(19) Bureau voor de Industriële Eigendom Nederland

(11) **1016223**

(12) C **OCTROOI**[20]

(21) Aanvrage om octrooi: **1016223**

(22) Ingediend: **19.09.2000**

(51) Int.Cl.[7]
**G01N15/08**

(30) Voorrang:
**21.09.1999 FR 9912266**

(41) Ingeschreven:
**22.03.2001**

(47) Dagtekening:
**23.03.2001**

(45) Uitgegeven:
**01.05.2001 I.E. 2001/05**

(73) Octrooihouder(s):
**Institut Francais du Petrole te Rueil-Malmaison, Frankrijk (FR).**

(72) Uitvinder(s):
**Elodie Goglin te Bignicourt (FR)**
**Marc Fleury te La Celle Saint Cloud (FR)**
**Patrick Egermann te Rueil Malmaison (FR)**

(74) Gemachtigde:
**Drs. F. Barendregt c.s. te 2280 GE Rijswijk.**

(54) **Geoptimaliseerde werkwijze voor het bepalen van fysische parameters van een aan centrifugaalwerking onderworpen monster.**

(57) Geoptimaliseerde werkwijze voor het bepalen van fysische parameters van een aan centrifugaalwerking onderworpen monster.
Werkwijze voor het sneller bepalen van bepaalde fysische parameters (b.v. capillaire drukkrommen en relatieve permeabiliteiten) van een aanvankelijk met een eerste fluïdum verzadigd geologisch monster dat geplaatst wordt in een vat en onderworpen aan centrifugaalwerking in aanwezigheid van een tweede fluïdum. De verzadigingen in evenwichtstoestand worden bepaald lang voordat volledige stabilisatie bereikt wordt door analytische modelvorming met gebruik van exponentiële functies, die het beste afgesteld zijn op een effectieve productiekromme voor elk snelheidsstadium. Er wordt een door middel van verschillende simulaties verkregen gegevensbasis gebruikt om de met het gecentrifugeerde monster corresponderende permeabiliteitswaarden te krijgen. De werkwijze kan worden toegepast voor meting van petrofysische karakteristieken.

NL C 1016223

De inhoud van dit octrooi komt overeen met de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekeningen.

A00-30066 Ke/jki

Korte aanduiding: Geoptimaliseerde werkwijze voor het bepalen van fysische parameters van een aan centrifugaalwerking onderworpen monster.

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor modelvorming die het toelaat sneller bepaalde fysische parameters van een geologisch monster te krijgen uit experimentele uitkomsten, verkregen door het aan centrifugaalwerking te onderwerpen.

De werkwijze vindt belangrijke toepassingen op het gebied van de petrofysica, waar kennis van parameters zoals de capillaire druk, relatieve permeabiliteitskrommen van poreus gesteente, reservoiringenieurs de mogelijkheid geeft de stromingsomstandigheden van koolwaterstoffen in een reservoir te karakteriseren, voorspellingen omtrent de productie te maken en ontwikkelingsstrategieën uit te werken.

Een bekende werkwijze voor het snel bepalen van zowel de capillaire drukkrommen als de relatieve permeabiliteitskrommen van een monster van poreus gesteente dat aanvankelijk verzadigd is met een eerste fluïdum bestaat in wezen uit het aan centrifugaalwerking onderwerpen van het monster om het fluïdum te verplaatsen door middel van een ander fluïdum.

Er worden bijvoorbeeld centrifugeerinrichtingen gebruikt zoals beschreven in aanvraagsters octrooischriften FR-2 603 040 (US-5 463 894), FR-2 763 690, FR-2 772 477).

Het aanvankelijk met een vloeistof A (b.v. brijn) verzadigd monster wordt verplaatst in een langwerpig vat of beker waarin zich een ander fluïdum B bevindt met een andere dichtheid (b.v. olie). Het vat wordt bevestigd aan het einde van een draaiarm en er wordt een centrifugaalkracht uitgeoefend om zo de verplaatsingen van de fluïda in het monster gedurende tenminste twee afzonderlijke stadia te onderzoeken. Gedurende een eerste stadium van drainage wordt het geheel onderworpen aan een centrifugaalkracht die uitgeoefend wordt volgens de lengte van het vat om daarop een uitdrijvende kracht uit te oefenen die ervoor zorgt dat een deel van het eerste fluïdum A naar buitejn stroomt. Gelijktijdig dringt een deel van fluïdum B het monster binnen. De twee fluïda verplaatsen zich in het monster tot een even-

wichtspositie waar de kracht als gevolg van de capillaire druk in de poriën gelijk is aan de uitgeoefende centrifugaalkracht. In het vat aan de zIjde van het monster wordt een meetsonde geplaatst. De sonde kan b.v. een sonde van capacitief type zijn, en hij kan de vorm hebben van een metalen stang die geïsoleerd is door middel van een keramische mantel. De capaciteit tussen de stang en het geleidende fluïdum (brijn) die evenredig is met de onderdompelingshoogte, wordt gemeten. Met dit systeem is de meetnauwkeurigheid 1,5% van het priënvolume. Sde sonde neemt de positie waar van het grensvlak tussen de twee fluïda is het vat en brengt de meetsignalen over naar een signaalacquisitie- en regelinrichting die hydraulische vloeistofcirculatiemiddelen bevat en een acquisitieinrichting.

De verschillende punten van de capillaire drukkromme (Pc) worden verkregen uit meting van de gemiddelde verzadiging van het monster in de evenwichtstoestand voor gegeven draaisnelheden. Bepaling van de relatieve permeabiliteitskrommen (Kr) wordt bereikt door middel van de verandering van de verzadiging met de tijd tussen twee (overgangs-)stadia van de snelheid. Geen van deze krommen wordt direct verkregen; de eerste moet worden berekend en de tweede vereist een numerieke stromingssimulator die gevormd wordt door (fig. 11) een simulatiemodule die de effecten van het experiment reproduceert door middel van een numeriek model, en een inversiemodule die het toelaat krommen van capillaire druk en relatieve permeabiliteit te bepalen door iteratieve bijstelling van een aanvankelijk numeriek model bij de experimentele uitkomsten.

Een voorbeeld van een bekende stromingssimulator is de ACEX stromingssimulator, bevaseerd op de gegeneraliseerde vergelijkingen van Darcy, die wordt beschreven in:

- Chardaire-Rivière, C.; 1992, Improving the Centrifuge Technique by Measuring Local Saturations; SPE 24882.

