



(22) Date de dépôt/Filing Date: 1994/07/29

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 1995/01/30

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2007/07/10

(30) Priorité/Priority: 1993/07/29 (FR93/09481)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01N 15/08* (2006.01),
G01N 29/07 (2006.01)

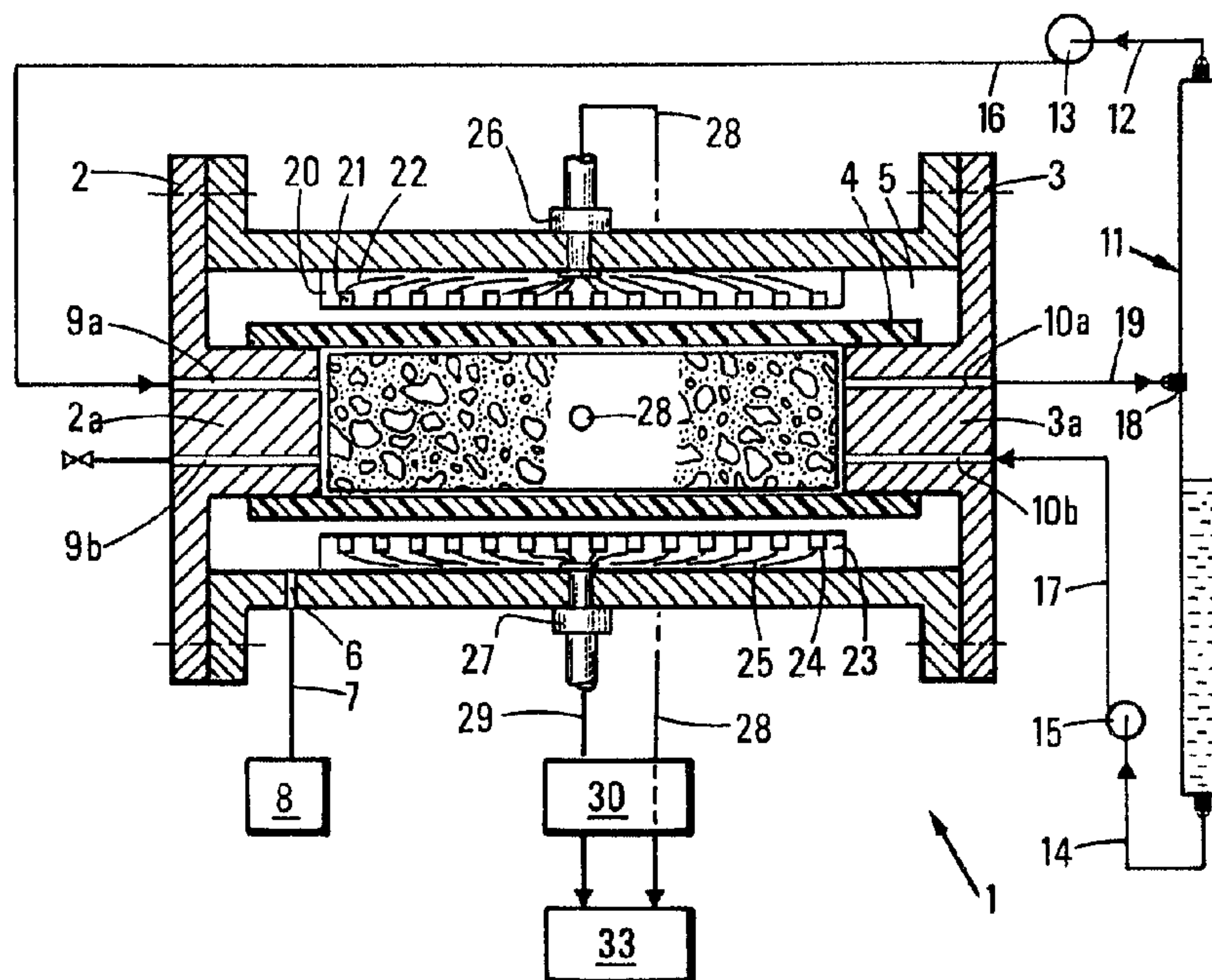
(72) Inventeurs/Inventors:
LENORMAND, ROLAND, FR;
EISENZIMMER, ANNICK, FR;
RINGOT, GABRIEL, FR

(73) Propriétaire/Owner:
INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, FR

(74) Agent: ROBIC

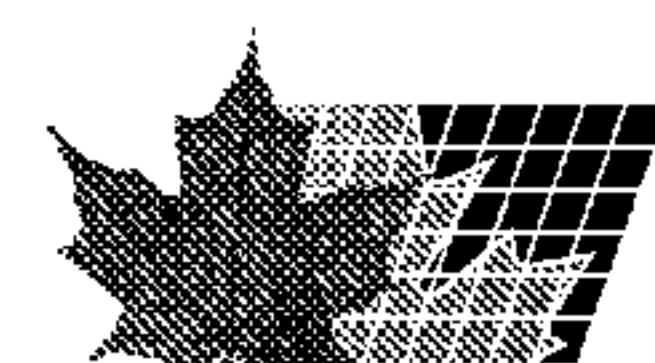
(54) Titre : PROCÉDE ET DISPOSITIF POUR MESURER DES PARAMETRES PHYSIQUES D'ECHANTILLONS
POREUX MOUILLABLES PAR DES FLUIDES

(54) Title: PROCESS AND DEVICE FOR THE MEASUREMENT OF THE PHYSICAL PARAMETERS OF POROUS AND
WETTABLE SAMPLES



(57) Abrégé/Abstract:

- Le procédé consiste essentiellement à placer un échantillon solide imbibé avec un premier fluide (de l'eau par exemple) dans une enceinte close, d'injecter par des moyens de pression un autre fluide sous pression à une première extrémité de l'enceinte et de balayer l'extrémité opposée par un fluide à basse pression mis en circulation par des moyens de pompage, qui entraîne au dehors le fluide drainé. Le dispositif comporte des moyens de mesure permettant de connaître la pression et la saturation de l'échantillon en au moins un point de sa longueur, la quantité de fluide évacué et la résistivité électrique de l'échantillon. Par une variation progressive des débits injectés, on peut réaliser sans toucher à l'échantillon, des cycles complets de drainages et d'imbibitions avec établissement de courbes de variation de la pression capillaire, et calcul des perméabilités relatives. - Application notamment à la pétrophysique des roches ou au test de matériaux de construction dans le bâtiment.



