



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : **95400663.1**

(51) Int. Cl.⁶ : **E21B 21/08**

(22) Date de dépôt : **24.03.95**

(30) Priorité : **15.04.94 FR 9404622**

(43) Date de publication de la demande :
18.10.95 Bulletin 95/42

(84) Etats contractants désignés :
GB IT NL

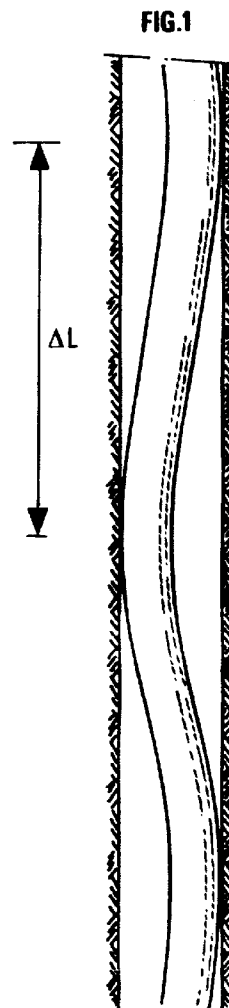
(71) Demandeur : **INSTITUT FRANCAIS DU
PETROLE**
4, Avenue de Bois Préau
F-92500 Rueil-Malmaison (FR)

(72) Inventeur : **Cartalos, Ulysse**
21, rue Victor Hugo
F-92400 Courbevoie (FR)
Inventeur : **Hachslamoglu, Mustafa**
4, rue de la République
F-60116 Ribecourte (FR)

(54) **Méthode pour optimiser les caractéristiques d'une circulation axiale de fluide dans un espace annulaire variable autour de tiges.**

(57) — La méthode selon l'invention permet d'adapter à un fluide quelconque, un modèle connu représentatif de la circulation d'un fluide dans un espace annulaire autour d'une tige immobile centrée ou excentrée de façon uniforme sur toute sa longueur, à des cas plus complexes que l'on rencontre dans la pratique et notamment dans le forage. Elle comporte essentiellement l'application aux valeurs de perte de charge obtenues par ce modèle connu, d'un premier facteur correctif pour tenir compte des variations d'excentrement que la tige peut subir du fait notamment des variations de la charge axiale appliquée ou de défauts de rectitude du conduit, et d'un second facteur correctif représentatif des effets dus à la rotation de la tige. La méthode rend bien compte notamment des variations de perte de charge plus accentuées que l'on observe dans le cas d'espaces annulaires étroits.

— Application au forage pétrolier en trou étroit (du type dit "slim hole" par les spécialistes).



La présente invention concerne une méthode pour optimiser les caractéristiques d'une circulation de fluide que l'on établit dans un espace annulaire autour d'un élément tubulaire et notamment d'un élément tubulaire tournant, tel qu'une longue tige ou un train de tiges, en tenant compte de façon dynamique des déformations subies en opération par cet élément tubulaire et donc de la variation de l'espace annulaire autour de lui.

La méthode selon l'invention convient particulièrement dans le cas d'annulaires étroits où le rapport entre le diamètre de l'élément tubulaire intérieur et le diamètre du conduit extérieur est supérieur à 0,5.

La méthode selon l'invention trouve des applications notamment dans le cadre de forages pétroliers ou en géotechnique, où elle permet de déterminer le champ de vitesses d'un fluide de forage circulant dans l'espace autour d'un train de tiges de forage ainsi que les pertes de charge résultant des frictions, pour des géométries complexes de cet espace, consécutives aux mouvements et déformations des tiges.

La méthode convient particulièrement bien pour optimiser les conditions de circulation des fluides dans les forages effectués en puits étroits selon la technique dite de "slim hole" où, en raison des dimensions annulaires réduites, des pressions peuvent être générées, qui mettent en danger la stabilité de la formation traversée.

Il existe un certain nombre de publications rendant compte d'études théoriques ou pratiques sur la circulation de fluides dans des puits autour d'un train de tiges immobiles ou en rotation et les variations sur les paramètres d'écoulement dues à l'excentricité d'un train de tiges et ses déformations, et notamment dans des puits étroits.

On peut citer par exemple :

- Vaughn, R.D., 1965, "Axial Laminar Flow of non Newtonian Fluids in Narrow Eccentric Annuli," S.P.E., Vol.5, Dec.;
- Bourgoyne, A.T et al, 1986, "Applied Drilling Engineering," in SPE Text Book Series, Vol.2;
- Markatos N.C.G.et al, "Flow in an annulus of non-uniform gap" in Trans. IChemE, vol. 56;
- Reed, T.D et al, 1993, "A new model for laminar, Transitional and Turbulent Flow in Drilling Fluids," in SPE 25456, Proceedings of the Prod. Operations Symposium, Oklahoma City, OK
- Marken, C. D. et al, 1992, "The influence of drilling conditions on annular pressure losses, article SPE 24598
- Dodge D.W. and Metzner A.B., 1959, "Turbulent flow of Non-Newtonian Systems, AIChE Journal, vol 5, p33.

La méthode de résolution généralement utilisée pour modéliser le comportement d'un fluide circulant dans un annulaire excentré, consiste à assimiler l'espace autour de la tige à une juxtaposition de fentes. On a jusqu'ici considéré soit que la tige était centrée dans le conduit, soit que son excentricité éventuelle était uniforme tout au long de cette tige. Dans le cadre de cette hypothèse, les fentes sont considérées comme parallèles et d'épaisseur constante sur toute leur longueur.

La circulation de fluides de forage dans un puits étroit (slim hole) où tourne un train de tiges, est un phénomène complexe difficile à modéliser. Parmi les facteurs importants influant sur les pertes de charge, pour un type et un débit de boue donnés, on peut citer la vitesse de rotation du train de tiges, ainsi que la géométrie de l'espace annulaire autour et tout le long du train de tiges du fait notamment de l'excentricité de celui-ci dans le trou, de ses mouvements, de ses flexions etc.