Hoewel de centrifugeertechniek in de aardolieindustrie op grote schaal wordt gebruikt vanwege zijn relatieve snelheid in relatie tot andere bestaande werkwijzen, blijven er enkele uitvoeringsmoeilijkheden over met betrekking tot bepaling van de kromme van capillaire druk alsmede de kromme van relatieve permeabiliteit.

Voor een gegeven snelheidsstadium is de overgangstoestand moeilijk te bepalen omdat er een zeer langzame stabilisatie van de productie wordt waargenomen. Het zoeken van dit evenwicht leidt tot

langdurige operaties, gespreid over meerdere weken, waarvan de uitvoering praktische moeilijkheden biedt, speciaal gezien de dikwijls hoge draaisnelheid van de centrifuge. Verder is de ervoor benodigde tijd zelfs nog langer wanneer men probeert het poriënvolume van het monster te vergroten (door de lengte ervan te vergroten) ter verbetering van de meetnauwkeurigheid van de verzadiging.

Inversie, d.w.z. bijstelling van een numeriek model met experimentele uitkomsten, is moeilijk te bereiken omdat de informatie met betrekking tot de relatieve permeabiliteiten geconcentreerd is in het overgangsgedeelte van de productiekromme, d.w.z. in een smal gebied van experimentele waarden. De op de centrifuge uitgeoefende versnelling heeft een overheersend effect op de vorm van dit overgangsgedeelte, speciaal de tijdsduur ervan. Het parallel bepalen van de kromme van de capillaire druk leidt tot het toepassen van verschillende stadia van constante snelheid in plaats van een lange versnelling, die de overgangskrommen verkort.

Met de modelleerwerkwijze van de uitvinding is het mogelijk om met een aanzienlijke tijdbesparing de waarden te verkrijgen van fysische parameters van een geologisch monster dat aanvankelijk verzadigd is met een eerste fluïdum en geplaatst is in een vat, en onderworpen aan centrifugaalwerking in aanwezigheid van een tweede fluïdum.

De werkwijze volgens de uitvinding is gekenmerkt doordat hij voor elk stadium van de draaisnelheid, omvat modelvorming van een verzadigingskromme die in elk tijdsinterval het beste correspondeert met het reeds verkregen deel van de kromme, corresponderend met verschillende reeds uitgevoerde metingen, door het kiezen van instellingsparameters, waarbij de waarde van elke uiteindelijke verzadiging wordt afgeleid uit karakteristieken van de gemodelleerde kromme.

Voor elk snelheidsstadium wordt een verzadigingskromme van exponentieel type gemodelleerd door instelling van parameters, waarbij een van deze parameters overeenkomt met de verzadigingswaarde bij evenwicht. De verzadigingskromme wordt bij voorkeur gemodelleerd door middel van een som van exponentiële functies, afhankelijk van de genoemde instelparameters.

Bij voorkeur worden centrifugeersnelheden gekozen die gelijkmatige verdeling toelaten van op elke verzadigingskromme te verkrijgen.

**1)** Volgens een uitvoeringsvorm omvat de werkwijze verder:

- het gebruiken van een stromingssimulator voor modelleren van een verband tussen de waarden van relatieve permeabiliteit (K) respectievelijk voor de beide fluïda van een monster van bepaalde afmetingen en permeabiliteit, en de verzadigingswaarden (S) met deze fluïda volgens verschillende coëfficiënten (n1, n2) en het instellen van een gegevensbasis die instelparameters (T1, T2) in verbinding brengt met de genoemde coëfficiënten voor verschillende verzadigingswaarden met betrekking tot ten minste een van de fluïda, en
- het bepalen van relatieve permeabiliteiten (K) van het een centrifugaalwerking onderworpen monster met betrekking tot uit de gegevensbasis afkomstige correspondentiewaarden.

De uitvinding zal hierna worden toegelicht aan de hand van een niet beperkend voorbeeld met verwijzing naar de bijgaande tekeningen.

- Figuur 1 toont een centrifugeerinrichting waarmee de werkwijze kan worden uitgevoerd.
- Figuur 2 toont een voorbeeld van afstellen van een modelleerkromme op een experimentele productiekromme.
- Figuur 3 toont bij wijze van vergelijking verschillende modelleerkrommen, verkregen op verschillende tijdstippen van hetzelfde snelheidsstadium,
- Figuren 4a, 4b, 4c tonen het vergeleken verloop van respectievelijk een productiekromme, een variatiekromme van de tijdconstante T2 die optreedt bij het modelleren van de simulatiekromme, en de variatiekromme van de eindwaarde $S_{final}$ die door simulatie kan worden voorspeld;
- Figuur 5 is een tabel die een voorbeeld toont van het vergeleken verloop van verschillende parameters gedurende hetzelfde snelheidsstadium;
- Figuren 6a, 6b, 6c, 6d tonen respectievelijk het verloop in de tijd van de verzadigingswaarde $S_{final}$ van een monster, de coëfficiënten T1, T2 die als parameters gebruikt worden in de gesimuleerde kromme en de corresponderende productiekromme;
- Figuur 7 is een tabel die een tweede voorbeeld van vergeleken verloop van verschillende parameters tijdens hetzelfde snelheidsstadium;
- Figuur 8a toont schematisch een kromme Sw van de variatie van de verzadiging en figuren 8b en 8c tonen resp. grafieken die verschillende coëfficiënten verbinden en die corresponderen met twee zones van variatie van de verzadiging;

- Figuur 9 toont het vergeleken verloop van verzadigingskrommen die verkregen zijn volgens de conventionele werkwijze (D11, D22) en volgens de snelle werkwijze van de uitvinding (D12, D22).
- Figuur 10 is een vergelijkingstabel van numerieke waarden voor drie snelheidsstadia, afhankelijk van het feit of de conventionele werkwijze of de versnelde werkwijze van de uitvinding wordt gebruikt, en
- Figuur 11 toont schematisch de organisatie van een stromingssimulator.

Er zal een centrifugeerinrichting worden beschreven die gebruikt wordt voor het uitvoeren van de werkwijze.