PRÉCIS DE LA DIVULGATION :

- Le procédé consiste essentiellement à placer un échantillon solide imbibé avec un premier fluide (de l'eau par exemple) dans une
5 enceinte close, d'injecter par des moyens de pression un autre fluide sous pression à une première extrémité de l'enceinte et de balayer l'extrémité opposée par un fluide à basse pression mis en circulation par des moyens de pompage, qui entraîne au dehors le fluide drainé. Le dispositif comporte des moyens de mesure
10 permettant de connaître la pression et la saturation de l'échantillon en au moins un point de sa longueur, la quantité de fluide évacué et la résistivité électrique de l'échantillon. Par une variation progressive des débits injectés, on peut réaliser sans
15 toucher à l'échantillon, des cycles complets de drainages et d'imbibitions avec établissement de courbes de variation de la pression capillaire, et calcul des perméabilités relatives.
- Application notamment à la pétrophysique des roches ou au test de matériaux de construction dans le bâtiment.

2129166

La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour réaliser sur un échantillon poreux, des phases de drainage et d'imbibition successives de façon à déterminer des paramètres physiques de cet échantillon.

5 Le procédé et le dispositif selon l'invention conviennent pour tester des échantillons géologiques et déterminer différents paramètres tels que la pression capillaire des roches dans des phases de drainage ou d'imbibition, leurs indices de mouillabilité, leurs perméabilités relatives, leurs indices de résistivité etc.

10 Le procédé et le dispositif trouvent des applications notamment dans le domaine pétrolier pour tester des roches qui ont été prélevés dans des formations recélant ou susceptibles de recéler des effluents pétroliers.

Il est important de déterminer la mouillabilité des roches vis
15 à vis de l'eau et de l'huile qui peuvent y être contenues. A cet effet, il faut procéder à un drainage de la roche c'est-à-dire à un déplacement des fluides visant à diminuer la saturation en eau, suivi d'une imbibition, en désignant par ce terme un déplacement des fluides permettant d'augmenter la saturation en eau (S_w) de la
20 roche. La pression capillaire en un point se définit comme la différence P_c à l'équilibre entre la pression $P(\text{huile})$ de l'huile et celle $P(\text{eau})$ de l'eau. Ce paramètre n'a de sens que si les deux fluides sont en phase continue dans le milieu poreux. Pour un milieu mouillable à l'eau, seules les valeurs positives ont un sens.
25 Par contre, lorsque le milieu a une mouillabilité mixte, les fluides peuvent rester en phase continue aussi bien pour les pressions capillaires (P_c) positives que négatives.

Pour une application de ce type, un cycle complet de mesure de la pression capillaire doit donc comporter (Fig.1):

- 30 a) un drainage primaire positif d'un échantillon saturé initialement en eau à 100% (courbe 1);
b) une imbibition positive (courbe 2);
c) une imbibition négative (courbe 3);
d) un drainage négatif (courbe 4); et
35 e) un drainage secondaire positif (courbe 5).

2129166

La connaissance de différents paramètres et notamment de la mouillabilité des roches, est utile notamment quand on doit procéder à une récupération assistée d'une formation, en drainant les effluents qu'elle contient par une injection d'un fluide sous
5 pression, et que l'on doit par des tests préalables le fluide (eau ou gaz) qui convient le mieux pour déplacer les effluents.

L'invention trouve aussi des applications en génie civil pour faire de l'hydrologie de terrains pour évaluer leur degré de pollution par exemple, ou encore dans le bâtiment pour tester des
10 matériaux de construction afin notamment de décider de traitements hydrofuges par exemple.

Une méthode pour mesurer la pression capillaire régnant dans les pores d'une roche poreuse contenant deux fluides en phases continues, connue notamment par le brevet US-A-4 506 542, dite
15 à "plaque poreuse", consiste essentiellement à placer l'échantillon dans une cellule allongée terminée à ses deux extrémités opposées par des barrières capillaires perméables à un premier de ces deux fluides, à injecter ce premier fluide sous pression au travers de la première membrane et à mesurer la différence de pression entre la
20 pression d'injection et la pression du fluide évacué à l'autre extrémité. Les pressions des deux fluides ainsi que la pression capillaire P_c sont constantes le long de l'échantillon, et la saturation est supposée uniforme. Avec ce type de méthode, la durée de la phase de drainage est assez longue et, pour la mettre en oeuvre, il
25 faut employer des membranes relativement fragiles.

Il est connu aussi de mesurer la pression capillaire de roches saturées de fluides en les soumettant à une centrifugation à vitesse progressive, et en mesurant la quantité de fluide produite en fonction de la vitesse. L'échantillon saturé de liquide est placé dans
30 une enceinte dont l'axe est orienté suivant la direction de la force centrifuge et on injecte un autre fluide qui prend la place du fluide expulsé au fur et à mesure de son expulsion. Dans la phase de ré-imbibition, on diminue la vitesse de façon à étudier la réintégration du fluide initial dans l'échantillon. Le champ de pression créé par la
35 centrifugation s'exprime en fonction de la densité ρ , du rayon R et

de la vitesse angulaire w , par la relation : $1/2 w^2 \cdot \rho (R_{\max}^2 - R^2)$, pour chaque fluide. On impose que la pression des deux fluides à la sortie de l'échantillon soit la même et qu'elle s'annule à la sortie. Les saturations locales, avec ce type de méthode, sont calculées par un programme d'inversion à partir de la quantité totale d'eau expulsée hors de l'échantillon. Cette méthode est mise en oeuvre par exemple dans les demandes de brevet FR-A-2 666 147 et EP 0603 040 du demandeur.

Les méthodes précédentes sont du type statique du fait qu'à l'équilibre, il n'y a aucun mouvement de fluides à l'intérieur de l'échantillon.

Suivant une autre méthode dite "dynamique", on place un échantillon dans une enceinte allongée terminée à ses deux extrémités par des membranes perméables à l'eau. A une première extrémité, on injecte directement de l'huile sous pression dans l'enceinte. De l'eau y est également injectée mais cette injection est effectuée au travers de la membrane et à une pression inférieure. A l'extrémité opposée, l'huile est évacuée directement alors que l'eau sort au travers de la membrane terminale. En réglant les débits d'injection d'huile et d'eau, on s'arrange pour que la pression capillaire soit la même à l'entrée de l'enceinte qu'à sa sortie, ce qui entraîne une saturation uniforme pouvant être déduite du bilan des fluides. La pression capillaire est obtenue par exemple en mesurant la différence entre les pressions de l'huile et de l'eau à la sortie de l'enceinte.