Le plus souvent, en effet, les axes respectifs du trou foré et du train de tiges sont décalés l'un par rapport à l'autre en raison des déviations de l'un et/ou des flexions de l'autre. De ce décalage qui varie le long du train de tiges, dépend l'excentricité de l'espace annulaire entre eux.

Dans bien des cas donc et notamment pour le forage de puits, les modèles existants basés sur l'hypothèse que le positionnement relatif de la tige par rapport au conduit est uniforme sur toute sa longueur, ne rendent pas bien compte de la complexité des phénomènes. En outre, les modèles existants ne tiennent pas compte des modifications importantes sur la circulation de boue apportées par le couplage entre les effets de la rotation de la tige et son excentrement variable par rapport au conduit ou au trou.

Les modèles existants ne permettent donc pas au foreur de prédire en toute sécurité les pertes de charge et le champ de vitesses réels résultant de l'ensemble de ces paramètres: rotation de la tige, propriétés rhéologiques effectives des fluides utilisés dans la pratique, excentrement variable non uniforme etc, et donc d'optimiser la circulation de fluide à établir: débit, rhéologie, compte-tenu de la vitesse de rotation.

La méthode selon l'invention a pour objet de construire un modèle représentatif, du champ de vitesses d'un fluide circulant dans un conduit autour d'une tige tubulaire à excentrement variable, aussi bien en régime laminaire que turbulent, ainsi que de la distribution des pertes de charge annulaires en fonction des débits.

Elle permet ainsi d'optimiser les caractéristiques d'une circulation de fluide que l'on établit dans un espace annulaire autour d'un élément tubulaire dont l'excentrement est variable, tel qu'une longue tige ou un train de tiges, soumis à des déformations, notamment dans le cas où cet espace annulaire est relativement étroit.

La méthode selon l'invention est caractérisée en ce qu'elle comporte la modélisation de l'écoulement dans

l'espace annulaire en considérant que la forme de celui-ci est variable tout le long de l'élément tubulaire et en tenant compte de propriétés rhéologiques réelles du fluide (variation de la viscosité avec le taux de cisaillement par exemple), de façon à déterminer la valeur du champ de vitesses et la valeur de la pression en tout point le long de cet espace annulaire.

5 La méthode peut comporter aussi l'application à ces valeurs obtenues pour un élément tubulaire à excentrement variable, d'un facteur correctif adimensionnel dépendant du nombre de Reynolds (Re) et du nombre de Taylor (Ta) du fluide utilisé, pour tenir compte des variations des pertes de charge dans l'annulaire engendrées par la vitesse de rotation de l'élément tubulaire.

10 Quand les rapports respectifs des effets inertiels et visqueux, suivant la direction axiale et la direction azimutale respectivement, sont supérieurs à une valeur déterminée, par exemple, on peut déterminer le facteur correctif adimensionnel à appliquer par la relation:

$$R_p = A \cdot Re^c \cdot Ta^d \text{ où}$$

A, c et d sont des paramètres dont les valeurs peuvent être choisies dans des fourchettes définies.

15 Suivant un mode de mise en oeuvre de la méthode, utilisable quand la sinuosité de l'élément tubulaire est relativement faible, on tient compte des modifications dynamiques possibles de la forme de l'élément tubulaire, par application d'un autre facteur correctif sensiblement constant et indépendant de la forme de l'élément tubulaire, compris par exemple dans un intervalle

$$0.1 < R < 10$$

20 La méthode selon l'invention tient bien compte des deux facteurs essentiels qui régissent l'évolution des pressions dans les annulaires étroits: l'excentrement variable et la rotation de l'élément tubulaire. Elle permet par conséquent de relier de façon fiable la pression annulaire aux paramètres opératoires: géométrie, débit, vitesse de rotation, ainsi qu'à la rhéologie du fluide en circulation.

25 La distribution des pertes de charge que l'on détermine par application de la méthode selon l'invention, telle qu'elle est définie ci-dessus, dans les cas complexes où un fluide quelconque circule dans un annulaire étroit autour d'une tige tournante soumise à des déformations, en particulier quand l'espace annulaire autour d'elle est étroit, est bien en accord avec les résultats pratiques que l'on a pu mesurer.

30 Dans le cadre d'opérations de forage notamment, on peut donc définir par application de la méthode, la rhéologie du fluide optimale pour maintenir un débit élevé permettant d'obtenir une bonne évacuation des déblais sans que les pressions annulaires sortent d'une plage de sécurité et endommagent le trou. La méthode permet ainsi de définir des règles sur la rhéologie et donc sur la composition des fluides et notamment des fluides sans particules solides utilisés en "slim hole".

D'autres caractéristiques et avantages de la méthode selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après, en se référant aux dessins annexés où :

- 35 - les Fig.1 et 2 montrent schématiquement un élément tubulaire allongé soumis à des déformations respectivement à variation sinusoïdale et linéaire;
- la Fig.3 montre schématiquement en coupe transversale, un tube excentré dans un conduit tel qu'un puits;
- les Fig.4 et 5 représentent schématiquement un annulaire sinueux respectivement en position refermée et déployée;
- 40 - la Fig.6 montre schématiquement la variation en fonction de la sinuosité d'un élément tubulaire, d'un facteur correctif à appliquer aux pertes de charge obtenues en supposant un excentrement nul ou invariable, prédite par la méthode et corroborées expérimentalement;
- la Fig.7 montre schématiquement la variation en fonction de l'indice de rhéo-fluidification du fluide, du même facteur correctif;
- 45 - la Fig.8 montre comment la contrainte de cisaillement τ varie avec le taux de cisaillement $\dot{\gamma}$, dans le cas de fluides newtoniens et de fluides non-newtoniens; et
- la Fig.9 montre la distribution des vitesses V et les iso-valeurs de pression dans un annulaire dont la configuration varie d'une façon sinusoïdale le long de son axe.

