



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : **94402167.4**

(51) Int. Cl.<sup>6</sup> : **E21B 49/00**

(22) Date de dépôt : **29.09.94**

(30) Priorité : **30.09.93 FR 9311665**

(43) Date de publication de la demande :  
**05.04.95 Bulletin 95/14**

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

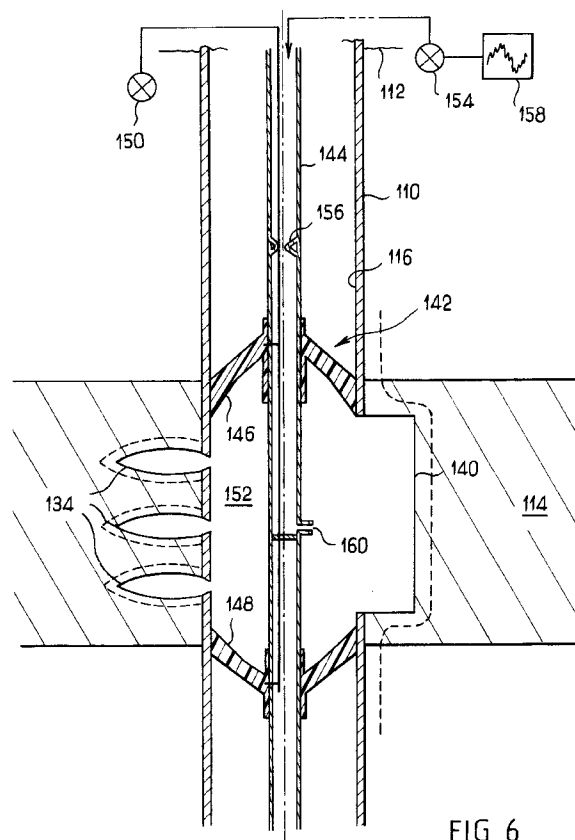
(71) Demandeur : **ELF AQUITAINE PRODUCTION**  
**Tour Elf**  
**2 Place de la Coupole**  
**La Défense 6**  
**F-92400 Courbevoie (FR)**

(72) Inventeur : **Rochon, Jean**  
**6 Impasse Jean de la Fontaine**  
**F-64000 Pau (FR)**

(74) Mandataire : **Timoney, Ian Charles Craig**  
**ELF AQUITAINE**  
**Département Propriété Industrielle**  
**Tour Elf**  
**Cedex 45**  
**F-92078 Paris La Défense (FR)**

(54) **Procédé d'évaluation de l'endommagement de la structure d'une roche entourant un puits.**

(57) Procédé d'évaluation de l'endommagement de la structure d'une roche (114) entourant un puits (110) comportant les étapes suivantes :  
— injection dans la roche (114), déjà saturée par un premier fluide d'une première viscosité, d'une huile de viscosité supérieure à la première viscosité,  
— enregistrement de la pression de l'huile injectée en fonction du temps ;  
— analyse de l'évolution de la pression de l'huile injectée afin de déduire les zones de perméabilité différente présentes dans la roche (114).



**FIG. 6**

La présente invention se rapporte à un procédé d'évaluation de l'endommagement de la structure d'une roche entourant un puits, et plus particulièrement à un tel procédé destiné à évaluer l'endommagement au fond d'un puits pétrolier.

Lors d'un forage pétrolier, au fur et à mesure que le puits est foré, un tubage métallique est descendu dans le puits afin de renforcer la paroi du puits et d'isoler l'intérieur du puits des diverses couches de roche traversées par le puits. L'espace annulaire défini entre l'extérieur du tubage et la paroi du puits est rempli de ciment afin de renforcer davantage le puits, et d'éviter la communication de fluides entre les couches.

Une fois que le puits est terminé, il faut mettre en communication l'intérieur du puits et la couche de roche pétrolifère avoisinante. Pour ce faire, un outil de perforation est descendu au fond du puits au niveau de la roche pétrolifère. L'outil est muni de charges explosives qui sont destinées à perforer successivement le tubage, la couche de ciment et la roche pétrolifère. L'ouverture ou la perforation qui s'étend dans la roche est entourée par une zone endommagée de perméabilité plus faible que celle de la roche pétrolifère.

On peut également utiliser un outil de coupe muni de couteaux qui, lors de la mise en rotation de l'outil au fond du puits, découpent une section du cuvelage et de la paroi du puits pour créer une ouverture dans la roche pétrolifère; Cette ouverture ou "fenêtre" est également entourée d'une zone endommagée.

Lorsque le passage du pétrole de la roche pétrolifère à l'intérieur du puits s'effectue à travers des perforations, un endommagement trop important de la zone avoisinante réduit considérablement la productivité du puits. Dans le cas où la zone endommagée est très compactée, avec comme résultat une perméabilité trop faible, il convient soit de recommencer l'opération de perforation soit de procéder à des mesures, telles que l'acidification, pour faciliter l'écoulement du pétrole.

La présente invention a donc pour objet un procédé d'évaluation de l'endommagement de la structure d'une roche entourant un puits qui permet de quantifier la perméabilité de la zone endommagée délimitant une perforation, et plus généralement le puits.

Pour ce faire, l'invention propose un procédé d'évaluation de l'endommagement de la structure d'une roche comportant les étapes suivantes :

- injection dans la roche, déjà saturée par un premier fluide d'une première viscosité, d'une huile de viscosité supérieure à la première viscosité,
- enregistrement de la pression de l'huile injectée en fonction du temps ;
- analyse de l'évolution de la pression de l'huile injectée afin de déduire les zones de perméabilité différente présentes dans la roche.

La présente invention permet ainsi d'évaluer l'endommagement de la structure d'une roche entourant un puits, la zone endommagée résultant soit de l'opération de forage du puits, soit d'une perforation ou d'une coupe de la roche.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description ci-après, faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique, en coupe longitudinale, d'un puits pétrolier ;
- la figure 2 est une vue de détail d'un élément de la figure 1 ;
- la figure 3 est un schéma d'un dispositif permettant de mettre en oeuvre le procédé objet de la présente invention dans des conditions de laboratoire ;
- la figure 4 est une courbe de l'évolution de la pression en fonction de l'avancée théorique du front visqueux,
- la figure 5 montre l'évolution de la perméabilité de l'échantillon avec la distance radiale,
- la figure 6 est une vue schématique, en coupe longitudinale d'un puits pétrolier muni d'un appareil permettant la mise en oeuvre du procédé objet de la présente invention,
- la figure 7 est une courbe de l'évolution de la pression d'huile en fonction du temps ; et
- la figure 8 est une courbe qui montre, de façon alternative, l'évolution de la perméabilité avec la distance radiale.