De inrichting omvat (Fig. 1) een voor een monster bestemd langwerpig vat of beker 13. Een (niet getekende) niveaudetectiesonde van capacitief type is opgesteld in een buisvormige zijkamer, evenwijdig aan de lengterichting van het monster en van het vat. Eventuele niveauverandering van het geleidende fluïdum in het vat leidt tot een capaciteitsverandering van de sonde. De centrifuge omvat een bak 9 met daarin een elektromotor 10 waarvan de as draaiend een naaf 11 aandrijft. Twee identieke armen 12 zijn tegenover elkaar aan de naaf 11 aangebracht. Twee vaten of bekers 13, 14 zijn draaibaar aangebracht aan de einden van armen 12 zodat ze spontaan komen te liggen volgens de richting van de uitgeoefende centrifugaalkracht en ze elkaar tijdens de draaiing in evenwicht houden. Er wordt een te meten monster van een poreus gesteente, aanvankelijk verzadigd met een elektrisch geleidend fluïdum A, zoals brijn, in vat 13 geplaatst. Vat 13 wordt aanvankelijk gevuld met een elektrisch isolerend ander fluïdum B, zoals olie.

Twee leidingen 15, 16, bevestigd aan een van de armen 12, verbinden vat 13 met een door naaf 11 gedragen draaiende elektrohydraulische koppeling 17. Eerste leiding 15 wordt gebruikt voor het inspuiten van olie in monster 13. De tweede, 16, wordt gebruikt om de brijn te verzamelen die door de draaiing uit het monster wordt gedraineerd. Een kabel 18 verbindt de meetsonde met draaiende koppeling 17. Door middel van koppeling 17 zijn de geleiders van kabel 18 elektrisch verbonden met een andere kabel 21. Deze twee leidingen en deze kabel vormen een verbindingselement 22 tussen vat 13 en een extern geheel E dat geschikt is om de uit de sonde afkomstige signalen te

verzamelen, de verkregen gegevens te behandelen, fluïdumoverdrachten te regelen en aandrijfmotor 10 in werking te stellen.

De werkwijze omvat eerst het kiezen van een zeker aantal stadia van de draaisnelheid, zo gekozen dat goed verdeelde punten op de verzadigingskromme worden verkregen. De bedienende persoon kan ze kiezen door te verwijzen naar waarden die verkregen zijn met eerdere proeven voor monsters van hetzelfde type. Bij afwezigheid daarvan kan hij ook op een monster snel een proef uitvoeren door middel van een aan de vakman bekende methode van Purcell-type, om zo een corresponderende capillaire drukcurve vast te stellen en, afhankelijk van de vorm daarvan, de geschikte snelheidsstadia te schatten.

De snelle toegang tot de met de werkwijze verkregen verzadigingswaarden is gebaseerd op analytische modelvorming van de fluïdumproductiestadia van het aan centrifugeren onderworpen monster. Daarvoor wordt een modelvormingsvergelijking van exponentieel type gebruikt.

Gebleken is dat de meeste productiekrommen gemodelleerd kunnen worden door de volgende vergelijking:

$$S(t) = S_{eq}\left[1-(P\cdot e^{-t/T_1}+(1-P)\cdot e^{-t/T_2})\right]+S_{ini}$$

waarin $S_{eq}$ de verzadiging in evenwicht is, $S_{ini}$ de aanvankelijke verzadiging van het voorafgaande snelheidsstadium, t de tijd, P een wegingsfactor en $T_1$, $T_2$ tijdconstanten zijn.

De laagste tijdconstante T1 beschrijft het overgangsgedeelte C1 van de verzadigingskromme (fig. 2), d.w.z. de dynamische effecten. De hoogste tijdconstante T2 beschrijft stabilisatiezone C2, d.w.z. capillaire effecten.

Om de verzadiging in evenwichtstoestand te schatten, lang vóór het stadium waar de veranderingen ervan feitelijk lager worden dan de meetnauwkeurigheid, worden coëfficiënten T1, T2 gezocht die, toegepast in de bovenstaande vergelijking, een verzadigingskromme doen ontstaan die aangepast is aan het deel van de productiekromme dat reeds bekend is.

In elk nieuw stadium van de draaisnelheid voert de besturingsinrichting een nieuwe meetacquisitie uit en wordt een nieuw paar gegevens verkregen (tijd, productie). Dan stelt het programma de dubbelexponentiële wiskundige modelvorming bij voor de reeds beschikbare

punten van de kromme (fig. 3). Zo wordt het verloop van tijdconstante T2 verkregen, wat de stabilisatie en de uiteindelijke verzadiging $S_{final}$ met de tijd bepaalt. In dit programma wordt een maximaal verschil vastgesteld tussen twee opeenvolgend waarden van T2 en $S_{final}$, bijvoorbeeld overeenkomend met de praktische nauwkeurigheid van de meetinrichting. Wanneer de berekende verschillen beneden deze waarden liggen, kan worden verondersteld dat T2 en $S_{final}$ voldoende gestabiliseerd zijn en daarom dat de productiekromme geheel bepaald is, en kan gewerkt worden aan het volgende snelheidsstadium.

Het verloop ervan wordt getoond in fig. 4a tot 4c. Er kan een zeer uitgesproken stabilisatie van tijdconstante T2 en van de uiteindelijke verzadiging worden waargenomen. Deze stabilisatie treedt op zodra de stroming het eindplateau bereikt, d.w.z. zodra de capillaire krachten overheersend worden. Constante T1 stabiliseert veel sneller omdat hij slechts betrekking heeft op het eerste deel van de kromme.

De tabel in fig. 5 toont het verloop met de tijd van vier stellen parameters P, T1, T2, $S_{final}$, berekend op vier verschillende tijden van het experiment. Als de nauwkeurigheid van de capacitieve sonde die verzadiging S meet in het vat dat het monster bevat, bijvoorbeeld ligt in de orde van 1,5% van het poriënvolume, d.w.z. 1,5% in verzadiging, kan ervan worden uitgegaan dat de eindverzadigingswaarde bekend is na een experiment van drie uur. Dit houdt een fout van 2,6% op T2 in, en een fout van 0,9% op $S_{final}$, beneden de nauwkeurigheid van de sonde. Wanneer men zou wachten tot de effectieve stabilisatie van de verzadiging waar de verschillen tussen opeenvolgende metingen kleiner worden dan de nauwkeurigheid van de sonde, zou het snelheidsstadium ongeveer 10 uur duren. De duur van het experiment wordt dus tot een derde teruggebracht.