50 Dans un puits 1, la forme du train de tiges 2 entraînant l'outil varie en général d'un emplacement à un autre (Fig.1 à 3). Elle dépend de la déviation du trou foré, de la tension ou compression exercée sur la tige etc. On définit la configuration réelle d'un train de tiges par trois paramètres géométriques:

- l'excentricité qui est un nombre sans dimension valant 0 quand la tige et le conduit sont concentriques et 1 quand la tige touche la paroi intérieure du conduit, est définie par la relation:

$$e = \frac{\delta}{R_0 - R_i} \quad (1)$$

R_0 et R_i sont respectivement les rayons du conduit et de la tige (Fig.1), et δ est l'écartement de leurs axes respectifs.

- l'excentricité maximale: qui est inférieure à 1 si la tige est pourvue de centreurs (de rayon R_c) qui l'em-

pêchent de toucher la paroi du conduit;

$$e_{\max} = \frac{R_0 - R_i}{R_0 - R_i} \quad (2)$$

- la sinuosité (skewness) S , qui est le rapport entre le diamètre moyen de l'espace annulaire $d_{\text{avg}} = 2r_{\text{avg}}$ et l'intervalle entre deux inflexions successives de la tige ΔL ,

$$S = \frac{d_{\text{avg}}}{\Delta L} \quad (3)$$

Pour les calculs, suivant un formalisme connu, l'espace annulaire 3 est assimilé à une série de fentes juxtaposées d'épaisseur variable en fonction de l'excentrement réel. L'espace annulaire autour de la tige est déployé (Fig 4, 5) et l'on considère que le fluide s'écoule entre un certain nombre de plaques d'écartement variable suivant la direction axiale (Fig. 9).

On peut montrer que, pour $0 \leq x \leq \Delta L$, et $0 \leq y \leq 2\pi r_{\text{avg}}$, les équations donnant en coordonnées cartésiennes, l'épaisseur des fentes dans le cas d'un annulaire sinueux à variation sinusoïdale (Fig.1) ou rectiligne (Fig.2), ont pour expression :

$$z(x,y) = (R_0 - R_i) \left(1 + e_{\max} \left(1 - \frac{2x}{\Delta L} \right) \cos\left(\frac{y}{r_{\text{avg}}}\right) \right) \quad (4)$$

$$z(x,y) = (R_0 - R_i) \left(1 + e_{\max} \cos\left(\frac{\pi x}{\Delta L}\right) \cos\left(\frac{y}{r_{\text{avg}}}\right) \right) \quad (5)$$

avec $e_{\max}$ défini par (2) et $r_{\text{avg}} = 0.5d_{\text{avg}}$.

Pour modéliser l'écoulement du fluide dans un espace annulaire relativement mince, dont l'excentrement est variable, on utilise l'équation de mouvement suivante :

$$\frac{\partial}{\partial x_D} \left(\frac{z_D^3}{f \text{Re} \eta_D} \frac{\partial P_D}{\partial x_D} \right) + \left(\frac{2}{\pi S} \right)^2 \frac{\partial}{\partial y_D} \left(\frac{z_D^3}{f \text{Re} \eta_D} \frac{\partial P_D}{\partial y_D} \right) = 0 \quad (6)$$

qui relie entre eux la pression P , la vitesse axiale u , la vitesse azimutale v , la viscosité η , les coordonnées x (axiale) et y (azimutale), le rapport S défini par (3), le coefficient de frottement f et le nombre de Reynolds Re .

On utilise aussi deux relations reliant la pression et les composantes de la vitesse moyennées suivant une direction radiale:

$$U_D = 24 \frac{z_D^2}{f \text{Re} \eta_D} \frac{\partial P_D}{\partial x_D} \quad (7)$$

$$V_D = 24 \frac{z_D^2}{f \text{Re} \eta_D} \frac{\partial P_D}{\partial y_D} \quad (8)$$

Tous les paramètres sont rendus adimensionnels. Ainsi:

$$x_D = x/\Delta L, \quad y_D = y/\pi r_{\text{avg}}, \quad z_D = z/(D_0 - D_i) \quad (D_i = 2R_i \text{ et } D_0 = 2R_0).$$

La viscosité adimensionnelle η_D vaut 1 pour les fluides newtoniens. Pour les fluides non-newtoniens, on tient compte de la vitesse débitante et de l'échelle de longueur transverse pour calculer cette viscosité adimensionnelle. $P_D = P/P_0$ où P_0 qui représente les pertes de charge du fluide circulant en annulaire concentrique réduit pareillement à une fente, se calcule par les relations établies par Reed et al dans la publication déjà citée.

Modèle numérique:

On applique les relations précédentes, à un modèle numérique de type à différences finies tel que celui défini par Markatos et al, dans la publication déjà citée, où l'espace annulaire est divisé en grilles, chacune représentant une fente telle qu'on les a définies précédemment, dont l'épaisseur est déterminée par résolution des équations (4) ou (5).

Le modèle de Markatos, qui était appliqué à des fluides newtoniens, est amélioré comme on le verra ci-après, pour tenir compte de l'ensemble des lois rhéologiques auxquelles obéissent les fluides de forage.

Pour un ΔP donné, à l'abscisse $x = 0$, le modèle considère initialement un profil de variation linéaire de la pression et un champ de vitesses moyen basé sur un certain débit pour chaque fente. Le nombre de Reynolds Re , le coefficient de frottement (f) et la viscosité sont calculés.

Pour un fluide newtonien en régime laminaire par exemple, le produit $f.Re$ est égal à 24 et la viscosité est indépendante du cisaillement. Dans ce cas, les équations (6) à (8) sont simplifiées.

La méthode de modélisation selon l'invention permet d'étendre le champ d'application du modèle précédent à des régimes d'écoulement non laminaires de fluides quelconques dont l'indice de rhéo-fluidification n' est généralement inférieur à 1, qui correspondent mieux aux circulations que l'on a à modéliser dans la pratique.