Comme représenté sur la figure 1, un puits 10, qui dans l'exemple illustré est un puits pétrolier, s'étend de la surface 12 jusqu'à une couche de roche pétrolifère 14. Un cuvelage 16 métallique s'étend à l'intérieur du puits 10 et l'espace annulaire défini entre l'extérieur du cuvelage 16 et la paroi 18 du puits 10 est rempli de ciment 20. Une colonne de production 22, disposée de manière connue dans le puits 10, est munie, à son extrémité supérieure, d'un ensemble de vannes de sécurité 24. L'espace annulaire 26 défini entre la colonne de production 22 et le tubage 16 est fermé, à son extrémité inférieure, par un dispositif d'étanchéité 28, plus communément appelé "packer".

Lors de la mise en production du puits, un outil perforateur 30 est descendu dans le puits 10 par la colonne de production 22 jusqu'au niveau de la roche pétrolifère 14. Ensuite, on fait détonner des charges explosives 32 disposées dans l'outil perforateur 30. L'explosion des charges 32 crée des perforations 34 à travers le tubage 16 et le ciment 18, s'étendant dans la roche pétrolifère 14.

Comme on le voit mieux sur la figure 2, la perforation 34 est délimitée par une zone endommagée 36 de compacité supérieure à celle de la roche 14, qui est formée par la compression de la roche résultant de l'explosion. L'explosion réduit la taille des grains de roche dans la zone endommagée et provoque une réduction de sa perméabilité. Selon l'invention, afin de déterminer si des traitements pour faciliter l'écoulement du pétrole sont nécessaires, on procède à une évaluation de l'endommagement de la zone entourant la perforation.

Un dispositif, permettant la mise en oeuvre du procédé selon la présente invention dans des conditions du laboratoire, est représenté sur la figure 3. Un ensemble piston 38 et cylindre 40 reçoit un échantillon 42 de roche de section annulaire, dont on souhaite mesurer la perméabilité. Le piston 38 coulisse de manière étanche dans le cylindre 40 sous l'effet d'une pression hydraulique appliquée par une entrée 44. L'échantillon 42 est maintenu de manière étanche dans le cylindre 40 à l'aide de deux joints 46, 48 de manière à définir avec la paroi interne du cylindre 40 un passage annulaire 50 qui communique avec une sortie 52. Un passage central 54 créé par une perforation à l'intérieur de l'échantillon 42 communique avec une entrée de fluide 56. Un circuit d'huile, représenté généralement en 58, comprend une pompe 60, à débit constant, reliée à une source électrique 62, et des réservoirs d'huile 64, 66 et 68. Les réservoirs 66 et 68 contenant chacun une huile différente peuvent être reliés sélectivement par un ensemble de vannes 70 à un conduit 72 menant à l'entrée 56. La pression à la sortie 52 est réglée par une vanne 74 de surpression. Le gradient de pression entre l'entrée 56 et la sortie 52 est mesuré par un dispositif de mesure 76.

A titre d'essai, un échantillon de roche a été testé en laboratoire.

L'échantillon testé était du grès de Béréa et se présentait sous la forme d'un cylindre creux ayant un rayon extérieur  $R_e$  de 5,05 cm, une épaisseur  $H$  de 2,36 cm et une longueur de 8 cm. La perméabilité radiale de l'échantillon  $k(\text{ref})$  était de 174mD avant endommagement par le tir de perforation.

Avant de réaliser les expériences de mesure, l'échantillon est préalablement nettoyé et séché. De l'huile ayant une viscosité  $\mu_1 = 1.5 \text{ cPo}$  est envoyée du réservoir 66 par le conduit 72 pour saturer l'échantillon 42 qui a préalablement été mis sous vide.

La porosité de l'échantillon mesurée lors de l'essai avec l'huile de viscosité de 1,5 cPo est de 19,4 %. La pression de l'huile à l'entrée 56 est ensuite portée à 5 bars et la perméabilité radiale  $K_o$  mesurée est égale à 103 mD. A temps  $t = 0$ , une huile de viscosité  $\mu_2 = 47,5 \text{ cPo}$  est envoyée du réservoir 68 à l'entrée 56 avec un débit constant  $Q$  de 18,8 ml/h et le gradient de pression entre le passage central 54 et la sortie 52 est enregistré en fonction du temps.

Sur la figure 4, on voit l'évolution de la pression appliquée à l'entrée 56 de l'échantillon 42 en fonction de l'avancée théorique du front visqueux. La courbe peut être décomposée en un certain nombre de tronçons élémentaires, qui sont délimités par des changements de pente sur la courbe. Ces tronçons correspondent à des couronnes de perméabilité différentes. Ces couronnes de perméabilité différente sont reprises sur la figure 5 qui montre l'évolution de la perméabilité avec la distance à partir du passage axial 54.

La courbe de la figure 5 fait apparaître 3 zones distinctes, chacune correspondant à une section de la courbe de la figure 4:

- une zone A d'épaisseur 0,5 cm à partir du passage axial 54 de perméabilité intermédiaire, cette zone étant endommagée et déconsolidée ;
- une zone endommagée annulaire B d'épaisseur 2 cm de perméabilité fortement réduite ; et
- une zone annulaire C d'environ 2 cm d'épaisseur de perméabilité élevée, non endommagée par l'opération de perforation.

Sur la figure 6 est représenté un appareil permettant la mise en oeuvre du procédé selon l'invention dans un puits pétrolier. Le puits 110 s'étend de la surface 112 jusqu'à une couche de roche pétrolifère 114 dans laquelle ont été formées soit des perforations 134, comme illustré sur la droite de la figure. Un outil de mesure, représenté généralement en 142, est disposé vers l'extrémité inférieure d'une colonne de production 144 s'étendant de la surface 112 à la couche de roche pétrolifère 114.

