

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①① N° de publication : **2 837 558**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **02 03510**

⑤① Int Cl<sup>7</sup> : F 17 D 1/20, F 17 D 1/04, F 15 D 1/06

①②

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 21.03.02.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 26.09.03 Bulletin 03/39.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : *INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE*  
— FR.

⑦② Inventeur(s) : CHARRON YVES.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) :

⑤④ CONDUITE COMPORTANT UNE PAROI INTERNE POREUSE.

⑤⑦ Conduite (1) pour convoier un fluide. Elle comporte  
un tube métallique (2). La paroi interne du tube métallique  
est recouverte d'une couche (3) d'un matériau poreux et  
perméable au fluide convoyé. Le fluide circule dans la cou-  
che (3) afin de limiter les pertes de charge engendrées par  
l'écoulement.

FR 2 837 558 - A1



L'invention se rapporte au domaine de la réduction des pertes de charges d'un fluide circulant dans une conduite.

Le document WO 84/03867 propose de réduire les forces de traînée engendrées par la vitesse relative d'un fluide sur un objet en disposant des rainures sur la surface de l'objet. Les demandes de brevet français N°02/02598 et N°02/02599 présentent une méthode de fabrication de rainure sur la surface intérieure d'une conduite.

L'industrie pétrolière utilise des conduites, couramment appelées "gazoduc" ou "pipeline", pour convoier gaz ou effluent pétrolier sur de longues distances. Afin de réduire le nombre de stations de recompression disposées le long de ces conduites, il est intéressant de pouvoir réduire les pertes de charges engendrées lors de l'écoulement du fluide dans ces conduites.

Il existe également des conduites dont les parois sont déformables afin de réduire les pertes de charges engendrées lors de l'écoulement d'un fluide. Les parois déformables sont munies de systèmes actifs (système excitateurs) ou de système passifs.

La présente invention propose une autre technique pour réduire les pertes de charge engendrées lors de l'écoulement d'un fluide dans une conduite. Elle propose un contrôle passif de l'écoulement en disposant une couche d'un matériau poreux et perméable sur la paroi interne de la conduite.

De manière générale, l'invention concerne un procédé pour diminuer les pertes de charge engendrées par l'écoulement d'un fluide dans un tube, le procédé comporte les étapes suivantes:

- on dispose une couche de matériau poreux sur la surface interne du tube étanche au fluide, et

- on choisit le matériau qui présente une perméabilité telle que ledit fluide circule dans ladite couche.

Selon l'invention, on peut déterminer au moins une des  
5 caractéristiques de ladite couche de matériau afin de réduire les pertes de charge engendrées par l'écoulement du fluide dans la conduite, les caractéristiques étant la porosité du matériau, la perméabilité du matériau et l'épaisseur de la couche. La porosité du matériau peut être comprise entre 1 % et 50 %, de préférence entre 5 % et 35 %. La perméabilité du matériau peut  
10 être comprise entre 0,005 D et 5 D, de préférence entre 0,1 D et 1 D. On peut déterminer l'épaisseur de la couche en fonction de la couche visqueuse de l'écoulement du fluide.

L'invention concerne également une conduite pour convoier un fluide.  
15 La conduite comporte un tube étanche au fluide convoyé et une couche de matériau poreux recouvrant la paroi interne du tube. La perméabilité du matériau est telle que le fluide circule dans la couche.

Selon l'invention, la porosité du matériau peut être comprise entre 1 %  
20 et 50 %, de préférence entre 5 % et 35 %. La perméabilité du matériau peut être comprise entre 0,005 D et 5 D, de préférence entre 0,1 D et 1 D. L'épaisseur de la couche peut être supérieure à l'épaisseur de la couche visqueuse générée par l'écoulement du fluide sur le matériau poreux et perméable. La couche de matériau poreux et perméable peut comporter des  
25 rainures disposées dans la direction de l'écoulement dudit fluide et/ou la couche de matériau poreux et perméable peut être déformable.