De piek, en dan de stabilisatie die waargenomen worden aan de gesimuleerde kromme worden voor parameters T2 en $S_{final}$ gevonden uit een experimentele kromme. Het in fig. 6a tot 6d verkregen verloop wordt verkregen.

De tabel in figuur 7 toont soortgelijke uitkomsten voor een ander experimenteel geval.

Na 3,5 uur is de eindverzadigingswaarde bekend op 0,66%, wat minder is dan de meetnauwkeurigheid. Wanneer men gewacht zou hebben op stabilisatie, zou het experiment meer dan 7 uur geduurd hebben. De duur van de proef kan dus met de helft worden teruggebracht, met een

factor in de orde van 2 of 3. Men kan er dus van uitgaan dat, gezien deze twee voorbeelden, wanneer de waarde van T2 stabiel is tot 5% en de waarde van $S_{final}$ stabiel is tot 1%, de wiskundige modelvormingsparameters voldoende bepaald zijn om het experiment te mogen stoppen en het volgende snelheidsstadium te gaan behandelen.

**Bepaling van de krommen van relatieve permeabiliteit**

De aan de vakman bekende vergelijking van Corey wordt gebruikt om de krommen van de relatieve permeabiliteit voor olie en water te bepalen, Kr,nr resp. Kr,r, uit de tijdens het experiment verkregen respectieve verzadigingswaarden Snr en Sr:

$$\frac{K_{r,r}}{K^0_{r,r}} = S_r^{*n_1} \text{ and } \frac{K_{r,nr}}{K^0_{r,nr}} = S_{nr}^{*n_2} \qquad (2)$$

waar n1, n2 coëfficiënten zijn.

Er wordt dan ook een gegevensbasis gevormd, die aangeboden kan worden bijvoorbeeld in de vorm van grafieken, waardoor het ook mogelijk wordt de coëfficiënten van constanten T2 te verbinden met exponenten n1, n2 voor verschillende waarden van deze exponenten. Een monster van bepaalde lengte (b.v. 6 cm) en met een gegeven permeabiliteit, (b.v. 100 mD) wordt onderzocht en coëfficiënten n1, n2 worden beide gevarieerd tussen 1 en 5.

Er worden productiekrommen S(t) bepaald voor verschillende snelheidsstadia door middel van de simulator. Zoals hierboven vermeld, worden de waarden van P, T1, T2 die de beste instelling van de gemodelleerde kromme op de variatie van de verzadigingskromme toelaten, bepaald door toepassing van vergelijking 1. Voor alle drietallen (T2, n1, n2) van waarden worden waardekaarten gevormd of, praktischer, grafieken zoals getoond in fig. 8a, 8b, overeenkomende met verschillende stadia van elke verzadigingskromme (fig. 8c).

Voor een snelheidsstadium V1 overeenkomende met hoge waterverzadiging Sw kan feitelijk worden waargenomen dat exponent n2 voor olie een overheersende invloed heeft. Hoe groter hij is, d.w.z. hoe meer de relatieve permeabiliteit voor olie gekromd is, hoe groter de tijdconstante T2. Er kan echter worden opgemerkt dat voor dit stadium de waterexponent ook een rol speelt, zelfs hoewel hij minder uitgesproken is.

1010

Voor snelheidsstadium V3 overeenkomende met een lage waterverzadiging Sw, is de overheersing van exponent n1 voor water heel duidelijk. Exponent N2 voor olie heeft niet langer invloed.

Voor tussenliggende stadia ziet men dat de twee exponenten geenszins onbelangrijk zijn. In dit stadium is de stroming gevoelig voor de lage relatieve permeabiliteit voor beide fluïda.

De gevormde tabellen of grafieken kunnen worden gebruikt voor monsters van verschillende lengten en permeabiliteiten, waarbij dan bepaalde correctiefactoren worden toegepast.

Door het gebruik van korte monsters kan de tijdsduur van een productiestadium worden verkort. Het gebruik van een langer monster laat echter toe de overgangsgedeelten van de krommen te spreiden en zo bepaling van de relatieve permeabiliteiten te optimaliseren. Er wordt waargenomen dat, voor monsters van hetzelfde gesteente maar van verschillende lengten, een verband van tweedegraads polynomiaal type getrokken kan worden tussen de stabilisatietijd en de lengte. Om van een monster van lengte L1 (het voor het tekenen van de grafieken gebruikte monster) te gaan naar een monster van een andere lengte L2, kan het volgende verband worden toegepast:

$$\frac{T_2(L_2)}{T_2(L_1)} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^2$$

Een kwasi-lineair verloop van tijdconstanten T1 en T2 wordt waargenomen als functie van de absolute permeabiliteit van het monster. Er wordt dan ook een correctiefactor toegepast:

$$\frac{T_2(K_2)}{T_2(K_1)} = \left(\frac{K_2}{K_1}\right)$$

**Validatie van de werkwijze**

Er worden twee monsters gecentrifugeerd, het eerste waternat, maar het tweede olienat, een eerste keer volgens de conventionele werkwijze, de tweede keer volgens de beschreven werkwijze. Er werden 3 achtereenvolgende snelheidsstadia toegepast: 470, 600 en 1050 omw/min, bepaald na simulatieproeven en de in fig. 9a, 9b getoonde productiekrommen werden verkregen.

Betreffende verzadigingen in de evenwichtstoestand worden de verkregen uitkomsten verkregen in de tabel van fig.10.

Er kan worden opgemerkt dat de nauwkeurigheid van de uiteindelijke verzadiging sterk afhangt van de tijdsduur van het stadium.

De snelle drainage voor stadia 1 en 2 leidt dus tot een eindverzadiging die iets verschillend is van de effectieve stabilisatie. De tijdsduur van deze twee stadia is echter sterk verkort. Stadium 3 geeft aan de andere kant tamelijk bevredigende uitkomsten, maar de tijdsduur ervan is veel minder verkort.

Er is dus een compromis tussen meetnauwkeurigheid en tijdsduur. Na verschillende proeven wordt gesuggereerd om de variatiecriteria van parameters T1 en $S_{final}$ vast te leggen resp. op 2% en 0,5%. Deze waarden dienen echter voor elk geval te worden geschat. In feite kan worden opgemerkt dat er monsters zijn waarvoor tijdconstante T2 moeilijk te stabiliseren is wanneer de eindverzadiging reeds goed bepaald is.