L'outil 142 comprend un joint d'étanchéité supérieur 146 et un joint d'étanchéité inférieur 148 qui, une fois que l'outil 142 est descendu dans le puits 110 au niveau de la couche 114, sont reliés à une source 150 de fluide sous pression disposée à la surface 112 afin de mettre les joints sous pression et d'assurer l'étanchéité avec l'intérieur du cuvelage 116. Les deux joints d'étanchéité 146 et 148 définissent entre eux une chambre 152 dont la paroi comprend l'endommagement à évaluer qui est formé soit des perforations 134 soit de la fenêtre 140.

L'intérieur de la chambre 152 est relié à une source 154 d'huile sous pression par l'intérieur de la colonne de production 144. L'intérieur de la colonne de production 144 est muni, en un point prédéterminé, d'une restriction 156. La source 154 est reliée à un enregistreur 158 qui est destiné à enregistrer l'évolution de la pression de l'unité envoyée par la colonne de production 144. La présence de la restriction 156 dans le passage d'huile provoque une montée en pression qui est affichée sur l'enregistreur 158 juste avant l'arrivée de l'huile dans la chambre 152. L'entrée de l'huile dans la chambre 152 se fait par un orifice 160.

La mise en oeuvre de l'outil 142 s'effectue comme suit. Une fois que la colonne de production 144 est descendue dans le puits de façon que l'outil 142 se trouve au niveau des perforations 134 ou de la fenêtre 140, les deux joints d'étanchéité 146 et 148 sont mis sous pression à partir de la source 150 afin d'assurer que la chambre 152 soit isolée du puits 110. La roche à évaluer est ensuite saturée avec un fluide de viscosité connue. Ce premier fluide peut comprendre soit le fluide présent dans le puits, soit l'huile en place dans la roche pétrolifère. Dans les deux cas, la viscosité du fluide dans les conditions en fond de puits peut être déterminée par des techniques conventionnelles. Dans un mode alternatif de réalisation où aucun fluide approprié n'est présent au fond du puits, le premier fluide de viscosité connue est envoyé de la surface par l'intérieur de la colonne de production 144.

Une fois que la roche à évaluer est saturée par le premier fluide, un deuxième fluide, notamment une huile, de forte viscosité supérieure à celle du premier fluide, est envoyé sous pression par l'intérieur de la colonne de production 144 vers la chambre 152. Par forte viscosité, on entend une viscosité environ 10 à 100 fois supérieure à celle du premier fluide et, de préférence environ 30 fois supérieure.

L'instant où l'huile de forte viscosité arrive à la restriction 156 peut être détecté sur l'enregistreur 158 par une montée en pression. Ensuite, connaissant le volume de la colonne de production 144 en aval de la restriction, ainsi que le volume de la chambre 152, on peut déterminer le moment où la chambre 152, y compris les volumes des perforations 134 ou de la fenêtre 140, est remplie d'huile et ainsi le moment où commence la saturation de la roche 114.

A partir du début de la saturation de la roche 114 à débit constant, on enregistre le gradient de pression en fonction du temps. L'évolution de la pression de l'huile en fonction du temps est représentée par la courbe de la figure 7 et celle de la pression de l'huile en fonction du rayon théorique d'avancée du front visqueux par une courbe analogue à celle de la figure 4. Les points de changement de pente de cette courbe indiquent des changements associés de perméabilité. Les tronçons reliant les points de changement de pente représentent des zones de la roche de perméabilité différente. Ces zones sont reprises sur une courbe analogue à celle de la figure 5 qui montre l'évolution de la perméabilité avec la distance radiale à partir du puits.

Dans un deuxième mode d'interprétation, au lieu de détecter les points de changement de pente, on trace la dérivée de la courbe du gradient de pression en fonction du temps afin de générer une courbe de l'évolution de la perméabilité en fonction de la distance au puits.

Sur la figure 8 est représentée une courbe de l'évolution de la perméabilité réalisée en utilisant la dérivée de la courbe de la figure 4. La figure 8 reprend, ainsi, de façon plus précise, les données de la figure 5.

On peut utiliser le procédé selon l'invention pour déterminer d'autres caractéristiques relatives à l'état de fonctionnement du puits, par exemple pour compter le nombre de perforations présentes au fond du puits.

La distance au puits au temps  $t$  est définie par l'équation  $R(t) = \sqrt{\frac{Qt}{\pi \cdot H \cdot \phi}} - R_w^2$

La perméabilité locale au temps  $t$  [donc à  $R(t)$ ] est définie par l'équation  $k(t) =$

$$\frac{Q(\mu_1 - \mu_2)}{4 \cdot \pi \cdot H \cdot (t + \pi R_w^2 H \phi)} \cdot \frac{dP(t)}{dt} \quad \text{où}$$

$Q$  = débit d'injection

$H$  = Hauteur du réservoir

$\phi$  = Porosité moyenne du réservoir

$R_w$  = Rayon du puits

$\mu_1$  = Viscosité du fluide initial

$\mu_2$  = Viscosité du fluide injecté ( $\mu_2 > \mu_1$ )

$R(t)$  = Rayon du front visqueux au temps  $t$

$k(t)$  = Perméabilité au front au temps  $t$  (donc en  $R$ )

## Revendications

**1 - Procédé d'évaluation de l'endommagement de la structure d'une roche entourant un puits comportant les étapes suivantes :**

- injection dans la roche, déjà saturée par un premier fluide d'une première viscosité, d'une huile de viscosité supérieure à la première viscosité,
- enregistrement de la pression de l'huile injectée en fonction du temps ;
- analyse de l'évolution de la pression de l'huile injectée afin de déduire les zones de perméabilité différente présentes dans la roche.

**2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la saturation de la roche avec le premier fluide**

est due à un fluide déjà présent dans le puits de forage.

**3** - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la saturation de la roche avec le premier fluide s'effectue à partir de la surface.

**4** - Procédé selon la revendication 3 caractérisé en ce que l'on utilise une huile en tant que premier fluide.

5 **5** - Procédé selon l'une des revendications 1 à 4 caractérisé en ce que l'on utilise une huile ayant une viscosité entre 10 et 100 fois supérieure à celle du premier fluide.

**6** - Procédé selon la revendication 5 caractérisé en ce que l'on utilise une huile ayant une viscosité 30 fois supérieure à celle du premier fluide.