Pour un fluide non-newtonien, cette relation doit être modifiée. Il faut tout d'abord intégrer dans les équations (6) à (8) du modèle, le produit $f.Re$ du facteur correctif f par le nombre de Reynolds Re , ceci pour des fluides quelconques. La viscosité des fluides varie en général avec le taux de cisaillement $\dot{\gamma}$ (Fig.8). Ils obéissent à la loi rhéologique:

$$\tau = K' \dot{\gamma}^{n'} \quad (9)$$

ou τ est la contrainte de cisaillement et K' et n' sont les paramètres définis dans la publication de Dodge, D.W et al déjà citée.

Pour tenir compte de ce type de fluide, on modifie la définition du nombre de Reynolds Re et on utilise la méthode décrite par Reed, T.D. et al, dans la publication déjà citée, entre ce nombre Re modifié et le coefficient de frottement f , pour la résolution du modèle

La méthode dite GNM décrite par Reed et al dans la publication déjà citée, est utilisée pour évaluer le terme de diffusion $z_D^3 f Re n_D$ dans l'équation (6). Ce terme de diffusion étant connu pour chaque grille, on résout la forme discrétisée de l'équation (6) pour obtenir un nouveau champ de pression. Un nouveau champ de vitesses est calculé à partir des mêmes équations (7) à (8). On répète les calculs jusqu'à obtenir une convergence des champs de vitesses calculés. Un exemple de champ de vitesses obtenu avec un excentrement sinusoïdal est montré à la Fig.9.

Dans tous les cas où l'écoulement devient turbulent dans les parties plus larges de l'espace annulaire en restant laminaire dans les parties étroites, en raison d'une variation rapide du terme de diffusion, d'une grille à une autre, une méthode de relaxation connue en soi, est utilisée. Elle permet d'accroître la stabilité mais elle diminue la vitesse de convergence.

Quand la convergence est atteinte, l'intégration numérique du champ de vitesse axiale, donne le débit.

Par des modifications simples des équations (4) et (5), on adapte le modèle aux cas d'excentricité nulle ou uniforme de la tige.

Corrections d'excentricité

L'estimation du champ de vitesses et de la distribution des pertes de charge dans un annulaire étroit est très complexe en raison de la diversité possible de la sinuosité et de l'excentrement de la tige dans des conditions réelles de fonctionnement.

La méthode selon l'invention permet cependant de modéliser le champ de vitesses et les distributions de pertes de charge autour d'une tige de grande longueur en rotation.

Dans le cas général d'une tige dont le coefficient de sinuosité ($1/S$) est faible, on détermine la distribution des pertes de charge en intégrant dans le modèle défini par les relations 6 à 8, les expressions analytiques de la variation de l'épaisseur des fentes correspondant à la forme réelle de la tige, et par exemple les équations (4, 5) si la déformation de la tige est de type sinusoïdal ou linéaire. Ceci conduit à des calculs complexes.

La méthode selon l'invention fournit une solution beaucoup plus simple dans le cas où la sinuosité de la tige est faible (facteur $1/S$ plus élevé).

Un facteur correctif R est défini comme le rapport, pour un même débit, entre les pertes de charge par unité de longueur $(\Delta P/\Delta L)_e$, engendrées par une tige excentrée et les pertes de charge correspondantes $(\Delta P/\Delta L)_c$ engendrées par la même tige centrée.

Les courbes de la Fig.6, déterminées par modélisation en accord avec la méthode, montrent que le facteur correctif R varie de façon asymptotique, et reste pratiquement invariable quelle que soit la forme réelle (en forme de ligne brisée ou en forme de sinusoïde) prise par la tige, quand le coefficient de sinuosité $1/S$ atteint des valeurs assez élevées ($1/S > 10$), ce qui correspond à une faible déformation de la tige.

Des essais de circulation de fluide ont été effectués au laboratoire avec une installation comportant un conduit dont le diamètre intérieur était de 24 mm et une tige intérieure courbée sinusoïdalement, dont le diamètre extérieur était de 18 mm. Sur la Fig.6 le point a de coordonnées $1/S = 12$, $R = 0,66$ et le point b de coordonnées $1/S = 18$, $R = 0,64$, correspondent respectivement à des valeurs obtenues au cours des essais. La

comparaison montre que l'accord entre les prédictions du modèle et les résultats expérimentaux, est excellent.

Dans des conditions normales d'utilisation, la déformation d'une tige dans un conduit ou trou étroit, notamment d'un train de tiges de forage dans un puits pétrolier, est en général peu accentuée. C'est le mode de fonctionnement le plus courant dans la pratique. Les pertes de charge résultant d'un excentrement de la tige ($\Delta P/\Delta L$), peuvent donc être calculées simplement, de façon sensiblement indépendante du coefficient de sinuosité $1/S$ dans le cas d'annulaires de longueur importante.

Le calcul peut se généraliser pour le cas des fluides non-newtoniens, quel que soit leur degré de rhéofluidification. La variation du facteur correctif R qu'il faut introduire quand la tige est excentrée mais faiblement sinueuse ($1/S$ important) en fonction de l'indice de rhéofluidification n est montrée sur la figure 7 pour le cas d'une sinuosité de type linéaire ou sinusoïdale.

L'introduction de ce facteur correctif R permet donc d'obtenir facilement, pour les sinuosités faibles, les résultats en configuration excentrée à partir des résultats obtenus dans le cas d'une tige centrée, pour toute loi rhéologique du type donné par la relation (9).

Corrections de rotation

Les valeurs obtenus par la modélisation, doivent être modifiées ensuite pour tenir compte des effets engendrés par la rotation de la tige.

Des essais portant sur l'écoulement d'un fluide rhéo-fluidifiant autour d'une tige centrée dans un conduit, ont montré que l'évolution de la perte de charge en fonction de la vitesse de rotation W , dépend du régime d'écoulement engendré par le couplage du mouvement axial et du mouvement tangential.

Les spécialistes savent que l'écoulement tangential entre deux cylindres coaxiaux est caractérisé par la grandeur du nombre de Taylor défini par

$$Ta = \frac{\rho W D_i (D_o - D_i)}{4\eta} \left(\frac{D_o - D_i}{D_i} \right)^{1/2} \quad (10)$$

où W est la vitesse de rotation et η , la viscosité.