Le procédé et/ou la conduite selon l'invention peuvent être utilisés pour le transport de gaz naturel.

L'invention permet d'effectuer un contrôle passif de l'écoulement d'un  
5 fluide dans une conduite, c'est à dire que l'invention ne nécessite pas de  
systèmes excitateurs, d'instrumentation ou d'apport extérieur d'énergie pour  
produire une réduction des pertes de charge. Elle permet de réduire jusqu'à  
30 % la valeur des pertes de charge d'un fluide en écoulement turbulent dans  
une conduite. La présence d'une couche de matériau perméable et poreux sur  
10 la paroi interne de la conduite crée une zone tampon qui change les  
caractéristiques de l'écoulement à proximité de la paroi. En particulier, la  
couche visqueuse permet une augmentation de vitesse à proximité de la paroi  
poreuse sans augmentation de pertes de charge. Par ailleurs, la couche de  
matériau perméable et poreux permet de retarder la transition d'un  
15 écoulement laminaire vers un écoulement turbulent. De plus, l'invention  
permet un contrôle des mécanismes tourbillonnaires au niveau de la couche  
visqueuse.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux  
20 compris et apparaîtront clairement à la lecture de la description faites ci-  
après en se référant aux figures parmi lesquelles:

- la figure 1 représente une conduite,
- la figure 2 représente une simulation numérique de l'écoulement d'un  
fluide dans une conduite,
- 25 - la figure 3 représente un diagramme de l'enstrophie d'un fluide en  
écoulement dans un tube à paroi poreuse et dans un tube à paroi lisse.

La figure 1 représente une conduite 1 d'axe AA' constituée d'un tube  
métallique 2 par exemple de forme cylindrique de diamètre intérieur D. Les

dimensions du tube 2 et le métal utilisé pour réaliser le tube 2 sont choisis de manière à ce que la conduite 1 résiste mécaniquement et chimiquement aux contraintes imposées. En particulier, le tube 2 est étanche au fluide convoyé et résiste aux effets de la pression interne. La paroi interne du tube  
5 métallique est recouverte par une couche 3. Par exemple le tube 2 est en acier. La couche 3 peut avoir une forme annulaire. Le matériau utilisé pour réaliser la couche 3 est poreux et perméable.

La conduite 1 permet de convoyer un fluide gazeux ou liquide, par exemple un gaz ou un effluent pétrolier. Le fluide convoyé par la conduite 1 circule  
10 dans tout l'espace interne défini par le tube 2, c'est à dire que le fluide circule dans le matériau de la couche 3 et dans l'espace intérieur défini par la couche 3. L'écoulement du fluide dans la couche 3 a pour fonction de modifier l'écoulement du fluide à la paroi de la couche de matériau perméable et poreuse de manière à réduire les pertes de charge.

15 Des simulations numériques ont été menées avec un code de simulation directe de la turbulence pour montrer l'intérêt de la présence d'une couche de matériau poreux et perméable dans une conduite. Les simulations portent sur un tube de diamètre 1 m et de longueur 4 m. A l'entrée du tube, l'écoulement du fluide est caractérisé par le nombre de Reynolds  $Re=50000$ . Une première  
20 simulation porte sur un tube lisse. Une deuxième simulation porte sur un tube revêtu sur sa paroi interne d'une couche de matériau poreux (porosité 10 %) et perméable dont l'épaisseur est de 0,02 m (2 % du diamètre). La figure 2 montre un résultat de simulation d'un écoulement d'un fluide dans le tube 11. La flèche 10 indique le sens et la direction de l'écoulement. Les simulations ont pour but de  
25 calculer l'enstrophie en fonction du temps pour un tube à paroi lisse et pour un tube revêtu d'une couche de matériau poreux et perméable. L'enstrophie mesure la dissipation d'énergie turbulente d'un fluide en écoulement dans une conduite. L'enstrophie est l'intégration sur un volume de la norme de la vorticité, la vorticité étant le rotationnel de la vitesse du fluide dans ce volume.