10 **7** - Procédé selon l'une des revendications 1 à 6 caractérisé en ce que l'analyse de l'évolution de la perméabilité en fonction de la distance au puits s'effectue en utilisant la dérivée par rapport au temps de la courbe de l'évolution de pression de l'huile en fonction du temps.

15

20

25

30

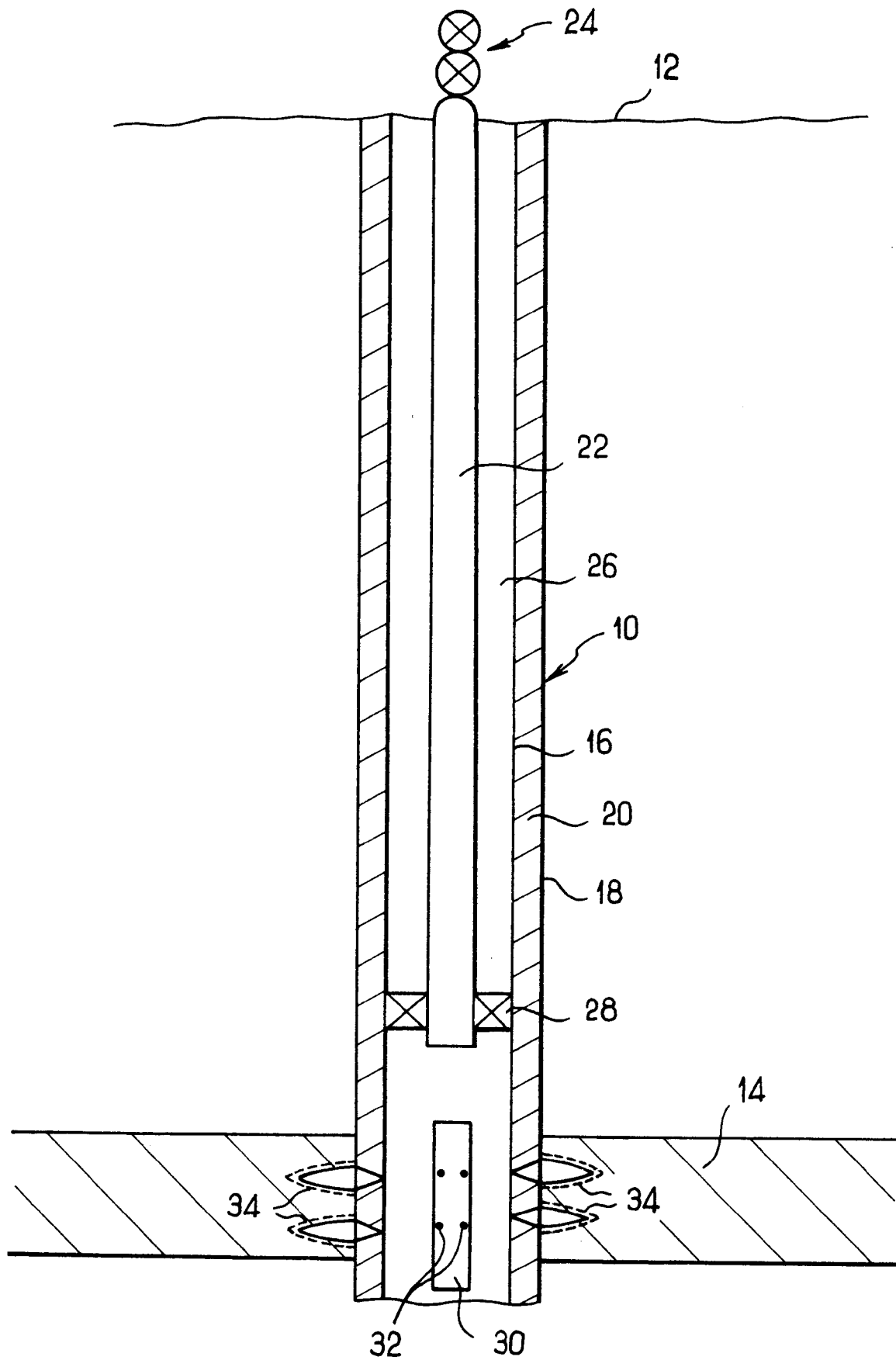