Verder wordt door het feit van niet wachten op stabilisatie van de fluïda voordat naar een nieuw stadium overgegaan wordt, de vorm van de productiekromme niet verstoord. In feite kan daarmee altijd een bi-exponentiële modelvorming worden geassocieerd. De nauwkeurigheid van de instelling van een modelvorming op de experimentele krommen blijft heel aanvaardbaar (in de orde van $10^{-5}$).

Er is een type modelvorming beschreven met toepassing van exponentiële functies. Er zouden binnen het kader van de uitvinding echter andere functietypen ( b.v. "splines") die verbonden kunnen worden met significante fysische parameters van het monster, gebruikt kunnen worden.

CONCLUSIES

2) Werkwijze voor het sneller bepalen van bepaalde fysische parameters van een geologisch monster dat aanvankelijk verzadigd is met een eerste fluïdum, geplaatst in een vat en onderworpen aan centrifugaalwerking in aanwezigheid van een tweede fluïdum met snelheden die progressief in stadia variëren, omvattend het meten van de hoeveelheid door centrifugaalwerking verplaatste fluïda en het vaststellen van verzadigingskrommen, **met het kenmerk** dat hij, voor elk stadium van de draaisnelheid, omvat modelvorming van een verzadigingskromme die in elk tijdsinterval het beste correspondeert met het reeds verkregen deel van de kromme, corresponderend met verschillende reeds uitgevoerde metingen, door het kiezen van instellingsparameters, waarbij de waarde van elke uiteindelijke verzadiging ($S_{final}$) wordt afgeleid uit karakteristieken van de gemodelleerde kromme.

3) Werkwijze volgens conclusie 1, **met het kenmerk** dat een verzadigingskromme van exponentieel type wordt gemodelleerd voor elk snelheidsstadiudm door instelling van parameters ($S_{equ}$, P, T), waarbij een van deze parameters overeenkomt met de verzadigingswaarde bij evenwicht.

4) Werkwijze volgens conclusie 2, **met het kenmerk** dat de verzadigingskromme gemodelleerd wordt door middel van een som van exponentiele functies, afhankelijk van de genoemde instelparameters ($S_{equ}$, P, T1, T2).

5) Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, **met het kenmerk** dat hij omvat het kiezen van centrifugeersnelheden die een gelijkmatige verdeling toelaten van op elke verzadigingskromme te verkrijgen.

6) Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, **met het kenmerk** dat hij omvat:

- het gebruiken van een stromingssimulator voor modelleren van een verband tussen de waarden van relatieve permeabiliteit (K) respectievelijk voor de beide fluïda van een monster van bepaalde afmetingen en permeabiliteit, en de verzadigingswaarden (S) met deze fluïda volgens verschillende coëfficiënten (n1, n2) en het instellen van een gegevensbasis die instelparameters (T1, T2) in verbinding brengt met de genoemde coëfficiënten voor verschillende verzadigingswaarden met betrekking tot ten minste een van de fluïda, en

het bepalen van relatieve permeabiliteiten (K) van het een centrifugaalwerking onderworpen monster met betrekking tot uit de gegevensbasis afkomstige correspondentiewaarden.