Une telle méthode est décrite notamment par Brown H.W. in "Capillary Pressure Investigations" Petroleum Transaction AIME, vol. 192, 1951.

Le procédé selon l'invention permet de réaliser sur un échantillon solide poreux mouillable par au moins un premier fluide, des phases de drainage et d'imbibition successives, de façon à déterminer des paramètres physiques, (notamment pétrophysiques: pressions capillaires, saturation en eau (S_w) etc.). Il comporte l'introduction de l'échantillon dans une enceinte allongée pourvue de moyens de mesure, comportant l'injection d'un

deuxième fluide sous pression, à une première extrémité de l'enceinte, de façon à évacuer hors de l'échantillon un fluide qui y est continu, et l'évacuation hors de l'enceinte d'un premier fluide issu de l'échantillon caractérisé en ce que l'évacuation du fluide issu de l'échantillon est réalisée :

- au moyen d'une circulation de fluide, à une pression constante fixée, que l'on établit à l'extrémité de l'enceinte, opposée à la première extrémité, et
- la mesure en au moins un emplacement le long de l'enceinte, de la saturation de l'échantillon et de la pression régnant dans
10 l'échantillon.

On détermine la variation de la saturation de l'échantillon en mesurant par exemple les variations de la vitesse d'ultrasons au travers de l'échantillon ou bien encore au moyen d'un rayonnement émis au travers de l'échantillon.

On peut également mesurer en continu les variations de la conductivité électrique de l'échantillon dans son enceinte au fur et à mesure de l'injection dudit deuxième fluide.

De préférence, suivant un mode de mise en oeuvre, on place l'échantillon dans l'enceinte et on procède successivement à un drainage du premier fluide hors de l'échantillon et à une réimbibition de celui-ci avec le
20 même premier fluide, le deuxième fluide chassé hors de l'échantillon étant évacué par un courant de fluide à une pression fixée. On peut donc réaliser ainsi des opérations de drainage-imbibition positives ou négatives successivement, en inversant le rôle joué par les deux fluides en présence.

Un des fluides est par exemple de l'eau et l'autre fluide peut être de l'huile.

Le dispositif de mise en oeuvre permet de réaliser sur un échantillon solide poreux, des phases de drainage et d'imbibition successives de façon à déterminer des paramètres physiques. Il comprend une enceinte allongée pour contenir un échantillon imbibé avec le premier fluide, des moyens de pression pouvant être
30 connectés à une première extrémité de l'enceinte, pour injecter un deuxième fluide sous pression de façon à drainer le premier fluide

hors de l'échantillon, et des moyens de mesure de la pression en au moins un emplacement de l'échantillon. Le dispositif est caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de pompage pouvant être connectés à l'extrémité de l'enceinte opposée à la première extrémité, pour établir une circulation de fluide à une pression fixée et entraîner hors de l'enceinte les fluides expulsés hors de l'échantillon, des moyens pour mesurer la quantité de premier fluide évacué hors de l'enceinte et des moyens pour déterminer la saturation de l'échantillon en fluide.

10 Le dispositif peut comporter des moyens pour imposer à l'échantillon, une pression statique ainsi que des moyens de connexion pour connecter les moyens de pression et les moyens de pompage alternativement à une extrémité de l'enceinte et à son extrémité opposée.

De préférence, suivant un mode de réalisation, les moyens de mesure de la saturation comportent des moyens de télémétrie acoustique pour déterminer les variations du temps de propagation du son au travers de l'échantillon.

De préférence, suivant un autre mode de réalisation, les moyens de mesure de la saturation comportent des moyens pour déterminer les variations du coefficient d'absorption de l'échantillon relativement à un rayonnement émis au travers.

20 De préférence, suivant encore un autre mode de réalisation, les moyens de mesure de la saturation comportent des moyens de mesure de la conductivité électrique de l'échantillon.

Suivant un agencement avantageux, on utilise des moyens de mesure de la saturation comportant plusieurs unités de mesure disposées suivant plusieurs sections transversales à différents emplacements le long de l'échantillon. Dans ce cas, on peut aussi disposer dans ces mêmes sections, plusieurs capteurs de pression.

De préférence, le fluide circulant à l'extrémité opposée de l'enceinte est identique au premier fluide issu de l'échantillon.

30 En permettant au premier fluide de se mettre à la même pression que le fluide en circulation, on évite d'avoir à faire des mesures séparées de la pression du premier et du deuxième fluides

2129166

et donc par là même, l'utilisation de membranes semi-perméables. La pression du premier fluide est ici connue avec précision et donc on évite une source d'erreurs possibles.

5 L'agencement de la cellule étant symétrique, on peut de ce fait sans avoir à la démonter, procéder à un cycle complet de drainage-imbibition positif ou négatif avec mesures de la pression capillaire dans toutes les phases successives. Du fait de l'absence de membranes semi-perméables, on évite les difficultés de mise en oeuvre pour assurer l'étanchéité ou maintenir la continuité
10 capillaire etc.

La connaissance de la pression de l'échantillon en au moins un emplacement de sa longueur et de son indice de saturation, permet de déterminer:

- la pression capillaire,
- 15 - les indices de mouillabilité WI calculés à partir des aires délimitées par les courbes de pression capillaire positives et négatives, ou des variations des points extrêmes des saturations; et
- les perméabilités relatives Kr;

20 La possibilité offerte par le dispositif de faire également des mesures électriques rend possible le calcul des indices de résistivité électrique IR en fonction de la saturation, pour les différentes parties de la courbe de pression capillaire.

25 D'autres caractéristiques et avantages du procédé et du dispositif selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après de modes de réalisation décrits à titre d'exemples non limitatifs, en se référant aux dessins annexés où:

- la Fig.1 montre à titre indicatif les variations que subit la pression capillaire dans un échantillon au cours d'un cycle complet de
30 drainage-imbibition;
- la Fig.2 montre schématiquement, un premier mode de réalisation du dispositif utilisant des barrettes de transducteurs d'ultrasons pour mesurer la saturation;
- la Fig.3 montre un détail de réalisation permettant la mise en
35 place d'un capteur de pression;

2129166

- la Fig.4 montre une disposition dans un même plan transversal de moyens de mesure à ultrasons, de pression et de conductivité électrique;
- 5 - la Fig.5 montre schématiquement un ensemble de moyens de mesure répartis en plusieurs endroits le long d'un échantillon mis en place dans le dispositif selon l'invention;
- la Fig.6 montre une courbe d'étalonnage des transducteurs d'ultrasons permettant de relier leur intervalle de temps de propagation ou "temps de vol" Y , à la saturation de l'échantillon en
- 10 huile So par exemple; et
- les Fig.7 et 8 montrent à titre d'exemples, comment varient la pression capillaire P_c en fonction de la saturation en eau S_w , pour deux échantillons respectivement mouillables à l'eau et à l'huile.