35

40

45

50

55



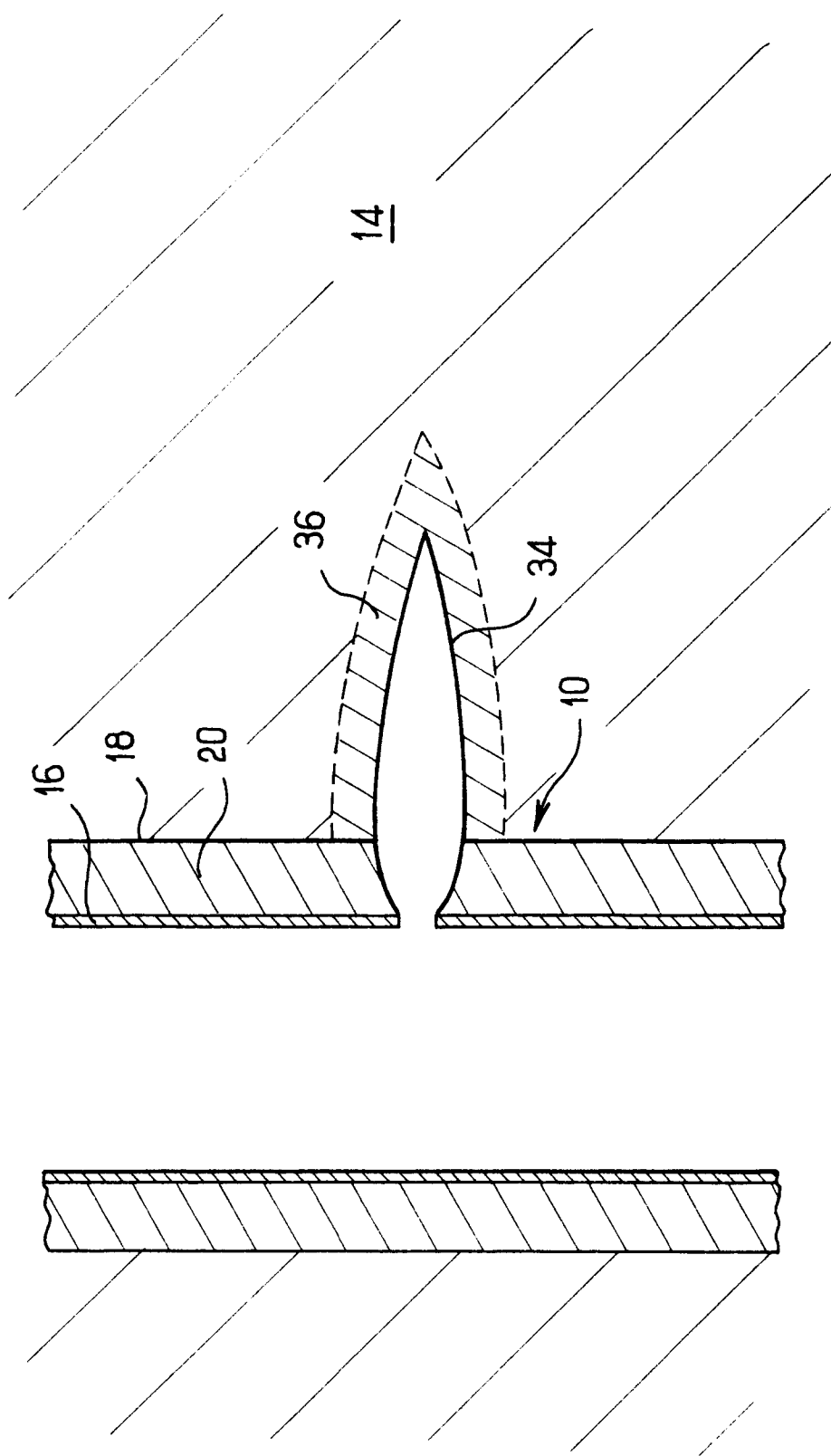


FIG. 2

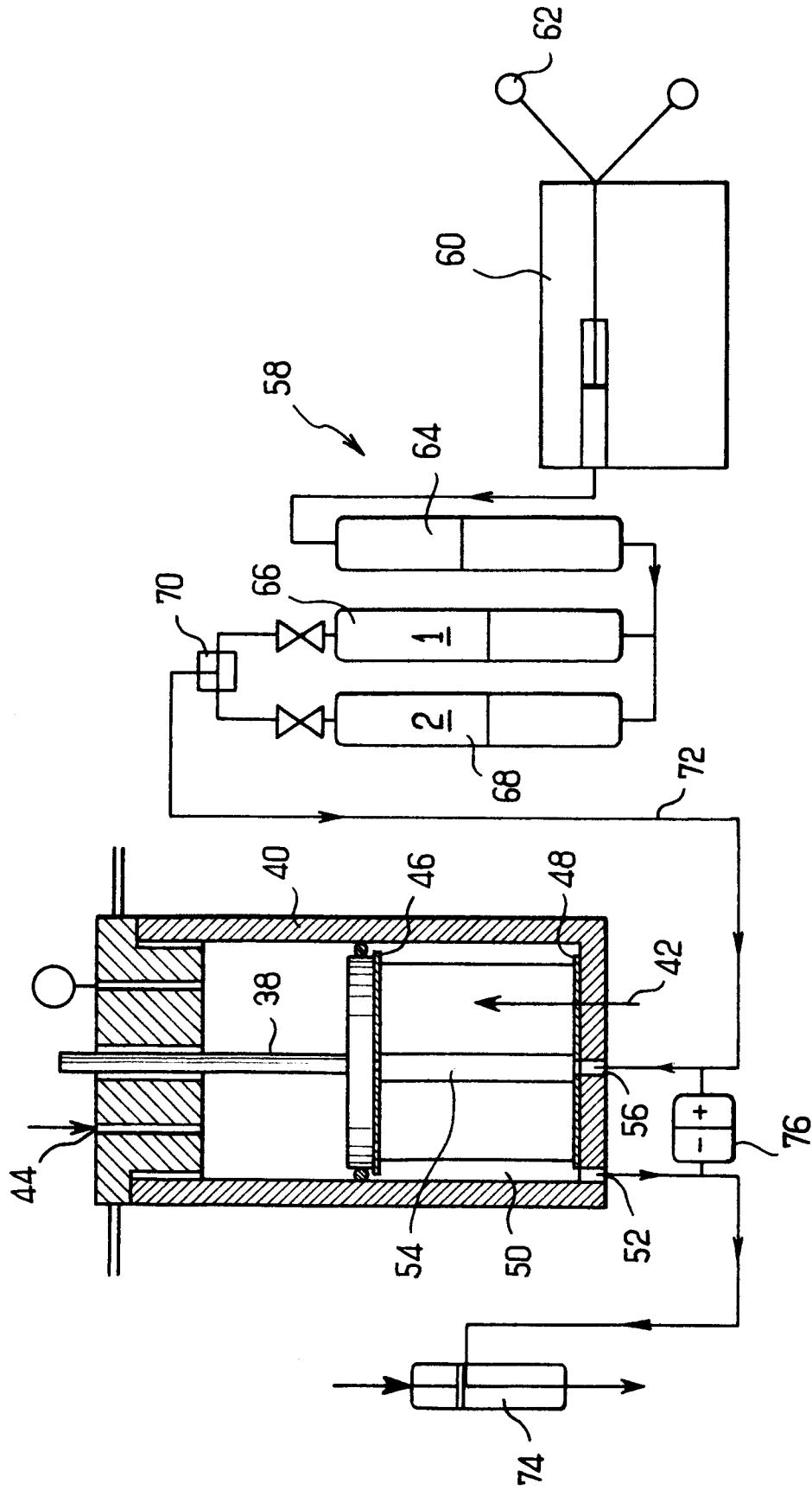


FIG. 3



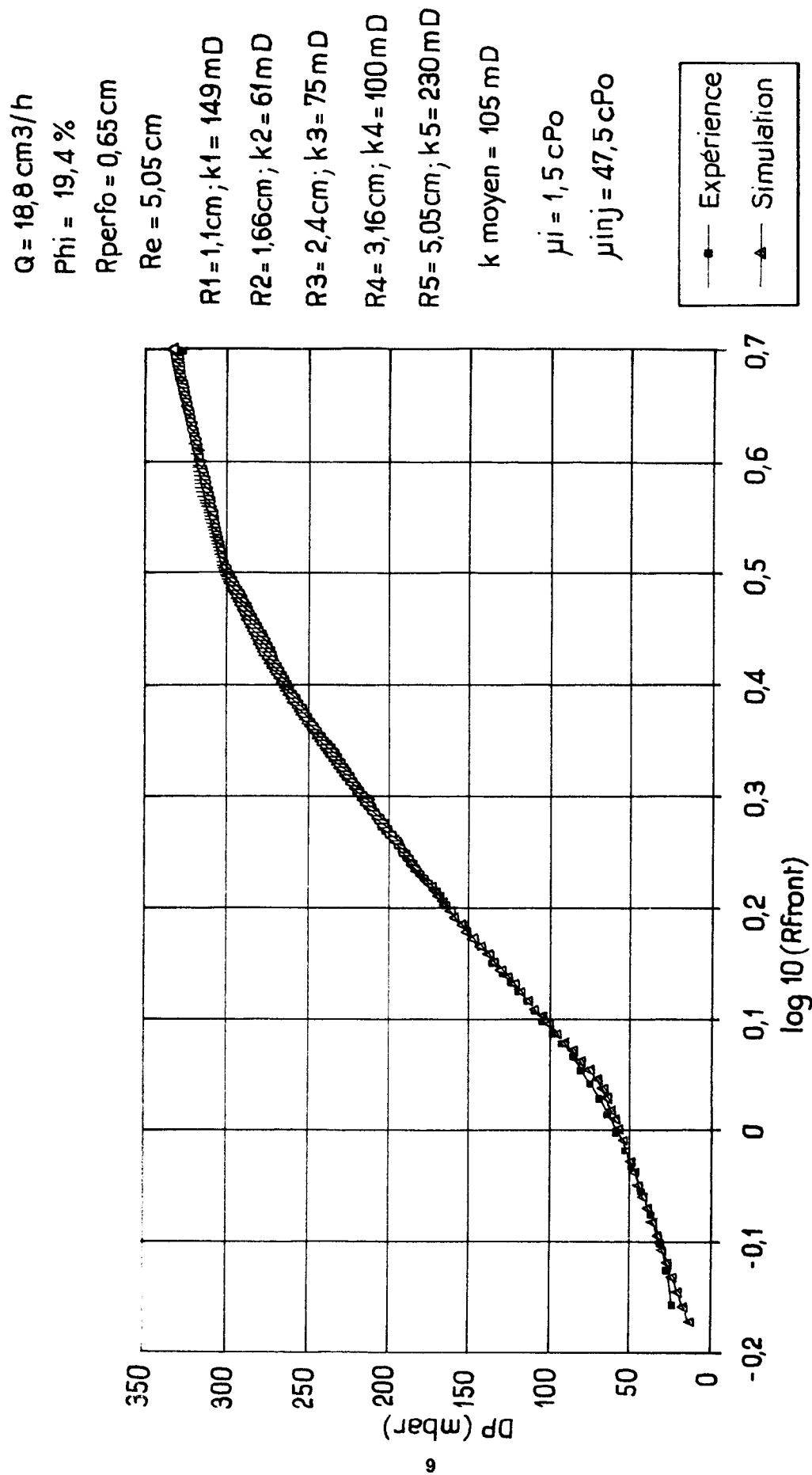