En l'absence de mouvement axial, l'écoulement tangential est gouverné par le nombre de Taylor Ta . Quand $Ta < 41,3$, l'écoulement est laminaire. Pour des nombres de Taylor compris entre 41,3 et environ 400, on constate que des tourbillons stables dits tourbillons de Taylor, se superposent aux lignes de courant circulaires. L'écoulement devient turbulent pour des valeurs de $Ta > 400$.

On sait aussi que, superposé à un écoulement tangential, un écoulement axial modifie les valeurs de Ta correspondant aux limites de la zone de transition. De même, un écoulement tangential, superposé à un écoulement axial, peut affecter les valeurs de Re correspondant à une transition laminaire-turbulent suivant la direction axiale.

Pour dégager les tendances globales des effets de la rotation de la tige et la valeur des facteurs correctifs à apporter aux résultats précédents, pour tenir compte du type d'écoulement, il est utile de mettre les différents paramètres sous une forme adimensionnelle.

Ainsi, on utilise le nombre de Reynolds défini par Dodge et al pour un fluide non-newtonien dans la publication déjà citée.

Le nombre de Taylor caractérisant le rapport des effets inertiels aux effets visqueux suivant la direction azimutale, est donné par la relation (10) à condition d'étendre sa définition de façon à inclure les effets de rhéofluidification. Il faut pour cela remplacer dans cette relation, la viscosité newtonienne par la viscosité d'un fluide en loi de puissance, calculée à la valeur du taux de cisaillement à la paroi interne (contre la tige) correspondant à la vitesse de rotation W .

On définit aussi le rapport R_p de la pression annulaire pour une vitesse de rotation donnée W , rapportée à la pression annulaire à rotation nulle au même débit, par la relation:

$$R_p = \frac{\Delta P_W}{\Delta P_{W=0}} \quad (11)$$

A partir des nombres de Taylor et de Reynolds, on construit un autre paramètre adimensionnel:

$$R_W = \frac{W R_i}{U_m} \quad (12)$$

où U_m la vitesse débitante. R_W est une mesure du rapport des taux de cisaillement respectivement suivant les directions azimutale et axiale.

Les résultats obtenus varient en fonction des valeurs prises par les nombres de Reynolds et de Taylor:

1) Faibles nombres de Reynolds ($Re < 200$):

Le rapport R_p diminue quand le paramètre R_W augmente et il devient significatif quand R_W devient supérieur à 2. La chute de la pression que l'on constate, est liée à la diminution de la viscosité du fluide

liée à la superposition du cisaillement azimuthal au cisaillement axial. La diminution des pertes de charge que l'on constate pour les valeurs faibles du nombre de Reynolds sont la conséquence de la chute de viscosité apportée par le mouvement tangentiel.

2) Faibles nombres de Taylor ($Ta < 200$)

5 Le rapport de pression R_p tend asymptotiquement vers une limite R_{p1} supérieure à 1 pour les valeurs du nombre de Taylor $Ta < 200$.

3) Nombres de Taylor et de Reynolds supérieurs à 200

Pour cette plage de variation, on a pu établir une relation empirique de la forme

$$R_p = A Re^c Ta^d \quad (13)$$

10 où les coefficients A, c, d sont compris dans les fourchettes suivantes.

$$0 < A < 10$$

$$0 < c < 2$$

$$0 < d < 2$$

avec des valeurs typiques suivantes: $A = 0,29$, $c = 0,17$ et $d = 0,067$.

15 L'application aux résultats de ce deuxième facteur correctif dépendant de la vitesse de rotation et du type d'écoulement, permet donc d'obtenir les pertes de charge tout le long de la tige.

Revendications

20

1) Méthode pour optimiser les caractéristiques d'une circulation de fluide que l'on établit dans un espace annulaire (3), et notamment dans un annulaire relativement étroit, autour d'un élément tubulaire (2), tel qu'une longue tige ou un train de tiges dont l'excentrement varie en raison de déformations, caractérisée en ce qu'elle comporte la modélisation de l'écoulement dans l'espace annulaire en considérant que la forme de celui-ci est variable tout le long de l'élément tubulaire et en tenant compte de propriétés rhéologiques réelles du fluide

25

2) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte l'application auxdites valeurs obtenues pour un élément tubulaire à excentrement variable, d'un facteur correctif adimensionnel (R_p) dépendant du nombre de Reynolds (Re) et du nombre de Taylor (Ta) du fluide utilisé, pour tenir compte des variations des pertes de charge dans l'annulaire engendrées par la vitesse de rotation (W) de l'élément tubulaire.

30

3) Méthode selon la revendication 2, caractérisée en ce que l'on détermine le facteur correctif adimensionnel (R_p) par l'application de la relation:

$$R_p = A \cdot Re^c \cdot Ta^d, \text{ où}$$

35

$$0 < A < 10$$

$$0 < c < 2; \text{ et}$$

$$0 < d < 2,$$

quand les rapports respectifs des effets inertiels et visqueux, suivant la direction axiale et la direction azimuthale respectivement, sont supérieurs à une valeur déterminée.

40

4) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on tient compte des modifications dynamiques possibles de la forme de l'élément tubulaire, par application d'un autre facteur correctif (R) sensiblement constant et indépendant de la forme de l'élément tubulaire, tant que la sinuosité (S) de celui-ci reste relativement faible.