1910223

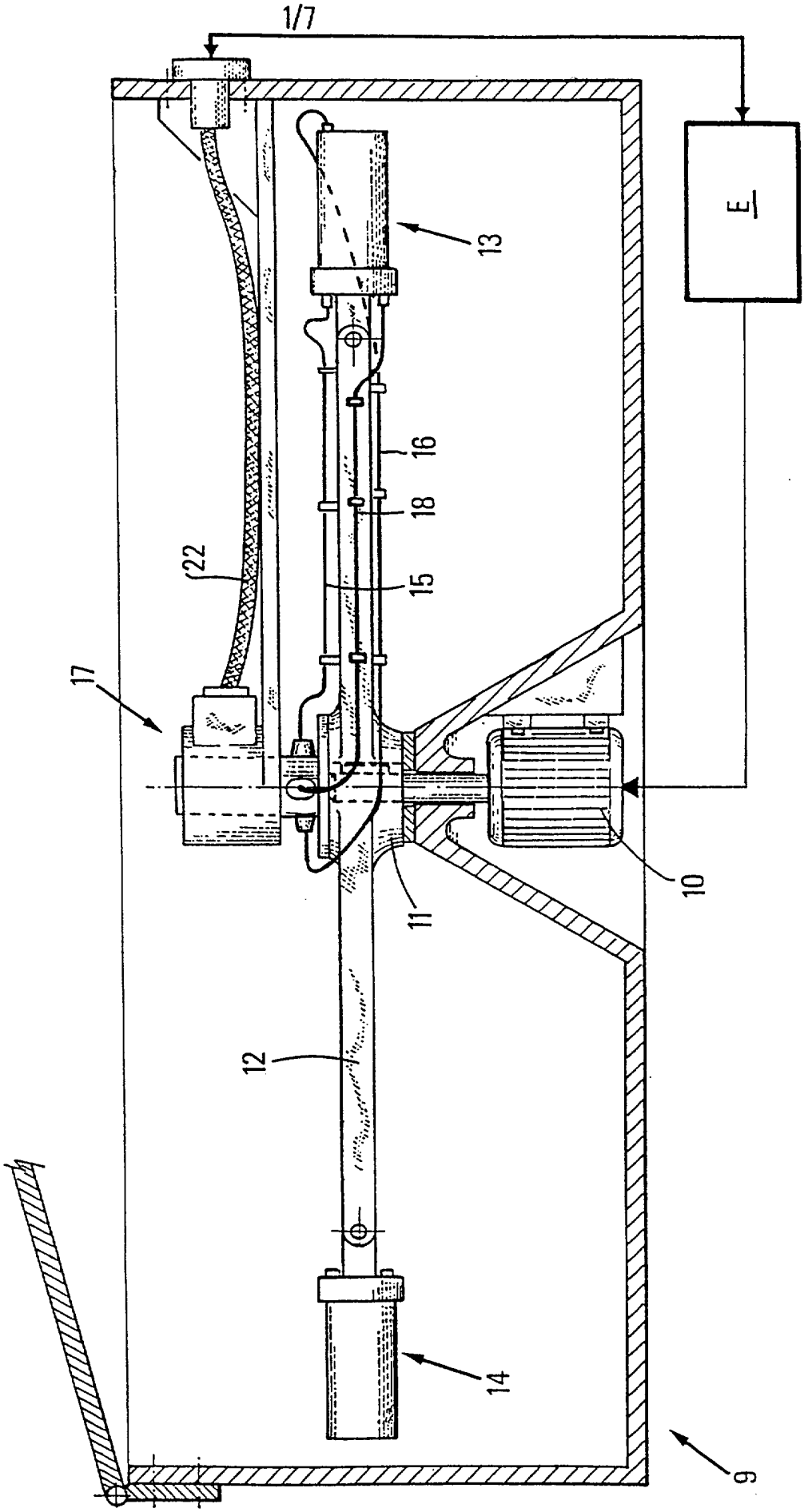



FIG.1

FIG.2

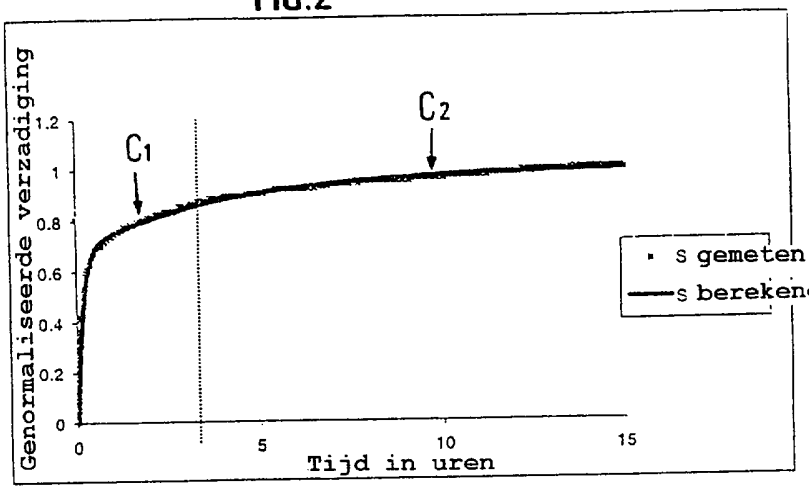

Genormaliseerde verzadiging
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
C1
C2
0
5
10
15
Tijd in uren
s gemeten
s berekend

FIG.3

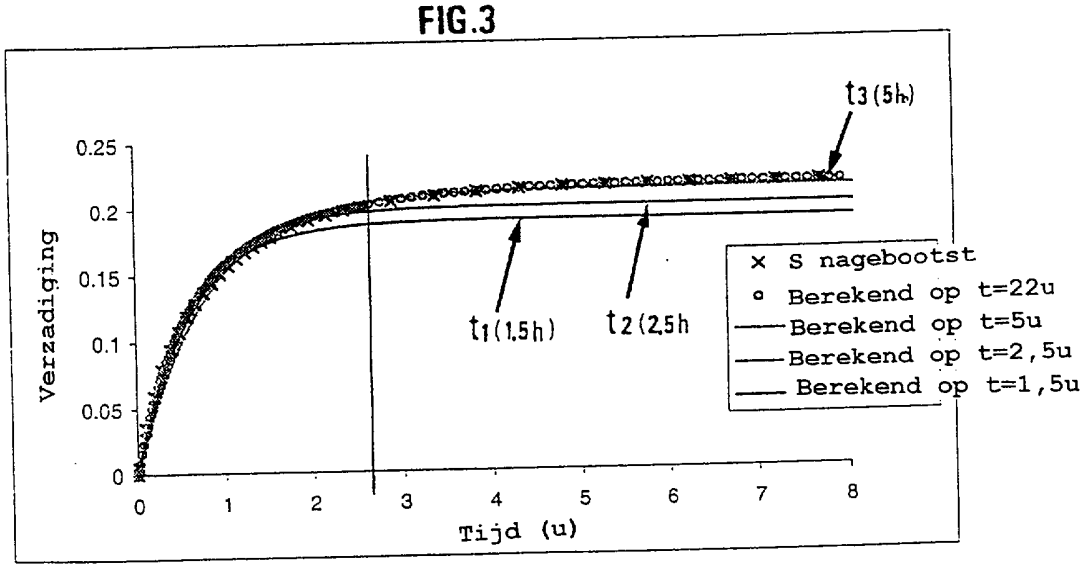

t3 (5h)
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
Verzadiging
t1 (1,5h)
t2 (2,5h
0
1
2
3
4
5
6
7
8
Tijd (u)
x S nagebootst
o Berekend op t=22u
Berekend op t=5u
Berekend op t=2,5u
Berekend op t=1,5u