FIG. 4

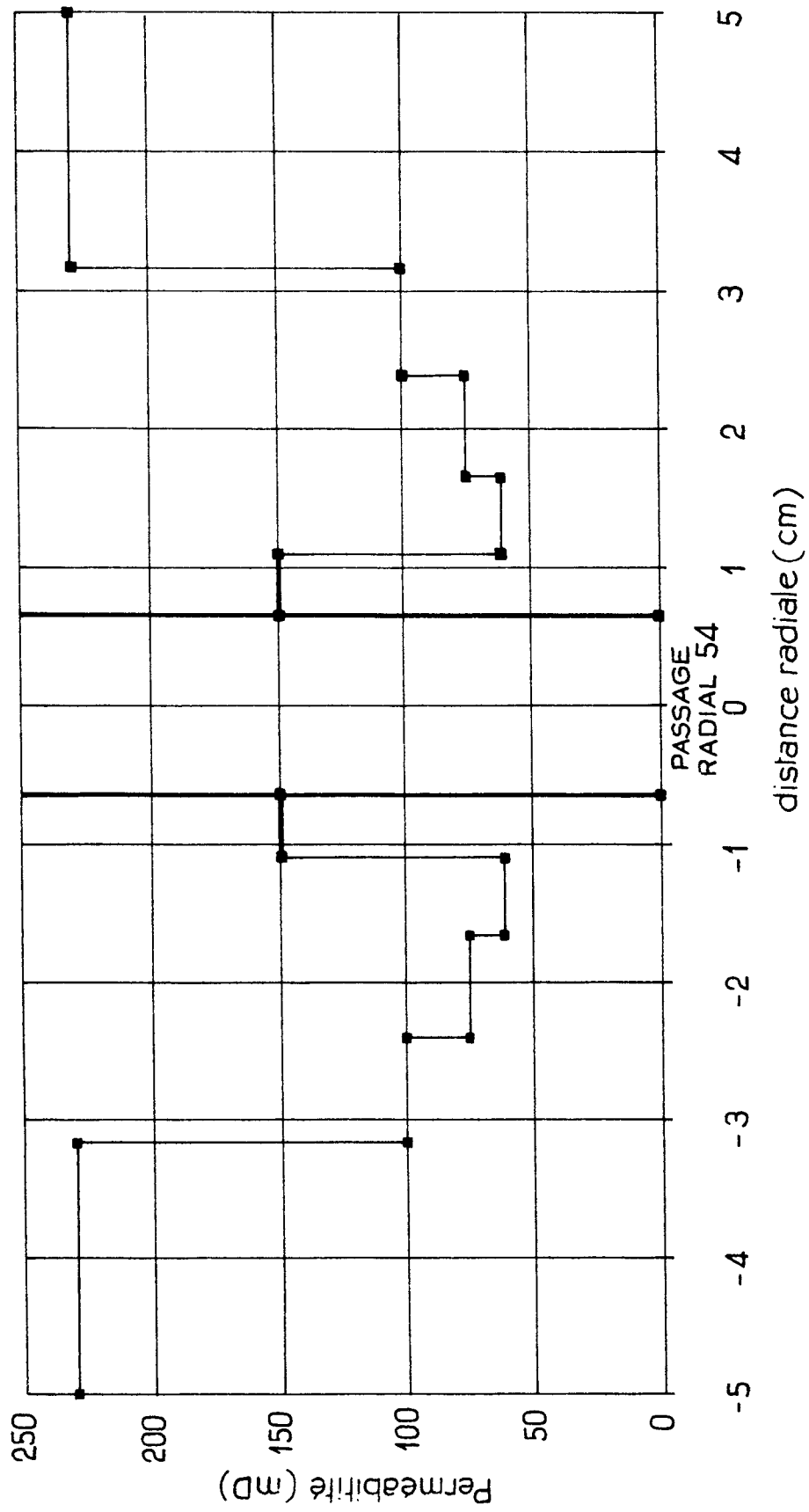


FIG. 5

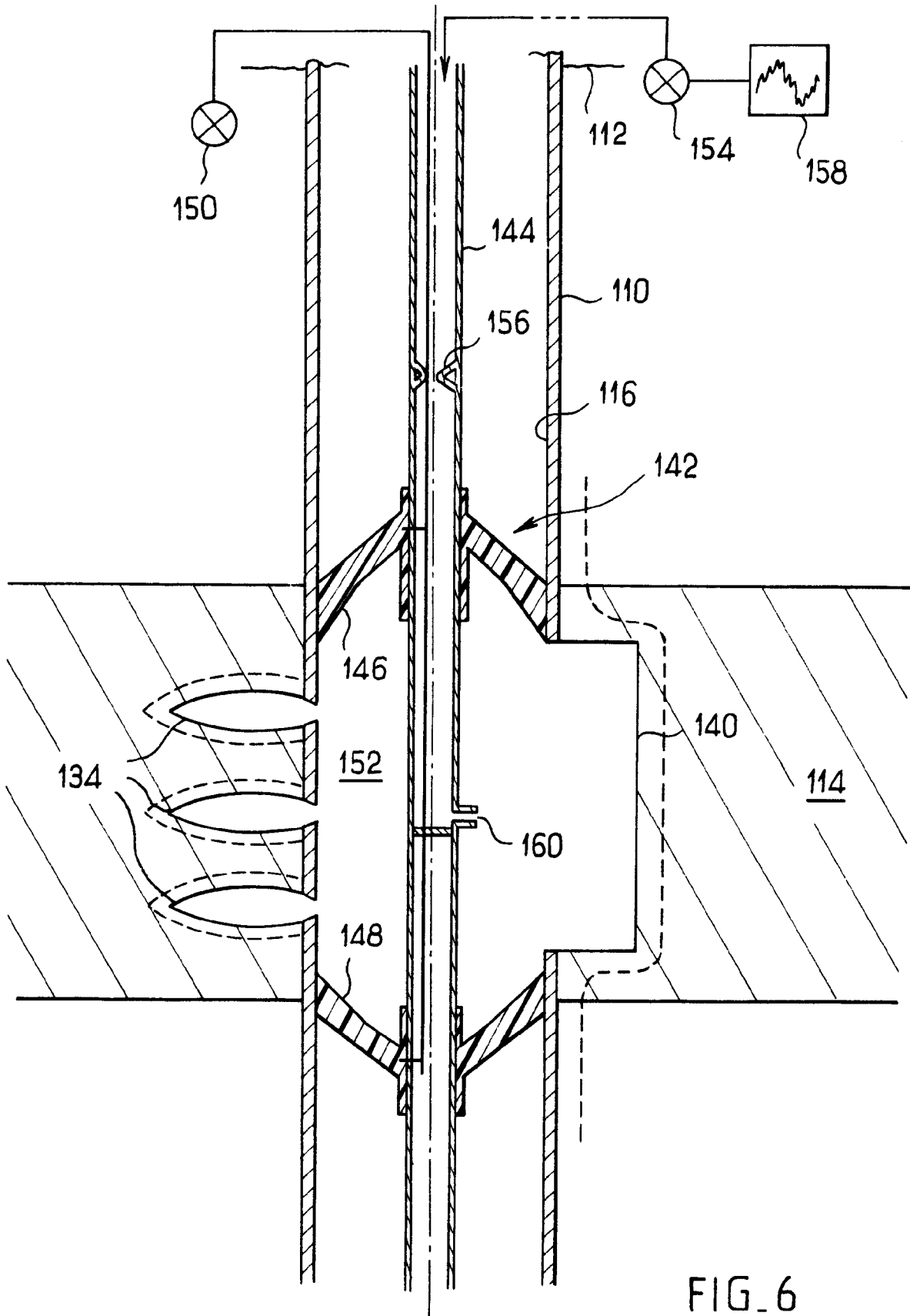
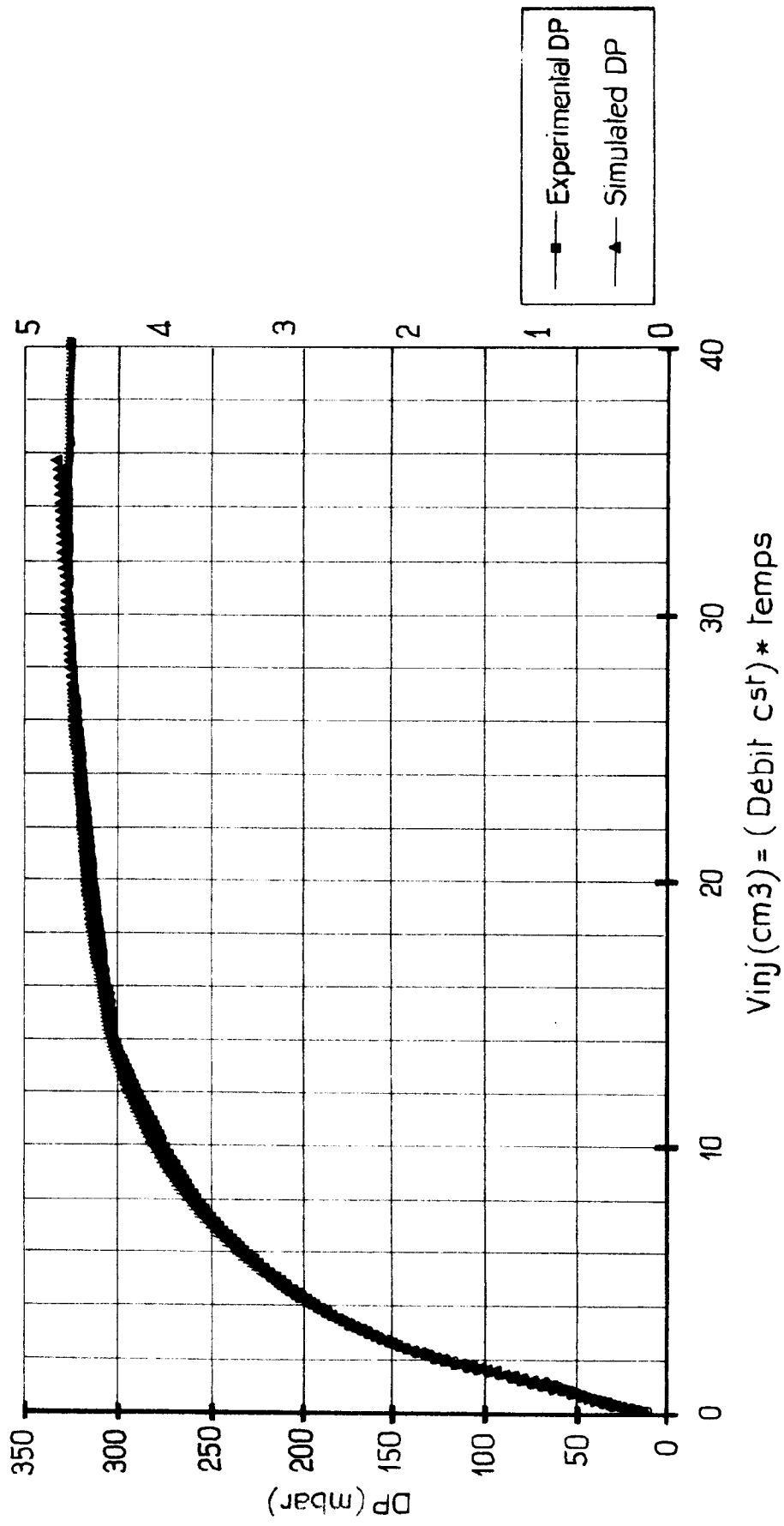


