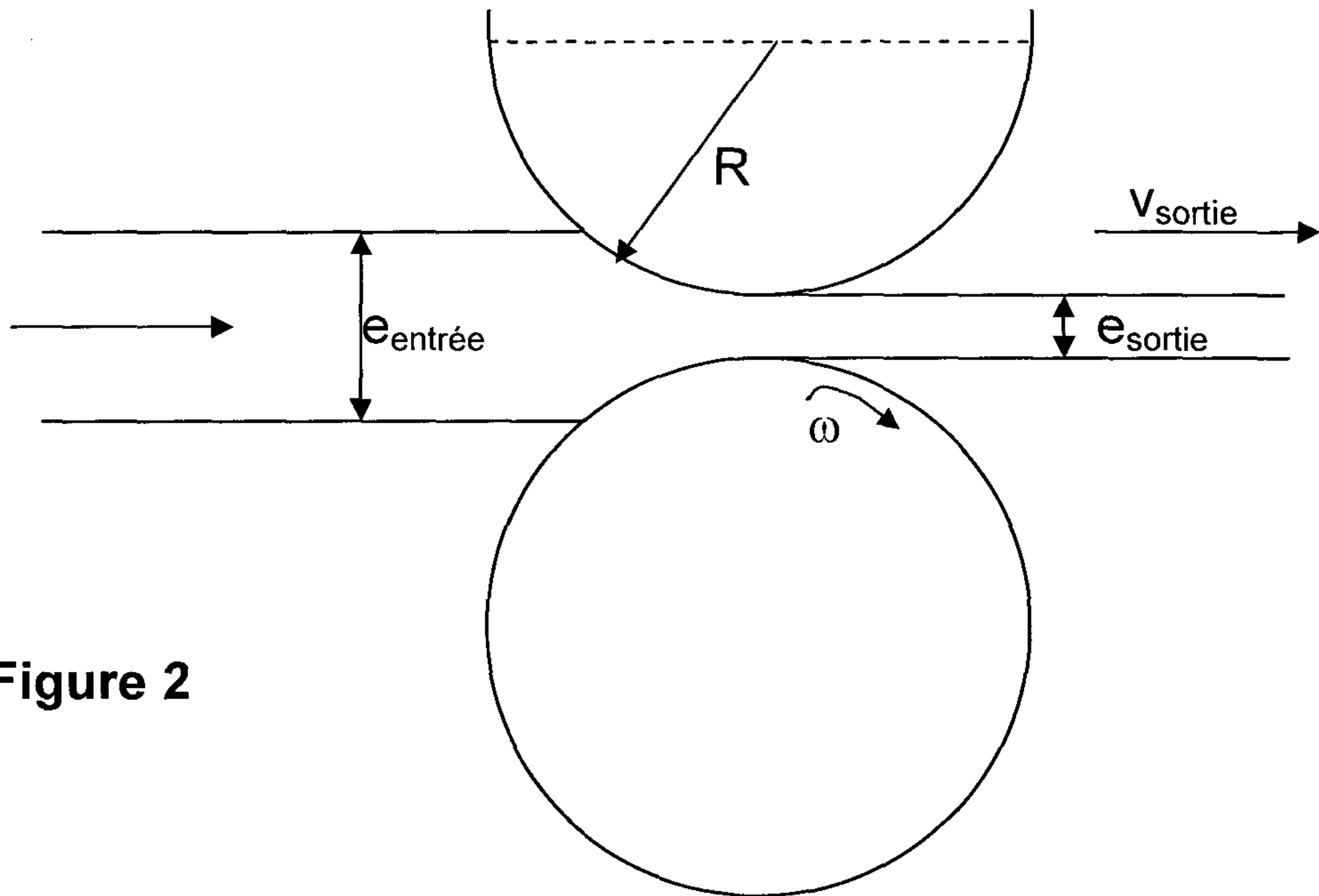


Figure 2

$$FWS = \frac{|v_{\text{sortie}} - v_{\text{cage}}|}{v_{\text{cage}}} \quad (\text{a})$$