Le diagramme de la figure 3 représente les résultats des simulations numériques. L'axe des abscisses  $t(s)$  (gradué de 0 à 20 secondes) désigne l'axe du temps, l'axe des ordonnées  $E$  (gradué de 5000 à 25000) désigne l'axe de l'enstrophie. La courbe B en trait plein représente l'enstrophie en fonction du temps, calculée pour un tube à paroi lisse. La courbe C en trait pointillé représente l'enstrophie en fonction du temps, calculée pour un tube revêtu d'une couche de matériau poreux et perméable. On constate que l'enstrophie, c'est à dire la dissipation d'énergie turbulente, est 30 % plus faible dans le cas d'un tube revêtu d'une couche de matériau poreux et perméable par rapport au cas d'un tube à paroi lisse. Par conséquent, la circulation du fluide dans la couche de matériau poreux et perméable diminue les pertes de charge de l'écoulement dans la conduite.

La porosité et la perméabilité sont deux caractéristiques indépendantes d'un matériau.

Un matériau poreux est constitué d'un solide dans lequel il existe des espaces, appelés "pores" ou "vides". Pour un échantillon d'un matériau poreux de volume total  $V_t$  comportant un volume total de pores  $V_p$ , on peut exprimer la porosité  $\phi$  par le rapport entre le volume total de pores  $V_p$  divisé par le volume total de l'échantillon  $V_t$ ,  $\phi = \frac{V_p}{V_t}$ . Selon l'invention, la porosité  $\phi$  du matériau utilisé pour réaliser la couche 3 est comprise entre 1 % et 50 %, et de préférence entre 5 % et 35 %. La porosité peut être homogène, c'est à dire que la taille des pores est sensiblement constante. La taille des pores peut être faible devant les dimensions de la couche 3, par exemple le diamètre des pores est inférieur à un dixième de l'épaisseur  $e$  de la couche 3. Les pores peuvent être répartis de manière uniforme dans le matériau, c'est à dire que le nombre de pores par unité de volume est sensiblement constant dans toute la couche 3.

La perméabilité d'un matériau caractérise l'aptitude du matériau à être traversé par un fluide. Un fluide peut s'écouler dans un matériau perméable.

La perméabilité peut être exprimée par la loi de Darcy pour un fluide en écoulement linéaire et en régime permanent: la perméabilité  $k$  est le coefficient de proportionnalité qui relie le débit  $Q$  d'un fluide de viscosité  $\mu$  qui passe à travers un échantillon de matériau de section  $S$  et de longueur  $dl$  à la chute de pression  $dP$  nécessaire au passage du fluide à travers l'échantillon.

$$Q = k \frac{S \cdot dP}{\mu \cdot dl} \text{ la perméabilité } k \text{ est exprimée en Darcy (abréviation: D).}$$

Selon l'invention,  $k$  peut être compris entre 0,005 D et 5 D, de préférence entre 0,1 D et 1 D. Ces valeurs de  $k$  sont obtenues en utilisant le fluide destiné à être convoyé par la conduite selon l'invention et à une température de 20°C.

10

L'épaisseur  $e$  de la couche 3 peut être constante. Selon l'invention, l'épaisseur  $e$  peut être en rapport avec l'épaisseur de la couche visqueuse de l'écoulement. Par exemple l'épaisseur  $e$  est supérieur à l'épaisseur de la couche visqueuse. La couche visqueuse est une notion bien définie par la théorie de la mécanique des fluides. La couche visqueuse désigne la couche d'un fluide s'écoulant au voisinage d'une paroi. L'écoulement de cette couche visqueuse est du type laminaire en opposition à l'écoulement turbulent du reste du fluide. Il n'y a pratiquement pas de turbulence dans cette couche visqueuse. La couche visqueuse peut être dépendante du nombre de Reynolds ou plus précisément du rapport  $\frac{V \cdot \rho}{\mu}$  où  $V$  désigne la vitesse du fluide,  $\rho$  désigne la densité du fluide et  $\mu$  désigne la viscosité absolue du fluide. Le tableau 1 donne l'intervalle de valeurs de l'épaisseur  $e$  en fonction du nombre de Reynolds pour un tube de diamètre intérieur égal à 1 m.