La méthode selon l'invention est de type semi-dynamique et

15 consiste essentiellement à tester un échantillon aussi bien en phase de drainage que d'imbibition, en le plaçant dans une enceinte close allongée et en injectant un premier fluide sous pression à une de ses extrémités, tandis que l'on balaie son extrémité opposée au moyen d'un courant de fluide à une pression inférieure fixée et à

20 faible débit.

La méthode est mise en oeuvre au moyen d'un dispositif comportant une enceinte ou cellule de confinement allongée 1, cylindrique par exemple, qui peut être fermée à ses deux extrémités opposées, par deux couvercles 2, 3 amovibles. Des

25 moyens de fixation et d'étanchéité (non représentés) permettent leur fixation aux extrémités de l'enceinte. L'échantillon à tester S , est placé à l'intérieur d'une gaine déformable 4, et l'ensemble est disposé dans l'enceinte 1. Les deux couvercles sont pourvus vers l'intérieur de l'enceinte, respectivement d'un renflement

30 cylindrique 2a, 3a sensiblement de même diamètre que celui de la gaine et adaptés à venir s'engager dans les parties terminales de celle-ci quand les couvercles 2, 3 sont fixés à l'enceinte 1. L'espace annulaire 5 autour de la gaine 4 est mis en communication avec une

35 source de fluide sous pression 8 délivrant du fluide par l'intermédiaire d'une ouverture 6 ménagée dans la paroi extérieure

de l'enceinte 1, et d'une canalisation 7 raccordée à cette ouverture. Il peut s'agir d'une bouteille de gaz comprimé, d'un vérin ou encore d'une pompe hydraulique. L'application de ce fluide, permet de mettre sous une pression déterminée l'échantillon à tester.

5 A l'extérieur de l'enceinte 1, on dispose verticalement un tube 11 fermé à ses deux extrémités. A son extrémité supérieure, est raccordé une canalisation 12 que l'on connecte à l'entrée d'une pompe 13. L'extrémité inférieure du même tube 11 est reliée par une canalisation 14 avec l'entrée d'une deuxième pompe 15.

10 Deux canaux 9a, 9b et 10a, 10b orientés parallèlement à l'axe de l'enceinte, sont percés au travers des renflements cylindriques respectivement 2a et 3a des deux couvercles 2, 3. Au canal 9a dans le couvercle 2, par exemple, est raccordée une canalisation 16 connectée à la sortie de la première pompe 13. Au canal 10b, on
15 raccorde une canalisation 17 reliée à la sortie de la deuxième pompe 15. Le tube 11 est pourvu également d'une ouverture radiale intermédiaire 18 que l'on raccorde par une canalisation 19, avec le canal 10a dans le couvercle 3.

 Le tube 11 est par exemple transparent et gradué, de façon
20 que les variations de niveau entre les deux fluides puissent être traduites en volumes de fluide expulsé.

 Suivant un premier mode de réalisation, on dispose à l'intérieur de l'enceinte 1, extérieurement à la gaine 4, des moyens pour détecter en au moins un emplacement de la longueur de
25 l'échantillon S et de préférence en plusieurs emplacements le long de celui-ci, les variations de sa saturation. On utilise par exemple des moyens de mesure à ultrasons analogues à ceux décrits dans la demande de brevet EP 0 603 040 précitée.

 Suivant une première génératrice de la gaine 4, on dispose
30 une première barrette 20 le long de laquelle est fixée une rangée de pastilles piézo-électriques 21 associées chacune à des fils électriques 22. De l'autre côté de l'échantillon et dans un même plan radial que la première barrette 20, est disposée une autre barrette 23 le long de laquelle est fixée une autre rangée de pastilles piézo-
35 électriques 24 associées également à des fils conducteurs 25. Les

2129166

fils électriques 22 et 25 sont respectivement raccordés à deux connecteurs électriques 26, 27 traversant la paroi de l'enceinte 1. A ces deux connecteurs sont raccordés respectivement deux câbles 28, 29 connectés à un appareil de télémétrie acoustique 30 d'un type connu. Celui-ci applique périodiquement des signaux impulsionnels aux pastilles de la barrette 20, il reçoit les signaux captés respectivement par les pastilles de la barrette opposée 23 et il détermine pour chaque couple d'émetteur-récepteur, le temps de propagation (ou temps de vol) des impulsions au travers de l'échantillon.

Par des étalonnages réalisés préalablement sur un échantillon de test ou au cours même des mesures sur un échantillon à tester, on établit une courbe (Fig.6) reliant par exemple l'indice de saturation en huile So d'un échantillon à la variation du temps de vol Y des ultrasons qui le traversent (série de points 1 durant le drainage et série de points 2 en imbibition).

Ce mode de mesure par ultrasons est avantageux en raison de son coût relativement faible, de sa rapidité de réponse. Il est en outre particulièrement bien adapté pour des tests d'échantillons réalisés sous pression.

Au moins un capteur de pression 31 est mis en place à l'intérieur de la gaine 4 pour mesurer la pression locale à un emplacement déterminé de la longueur de l'échantillon, de préférence dans le même plan transversal que l'un des couples de pastilles piézo-électriques 21, 24. Le capteur 31 est placé par exemple dans un insert métallique 32 traversant la paroi de la gaine souple 4 (Fig.3) et les conducteurs électriques associés, sont connectés extérieurement à un organe 33 de traitement de données constitué par exemple d'un micro-ordinateur programmé. Ce même micro-ordinateur 33 recoit également les mesures de temps de vol réalisées par l'appareil de télémétrie 30.

On considère le cas d'un échantillon initialement saturé en eau par exemple, qui est placé dans l'enceinte 1 et mis sous pression par injection de fluide dans l'espace annulaire 5 autour de la gaine 4. Au moyen de la pompe 13, par le canal 9a, on injecte de l'huile

2129166

sous pression avec un débit fixé à une première extrémité de l'échantillon. A l'extrémité opposée, on établit une circulation d'eau à une pression basse constante (la pression atmosphérique par exemple ou bien une pression fixe imposée par un réservoir de fluide à une pression de référence) et avec un débit faible. Cette eau est prélevée à la base du tube 11. L'eau est injectée par la pompe 15 dans le canal 10b, et elle ressort par le canal 10a entraînant les fluides (eau et huile) au fur et à mesure qu'ils sont expulsés hors de l'échantillon S. De cette manière on assure à tout instant la continuité entre le fluide circulant et l'eau expulsée de l'échantillon. Le mélange de fluides ramené dans le tube 1 par la canalisation 19, se sépare, l'eau retournant vers la partie la plus basse.