FIG.4A

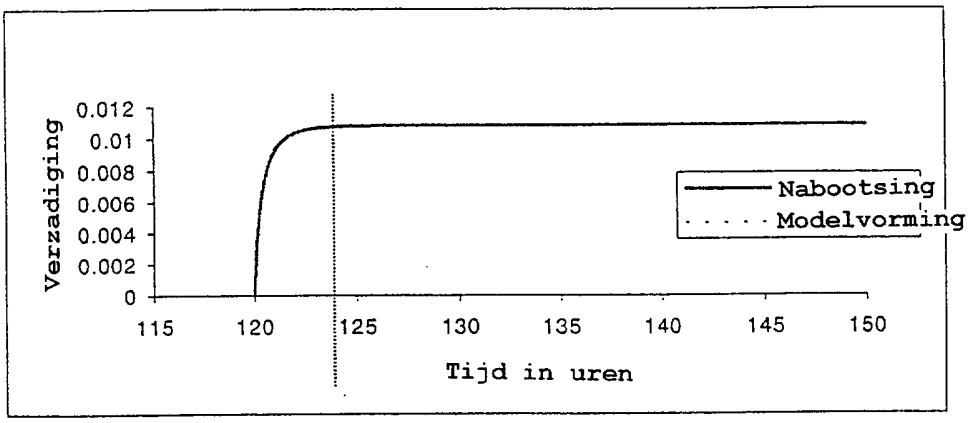



FIG.4B

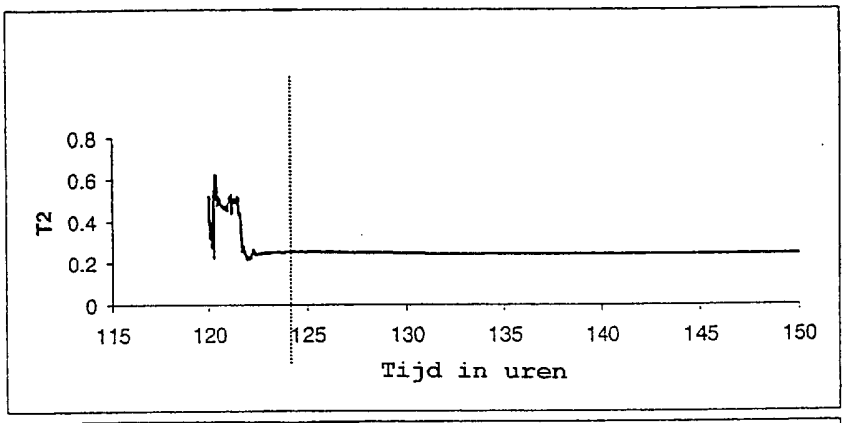



FIG.4C

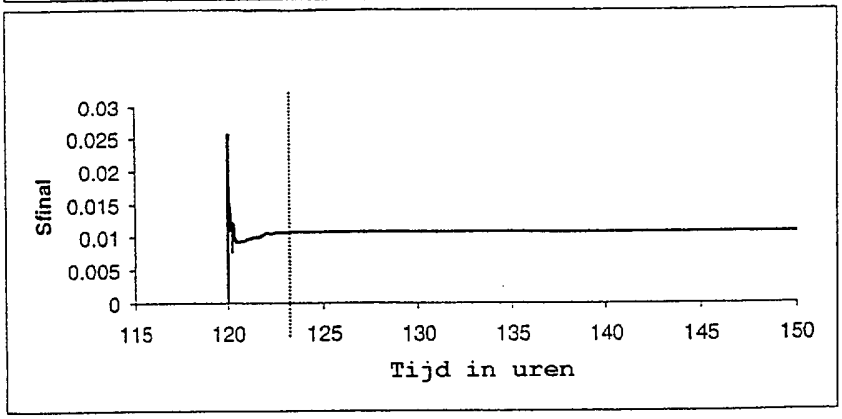


FIG.5

| Tijd (u) | 101.6 | 122.04 | 123 | 124.56 | 150.24 |
|---|---|---|---|---|---|
| $T_2$ ($h^{-1}$) | | 0.21752 | 0.24931 | 0.25233 | 0.24255 |
| $S_{final}$ | | 0.01064 | 0.01074 | 0.01080 | 0.01084 |
| Fout in $T_2$ (%) | | 10.44248 | 2.64543 | 3.88978 | 0.13713 |
| Fout in $S_{final}$ (%) | | 1.78773 | 0.92107 | 0.40525 | 0.00972 |

FIG.7

| Tijd (u) | 3.07806 | 3.57805556 | 5.15722 | 5.84111 |
|---|---|---|---|---|
| $T_2$ ($h^{-1}$) | 1.45842 | 1.81289 | 1.55651 | 1.60005 |
| $S_{final}$ | 0.97379 | 1.00749 | 0.99701 | 1.00092 |
| Fout in $T_2$ (%) | 8.85142 | 13.3027 | 2.72111 | 0.00000 |
| Fout in $S_{final}$ (%) | 2.71030 | 0.65730 | 0.39043 | 0.00000 |