45

5) Méthode selon la revendication 4, caractérisée en ce que l'on choisit l'autre facteur correctif (R) dans l'intervalle

$$0.1 < R < 10$$

50

55

FIG.1

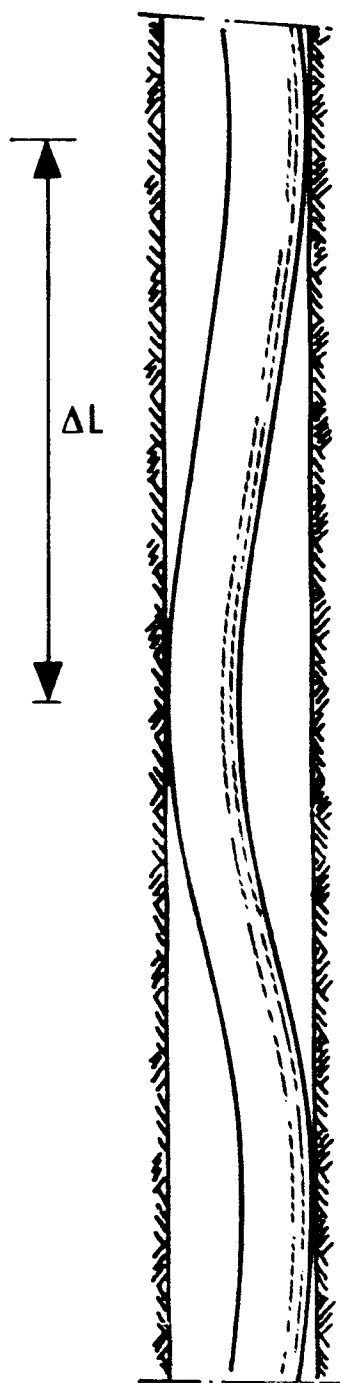


FIG.2

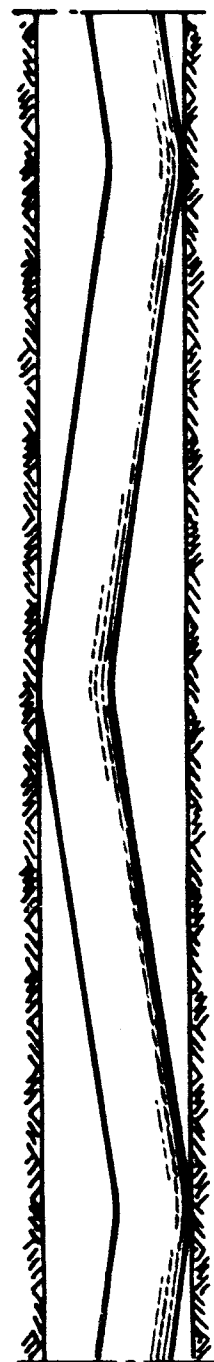