On impose d'abord une première valeur au débit d'huile. Les fluides se déplacent à l'intérieur de l'échantillon jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint où les saturations et les pressions se stabilisent. L'expulsion d'eau cesse. Il existe un gradient de pression tout le long de l'échantillon en ce qui concerne $P(\text{huile})$. Par contre, la pression de l'eau $P(\text{eau})$ est uniforme en tout point de l'échantillon et égale à la pression de l'eau en circulation dans le circuit 17, 19. L'équilibre est réalisé par la variation de la saturation qui crée un gradient de pression capillaire.

On procède alors à des mesures du temps de vol des ultrasons en actionnant successivement les couples d'émetteurs et de récepteurs répartis le long de l'échantillon. Par référence à la courbe d'étalonnage préétablie (Fig.3), on détermine la répartition ou profil de la saturation en huile le long de l'échantillon. On mesure également la pression locale $P(\text{huile})$ dans l'huile au moyen du capteur 31 et on en déduit la pression capillaire locale $P_c = P(\text{huile}) - P(\text{eau})$. Par une mesure de la variation de la position de l'interface entre l'eau et l'huile dans le tube 11, on détermine également le volume d'eau expulsé hors de l'échantillon.

Par un réglage de la pompe 13, on augmente ensuite progressivement le débit d'huile et pour chacun des paliers successifs, on répète les mesures précédentes de temps de vol que

2129166

l'on traduit en une distribution de valeurs de saturation, ou détermine de la pression capillaire locale ainsi que le volume d'eau expulsé. L'ensemble des mesures effectuées, permet d'établir la portion de courbe 1 (Fig.1). Une diminution par paliers successifs du débit d'huile permet une réimbibition progressive suivant la portion de courbe 2 de la courbe.

En raison de sa configuration symétrique, le dispositif permet également d'étudier les modes où la pression capillaire P_c est négative, une fois terminées les opérations précédentes. Le balayage précédent de l'extrémité de l'échantillon au moyen d'un courant d'eau à basse pression circulant entre les canaux 10a, 10b, est dans ce cas, remplacé par un balayage avec de l'huile à basse pression circulant entre les canaux 9a et 9b, prélevée dans le tube 11 également et une application d'eau sous pression par le canal 10b par exemple.

Les mesures que l'on fait avec cette configuration symétrique, permettent de tracer les portions de courbe 3 en augmentant et 4 en diminuant ce même débit, de la Fig.1. La portion de courbe 5 est obtenue comme la portion 1 en injectant de l'huile et en balayant avec de l'eau le fluide expulsé.

Suivant une variante du mode de réalisation précédent, les mesures des saturations peuvent être obtenues en remplaçant les barrettes précédentes de transducteurs ultrasoniques par un dispositif d'un type connu d'émission-réception d'un rayonnement électromagnétique (rayons γ ou de rayons X etc) par exemple comportant (Fig 4) au moins un émetteur d'ondes 34 et au moins un récepteur d'ondes 35 disposé de manière à recevoir les ondes ayant traversé l'échantillon. De préférence, ce couple d'émission-réception est disposé sensiblement dans le même plan transversal que le capteur de pression 31 et il est connecté à un appareil de mesure d'absorption (non représenté). On réalise des mesures d'absorption à divers stades successives de la phase d'injection d'où l'on peut déduire les valeurs successives de la saturation.

Suivant encore une autre variante du mode de réalisation précédent, on détermine les valeurs de saturation à partir de

2129166

mesures de résistivité électrique. Ceci est réalisé au moyen d'électrodes 36 (Fig.5) traversant la gaine 4, connectées à un appareil de mesure d'un type connu (non représenté). On utilise au moins un couple d'électrodes 36 disposées de façon analogue dans le même plan transversal que le capteur de pression 31.

On a réalisé ainsi un outil de pétrophysique intégré avec un corps et un système de distribution de fluides tel que celui montré à la Fig.1. Il est pourvu de deux barrettes 20, 21 disposées à l'extérieur de la gaine 4 devant contenir l'échantillon à tester, avec des transducteurs 21, 24 répartis sur leur longueur (Fig.1) Dans chaque plan transversal contenant un couple de transducteurs 21, 24, la gaine 4 est traversé par un couple d'électrodes 36 et par un insert 32 pour un capteur de pression 31. Avec un télémètre acoustique tel que le télémètre 30 (Fig.1), un appareil de mesure de conductivité (non représenté) associé aux électrodes 36 et le micro-ordinateur de commande 33, on réalise sur un échantillon, un ensemble complet de mesures.

En effectuant des cycles de drainage et d'imbibition comme précédemment décrit, on peut obtenir par exemple des courbes de variation de la pression capillaire P_c en fonction de la saturation comme celles schématisées à la Fig.1.

On a décrit des modes de réalisation du dispositif comportant de préférence des moyens pour mesurer en plusieurs points le long de l'échantillon, les valeurs de pression et de saturation. Par cette multiplication de mesures on augmente la précision des résultats.

On ne sortirait pas du cadre de l'invention cependant, en se limitant à des mesures locales de la pression et de la saturation en un emplacement de la longueur de l'échantillon.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour réaliser sur un échantillon poreux, des phases de drainage et d'imbibition successives de façon à déterminer des paramètres physiques, comprenant l'introduction de l'échantillon dans une enceinte allongée pourvue de moyens de mesure, comportant l'injection d'un deuxième fluide sous pression, à une première extrémité de l'enceinte, de façon à évacuer hors de l'échantillon un premier fluide qui y est continu, et l'évacuation hors de l'enceinte dudit premier fluide issu de l'échantillon caractérisé en ce que l'évacuation dudit premier fluide issu de l'échantillon est réalisée :
 - au moyen d'une circulation de fluide, à une pression constante fixée, que l'on établit à l'extrémité de l'enceinte, opposée à la première extrémité, et
 - la mesure en au moins un emplacement le long de l'enceinte, de la saturation de l'échantillon et de la pression régnant dans l'échantillon.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on détermine la variation de la saturation de l'échantillon en mesurant les variations de la vitesse d'ultrasons au travers de l'échantillon.
3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on détermine les variations de la saturation de l'échantillon au moyen d'un rayonnement émis au travers de l'échantillon.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'on mesure en continu les variations de la conductivité électrique de l'échantillon dans son enceinte au fur et à mesure de l'injection dudit deuxième fluide.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que, l'échantillon étant placé dans l'enceinte, on procède

successivement à un drainage du premier fluide hors de l'échantillon et à une réimbibition forcée de celui-ci avec le même premier fluide, le deuxième fluide chassé alors hors de l'échantillon, étant évacué par un courant de fluide à une pression fixée.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisée en ce que l'on inverse ensuite le rôle joué respectivement par le premier fluide et le deuxième fluide.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'une des fluides est de l'eau et l'autre fluide est de l'huile.