25

Nombre de Reynolds	Epaisseur e en mm
$10^4$	$10 < e < 100$
$10^6$	$1 < e < 10$
$10^6$	$0,1 < e < 1$
$10^7$	$0,01 < e < 0,1$

Tableau 1

La valeur supérieure de l'épaisseur e n'est pas décisive pour la fonction  
 5 de la couche du matériau poreux et perméable: l'épaisseur e peut dépasser la  
 valeur supérieure fixée par le tableau 1 sans affecter la réduction de pertes de  
 charge dû à cette couche poreuse.

La paroi interne de la couche 3 peut être structurée, c'est à dire qu'elle  
 10 est pourvue de rainures disposées dans le sens de l'écoulement du fluide afin  
 de limiter les pertes de charge.

Le matériau utilisé pour réaliser la couche 3 peut être un solide  
 indéformable, par exemple une résine solvantée avec pigments spéciaux. Le  
 matériau utilisé pour réaliser la couche 3 peut également être un solide  
 15 élastique déformable, c'est à dire un solide qui se déforme sous des contraintes  
 mécaniques et qui reprend sa forme initiale lorsque les contraintes cessent.  
 Ainsi la géométrie de la couche 3 peut se déformer pour s'adapter au mieux à  
 l'écoulement afin de limiter les pertes de charge. Dans ce cas, les  
 caractéristiques de porosité et de perméabilité précédemment définies sont  
 20 valables pour le solide à l'état initial lorsqu'il n'est pas soumis à des  
 contraintes.

La paroi interne de la couche 3 peut être structurée et déformable.

## REVENDICATIONS

- 1) Procédé pour diminuer les pertes de charge engendrées par l'écoulement  
5 d'un fluide dans un tube (2), le procédé comporte les étapes suivantes:
- on dispose une couche (3) de matériau poreux sur la surface interne dudit  
tube étanche audit fluide,  
caractérisé en ce que:
  - on choisit ledit matériau qui présente une perméabilité telle que ledit fluide  
10 circule dans ladite couche.
- 2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on détermine au  
moins une des caractéristiques de ladite couche de matériau afin de réduire  
les pertes de charge engendrées par l'écoulement dudit fluide dans ladite  
15 conduite, lesdites caractéristiques étant la porosité dudit matériau, la  
perméabilité dudit matériau et l'épaisseur de ladite couche.
- 3) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la porosité dudit  
matériau est comprise entre 1 % et 50 %, de préférence entre 5 % et 35 %.  
20
- 4) Procédé selon l'une des revendications 2 à 3, caractérisé en ce que la  
perméabilité dudit matériau est comprise entre 0,005 D et 5 D, de  
préférence entre 0,1 D et 1 D.
- 25 5) Procédé selon l'une des revendications 2 à 4, caractérisé en ce qu'on  
détermine l'épaisseur de ladite couche en fonction de la couche visqueuse de  
l'écoulement du fluide.