FIG.3

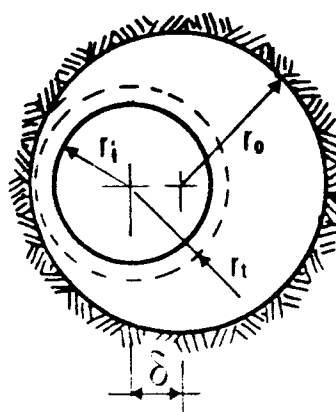


FIG.4

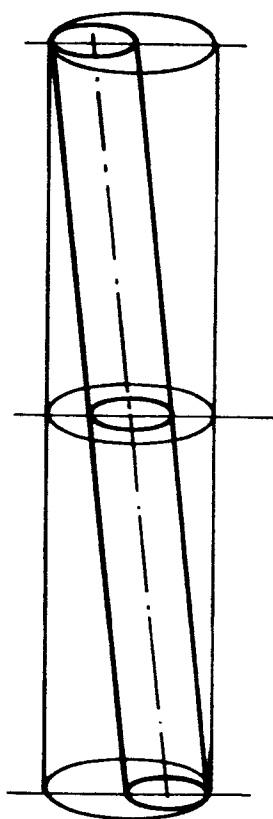


FIG.5

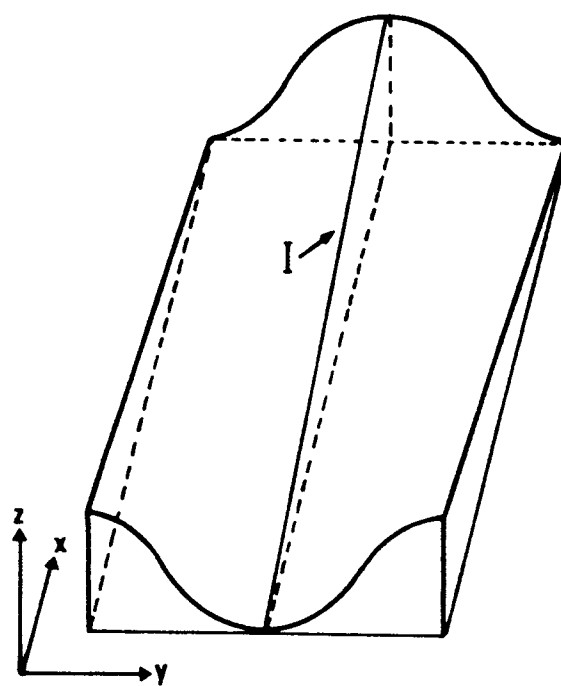
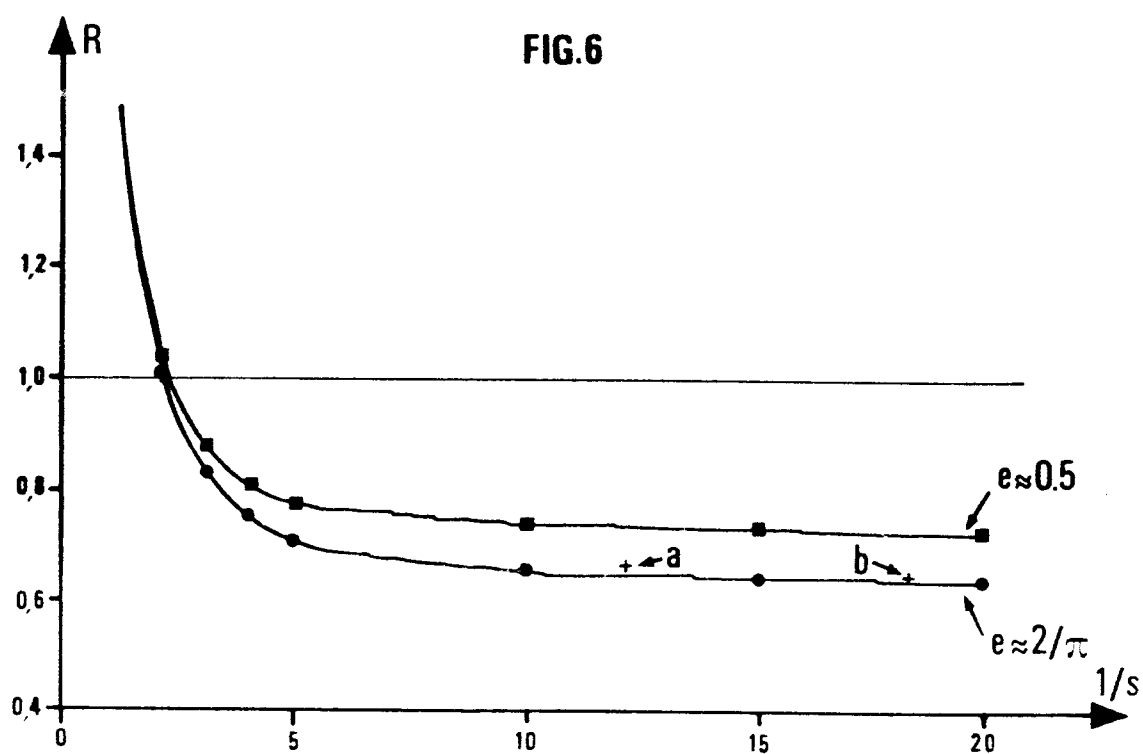
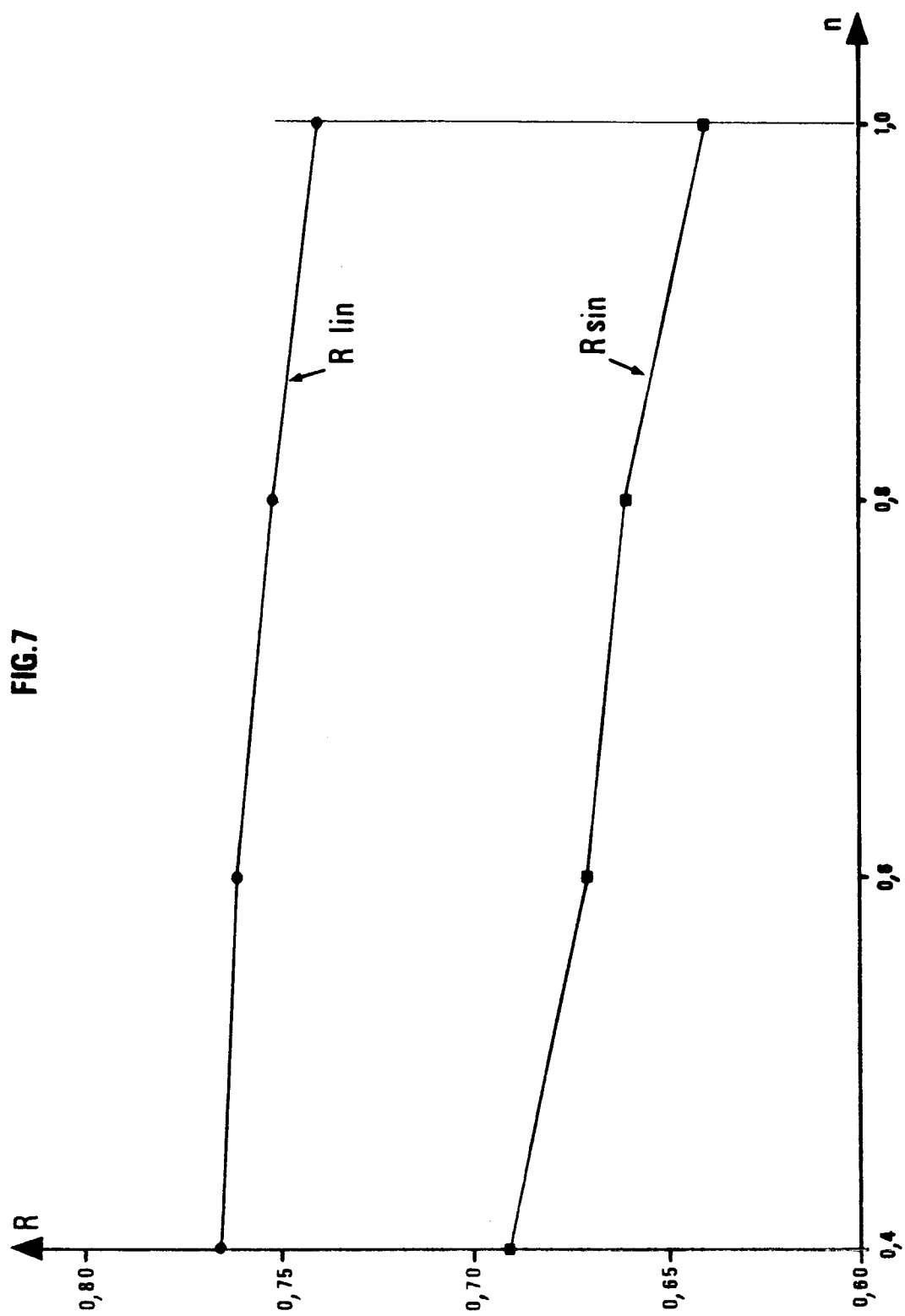