10 8. Dispositif pour réaliser sur un échantillon solide poreux, des phases de drainage et d'imbibition successives de façon à déterminer des paramètres physiques, comprenant une cellule de confinement allongée pour contenir un échantillon imbibé avec le premier fluide, des moyens de pression pouvant être connectés à une première extrémité de l'enceinte, pour injecter un deuxième fluide sous pression de façon à drainer le premier fluide hors de l'échantillon et des moyens de mesure de la pression en au moins un emplacement de l'échantillon, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de pompage pouvant être connectés à l'extrémité de ladite cellule opposée à la première extrémité, pour établir une cellule les fluides expulsés de l'échantillon,
20 des moyens pour mesurer la quantité de premier fluide évacué hors de ladite cellule et des moyens pour déterminer la saturation de l'échantillon en fluide.

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour imposer à l'échantillon, une pression statique.

10. Dispositif selon la revendication 8 ou 9, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de connexion pour connecter les moyens de pression et les moyens de pompage alternativement à une extrémité de la cellule et à son extrémité opposée.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, caractérisé en ce que les moyens de mesure de la saturation comportent des moyens de télémétrie acoustique pour déterminer les variations du temps de propagation du son au travers de l'échantillon.

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, caractérisé en ce que les moyens de mesure de la saturation comportent des moyens pour déterminer les variations du coefficient d'absorption de l'échantillon à l'égard de rayonnement électro-magnétique émis au travers.

10 13. Dispositif selon la revendication 11 ou 12, caractérisé en ce que les moyens de mesure de la saturation comportent plusieurs unités de mesure disposées suivant des sections transversales différentes à différents emplacements le long de l'échantillon.

14. Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs capteurs de pression disposés sensiblement dans plusieurs desdites sections transversales.

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 14, caractérisé en ce que ledit fluide circulant à l'extrémité opposée de la cellule est identique au premier fluide issu de l'échantillon.

20 16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 15, caractérisé en ce que les moyens de pression et les moyens de pompage comportent un tube disposé verticalement, une première pompe pour mettre sous pression déterminée du fluide prélevé à une première extrémité du tube et une deuxième pompe pour faire circuler du fluide prélevé vers l'extrémité opposée du tube, les deux fluides ayant des masses spécifiques différentes.

17. Dispositif selon la revendication 16, caractérisé en ce que la cellule comporte un corps rigide, une enceinte souple logée à l'intérieur du corps et

adaptée à contenir l'échantillon, cette enceinte étant délimitée par une gaine souple et deux embouts terminaux rigides, traversés chacun par au moins deux canaux, des moyens pour déterminer les variations de la saturation disposés dans le corps, à l'extérieur de l'enceinte, au moins un capteur de pression placé au contact de l'échantillon à l'intérieur de l'enceinte, des canalisations pour connecter les canaux dans l'un des embouts avec les moyens de pompage, et une autre canalisation pour connecter un canal dans l'autre embout avec les moyens de pression.

10 18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 17, caractérisé en ce qu'il comporte un organe de traitement connecté aux moyens de mesure de la pression et aux moyens de détermination de la saturation de l'échantillon.

19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 18, caractérisé en ce que les moyens de mesure de la saturation comportent des moyens de mesure de la conductivité électrique de l'échantillon.