- 6) Conduite pour convoier un fluide en limitant les pertes de charge, la conduite (1) comporte un tube (2) étanche au fluide convoyé et une couche (3) de matériau poreux recouvrant la paroi interne dudit tube, caractérisée en ce que la perméabilité dudit matériau est telle que ledit fluide circule dans ladite couche (3).
- 7) Conduite selon la revendication 6, caractérisée en ce que la porosité dudit matériau est comprise entre 1 % et 50 %, de préférence entre 5 % et 35 %.
- 8) Conduite selon l'une des revendications 6 et 7, caractérisée en ce que la perméabilité dudit matériau est comprise entre 0,005 D et 5 D, de préférence entre 0,1 D et 1 D.
- 9) Conduite selon l'une des revendications 6 à 8, caractérisée en ce que l'épaisseur de ladite couche est supérieure à l'épaisseur de la couche visqueuse générée par l'écoulement du fluide sur ledit matériau poreux et perméable.
- 10) Conduite selon l'une des revendications 6 à 9, caractérisée en ce que ladite couche de matériau poreux et perméable comporte des rainures disposées dans la direction de l'écoulement dudit fluide et/ou caractérisée en ce que ladite couche de matériau poreux et perméable est déformable.
- 11) Utilisation du procédé selon l'une des revendications 1 à 5 ou de la conduite selon l'une des revendications 6 à 10 pour le transport de gaz naturel.