FIG.6





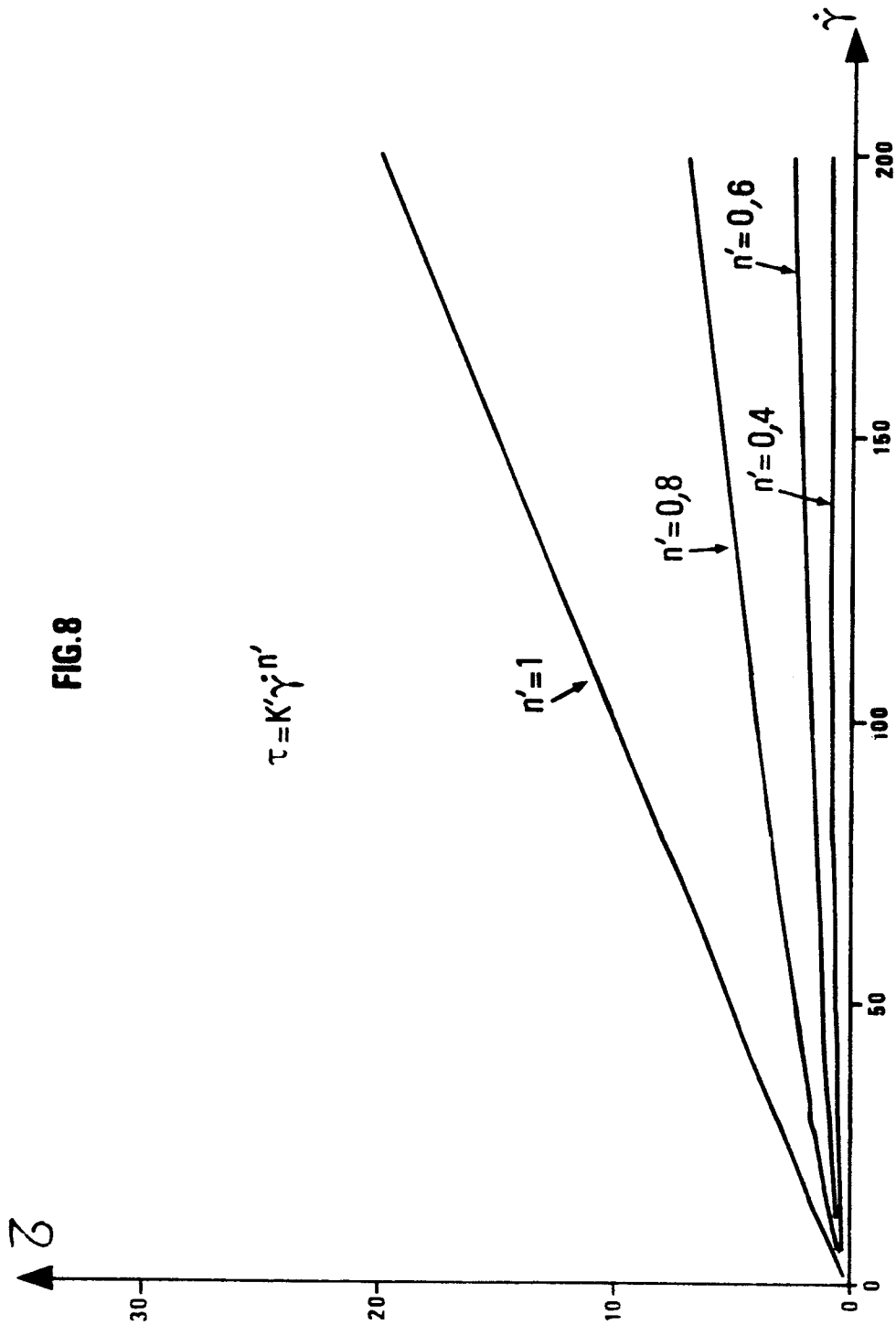
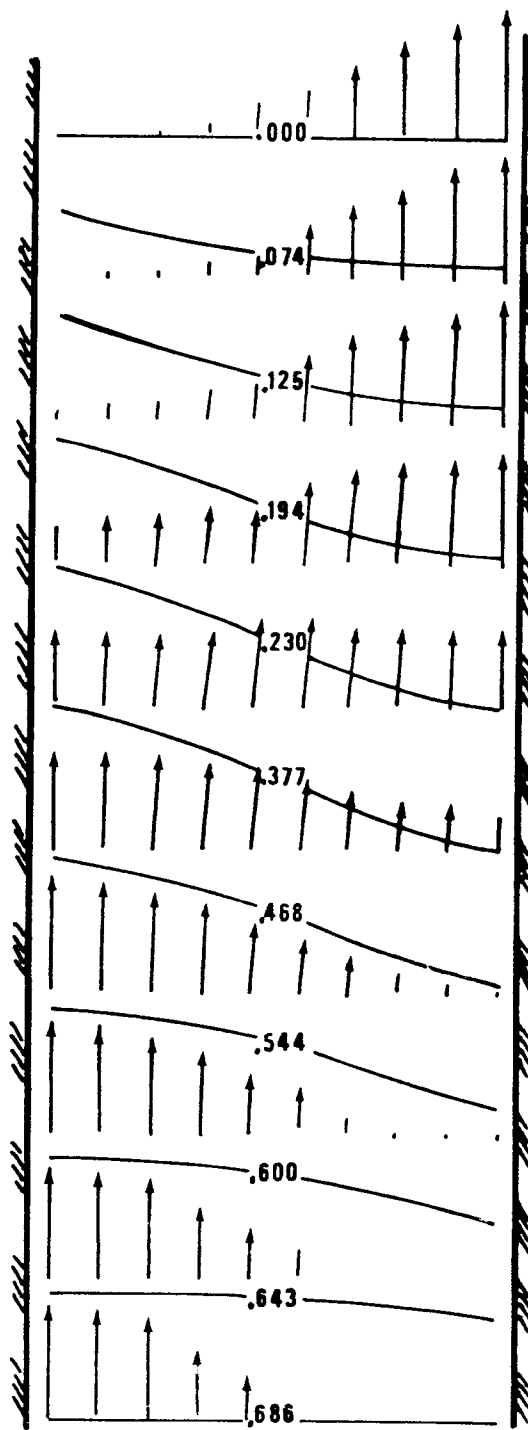


FIG. 9





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 95 40 0663

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.6)
D,A	SPE PUBLICATIONS, 21 Mars 1993, OKLAHOMA pages 469 - 482 T.D.REED & A.A.PILEHVARI 'a new model for laminar,transicional,and turbulent flow of drilling muds' * le document en entier * -----	1	E21B21/08
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			E21B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 19 Juillet 1995	Examineur Fonseca Fernandez, H
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 (P04C02)