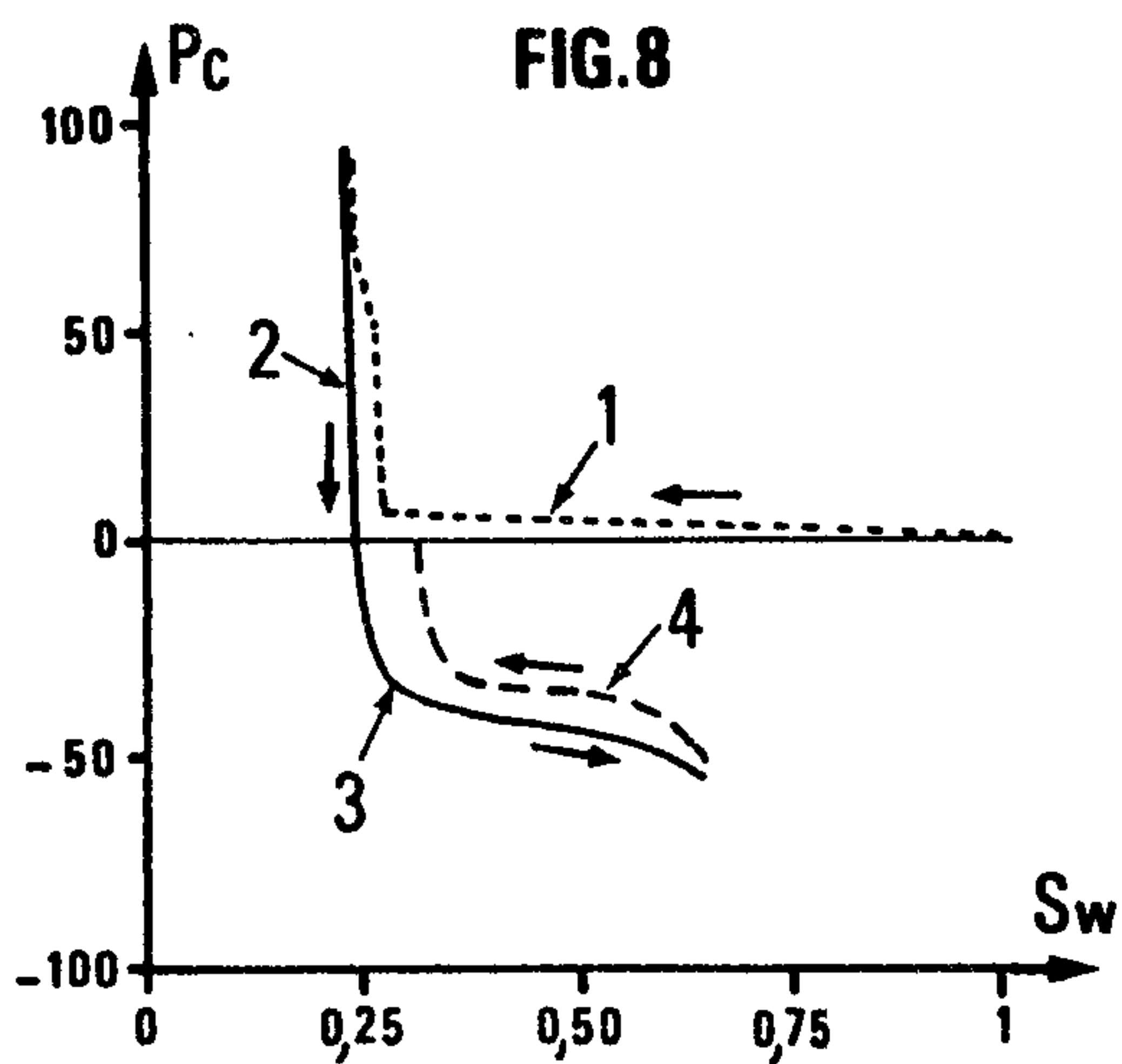
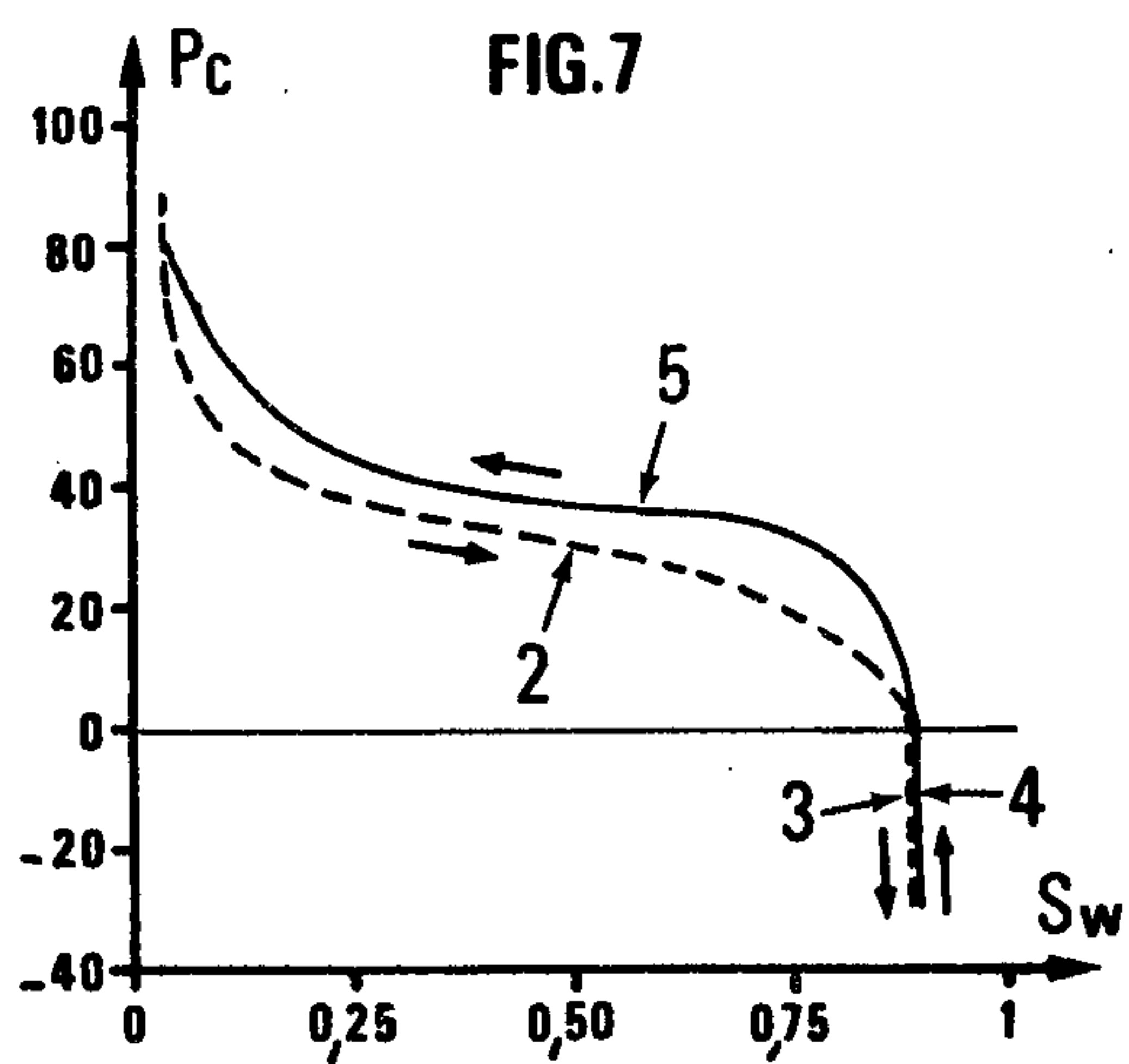