1/1  
FIG.1

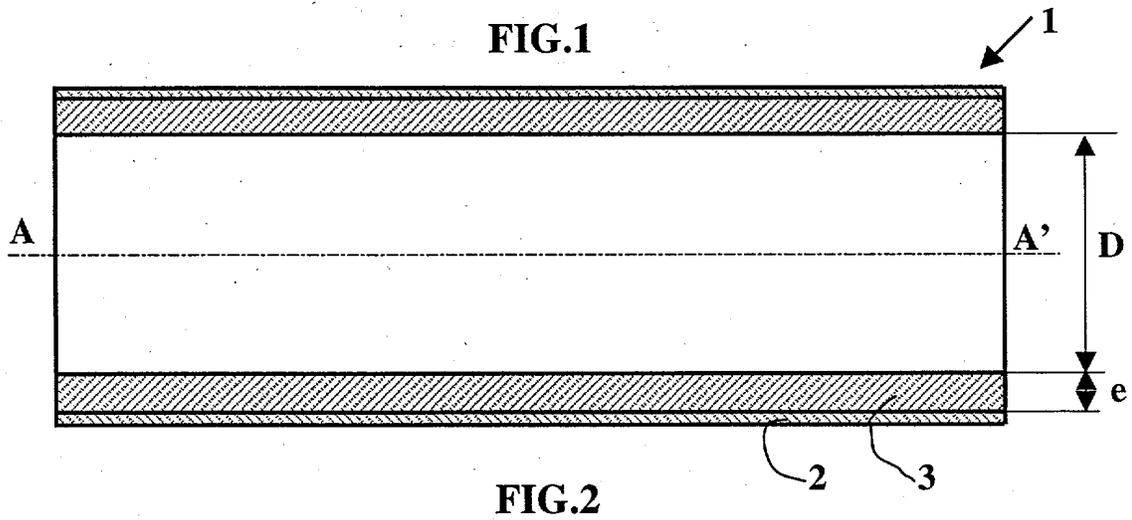


FIG.2

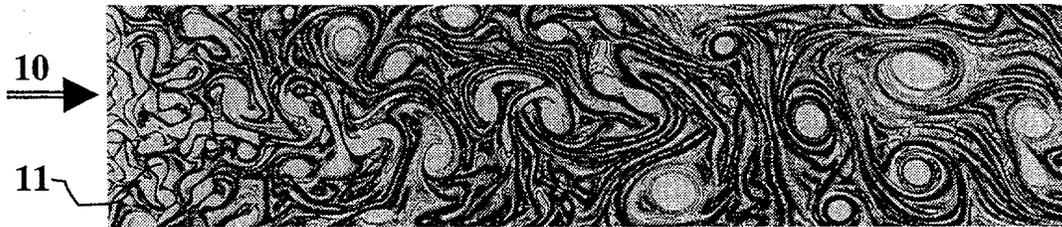
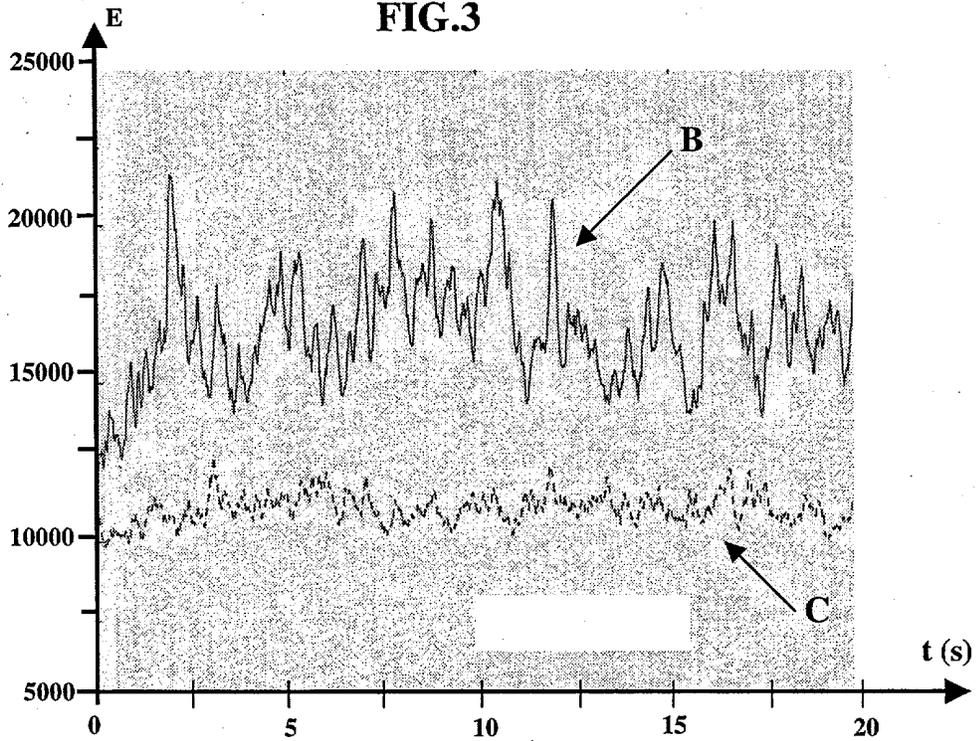


FIG.3



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

FA 615571  
FR 0203510

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	FR 2 755 745 A (INST FRANCAIS DU PETROL) 15 mai 1998 (1998-05-15) * page 4, ligne 8-10; figure 1 *	1,2,6	F17D1/20 F17D1/04 F15D1/06
Y	---	10	
A	US 4 759 516 A (GROSE RONALD D) 26 juillet 1988 (1988-07-26) * abrégé; figures 1,2 *	1,6	
Y	---	10	
A	US 3 040 760 A (FRED MACKS ELMER) 26 juin 1962 (1962-06-26) * colonne 1, ligne 34-38; figure 1 *	1,6	
A	US 3 307 567 A (GOGARTY WILLIAM B ET AL) 7 mars 1967 (1967-03-07) * colonne 1, ligne 41-50; figure 1 *	1,6	
			<b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)</b>
			F15D F16L F17D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
2 décembre 2002		Busto, M	
<p><b>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</b></p> <p>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</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention  E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.  D : cité dans la demande  L : cité pour d'autres raisons</p> <p>.....  &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

1  
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0203510 FA 615571**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date d'02-12-2002  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2755745	A	15-05-1998	FR 2755745 A1	15-05-1998
			CA 2218931 A1	13-05-1998
			EP 0843124 A1	20-05-1998
			NO 975204 A	14-05-1998
			US 5896896 A	27-04-1999
-----				
US 4759516	A	26-07-1988	AUCUN	
-----				
US 3040760	A	26-06-1962	AUCUN	
-----				
US 3307567	A	07-03-1967	AUCUN	
-----				