FIG. 6

FIG. 7

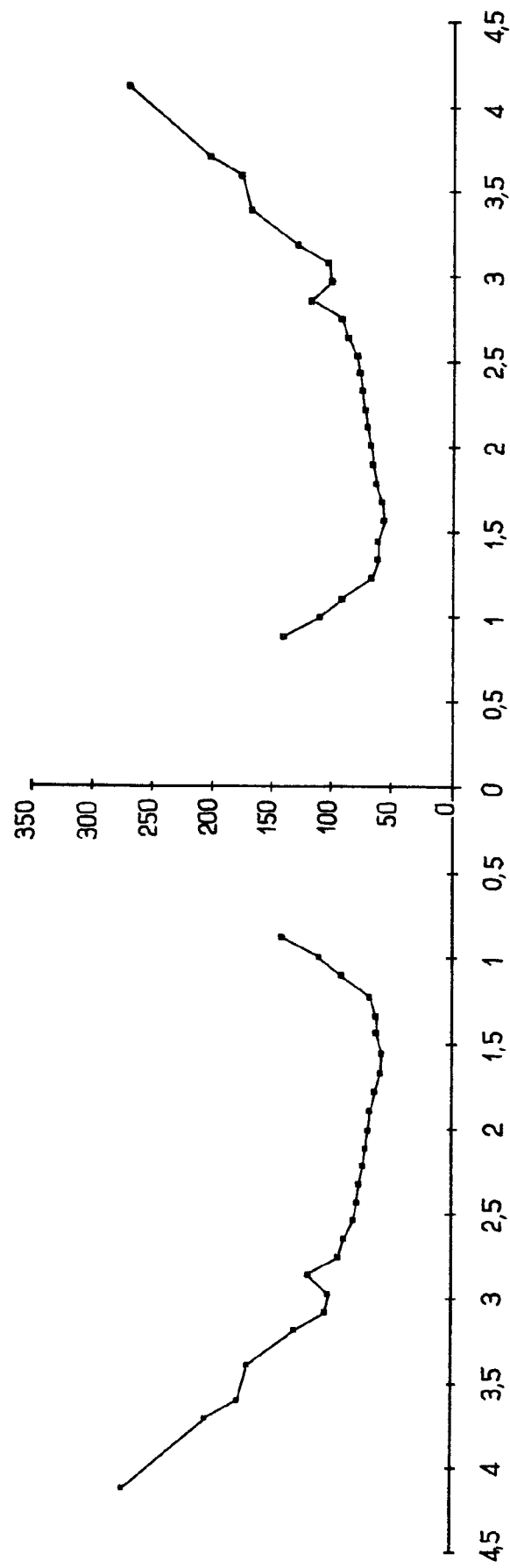


FIG. 8



Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande  
EP 94 40 2167

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)
A	US-A-3 604 256 (PRATS) * le document en entier * ---	1	E21B49/00
A	US-A-4 558 592 (DESPAX) * colonne 5, ligne 50 - ligne 58; figure 1 * ---	1,2,4	
A	GB-A-2 060 903 (B.CROSNIER) * abrégé * ---	1,7	
A	US-A-4 052 885 (SHUCK) * le document en entier * ---	1,2,4	
A	FR-A-2 623 561 (SOLETANCHE) * page 1, ligne 1 - ligne 14; revendication 1 * ---	1,2	
A	EP-A-0 286 152 (PUMPTECH) * le document en entier * -----	1,2,4	
			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 20 Janvier 1995	Examinateur Fonseca Fernandez, H
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</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 antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

EPO FORM 1503 03.92 (P04C02)