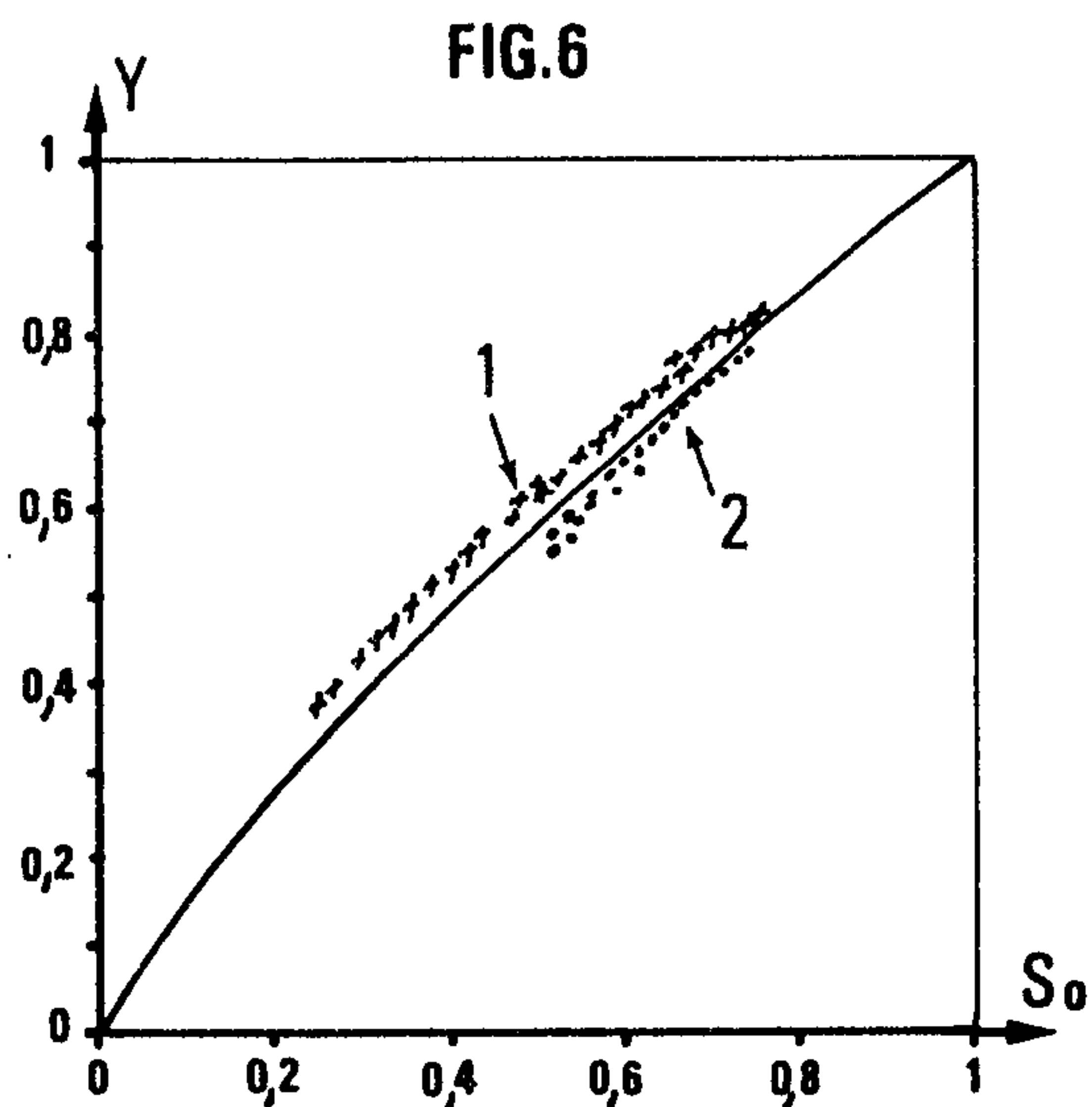
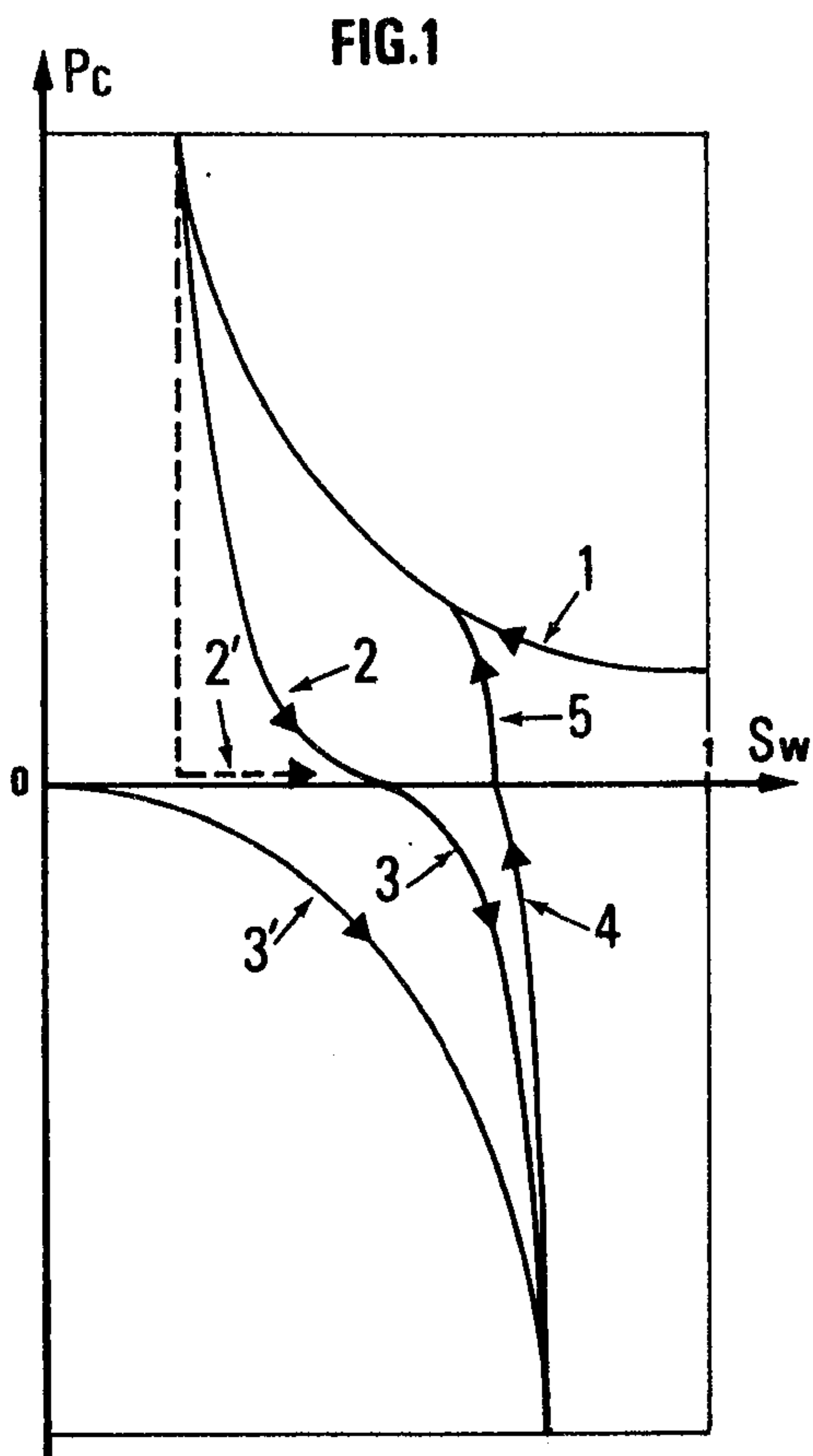


FIG. 2