FIG.6A

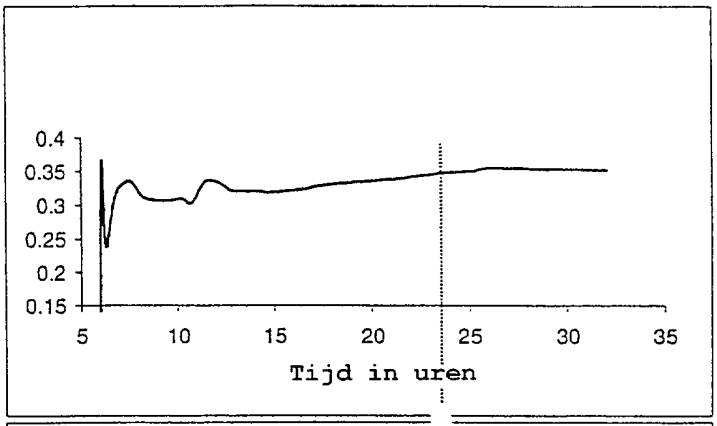



FIG.6B

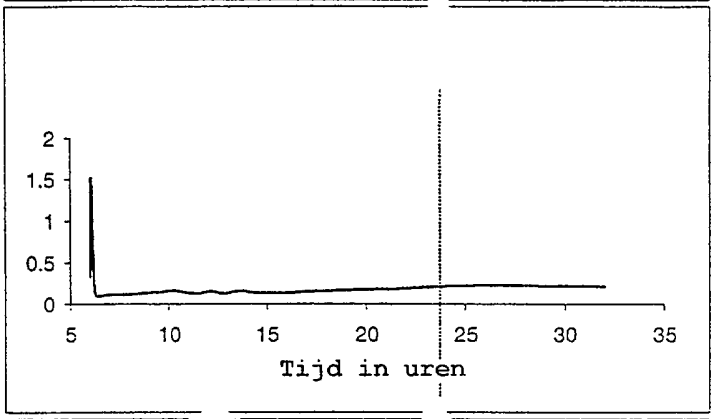



FIG.6C

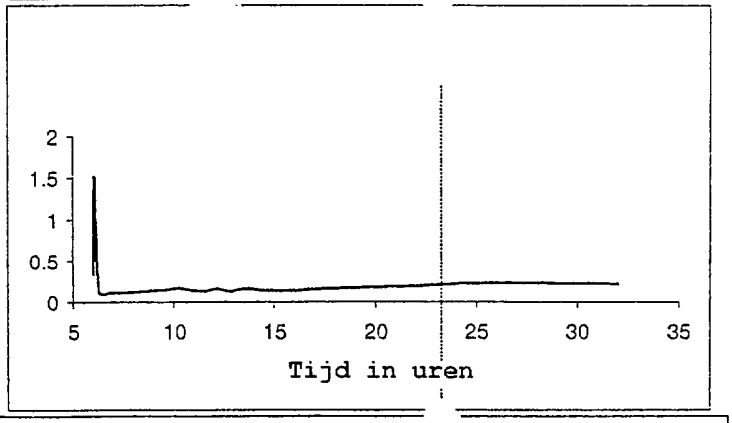



FIG.6D

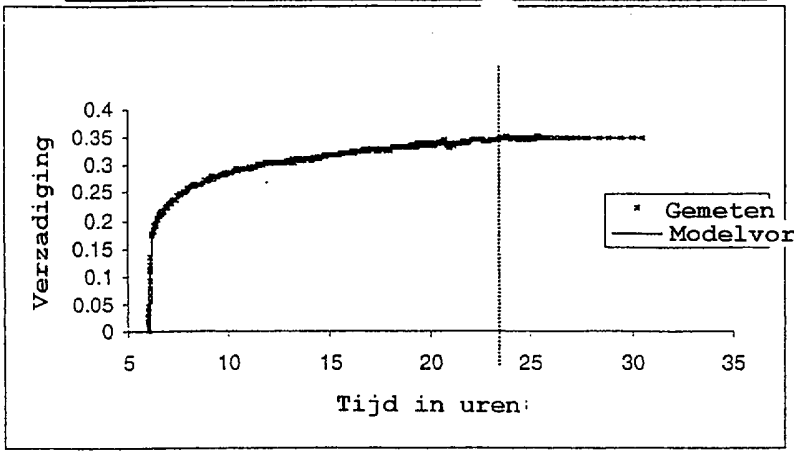


FIG.11

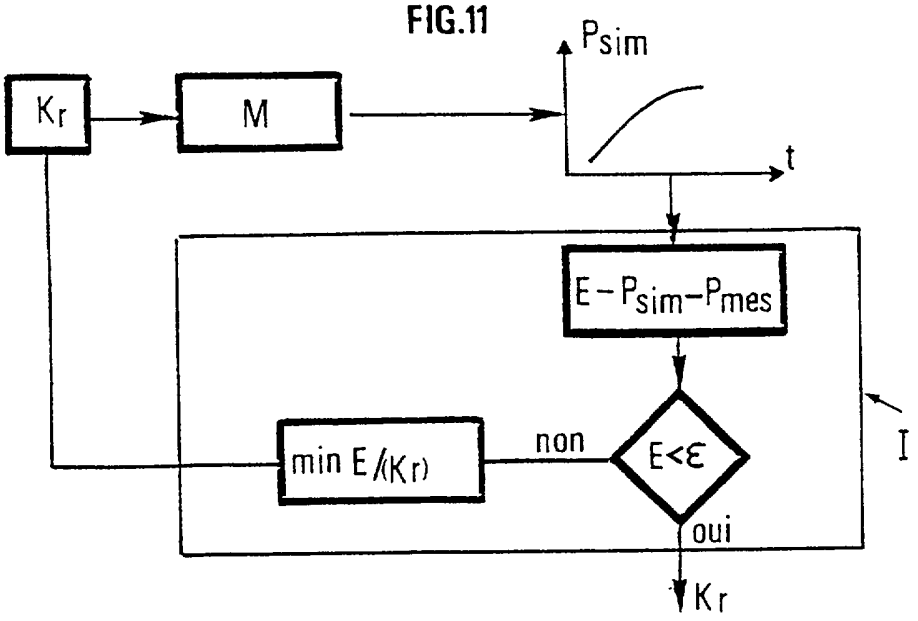



FIG.8A

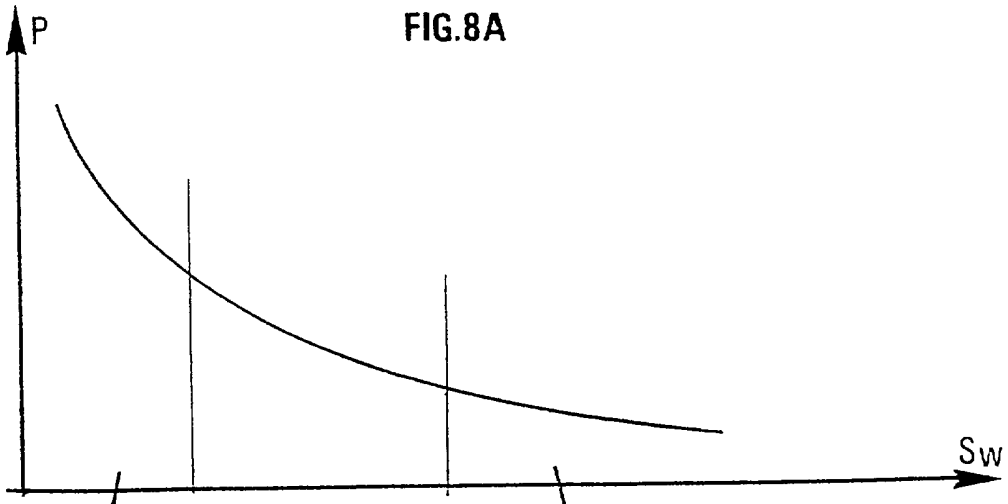



FIG.8B

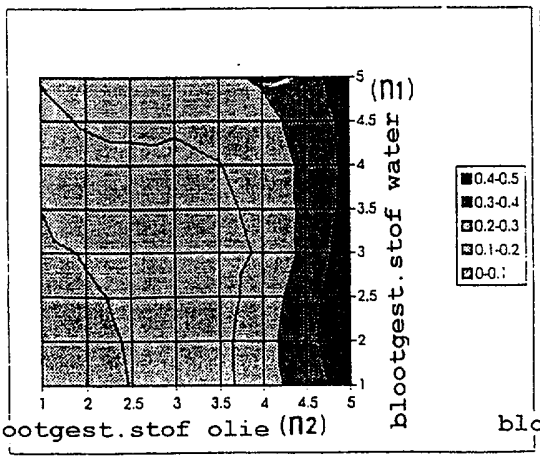
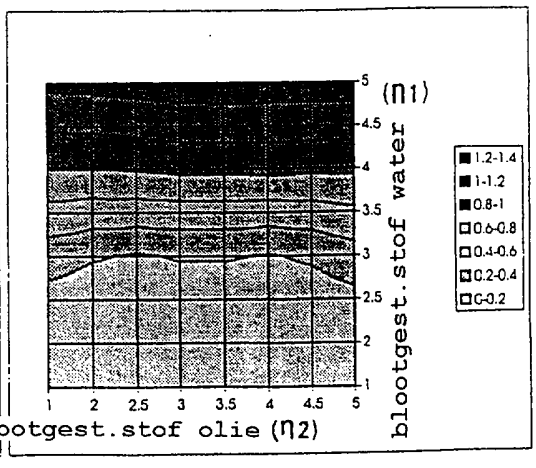



FIG.8C




1016999

FIG.9

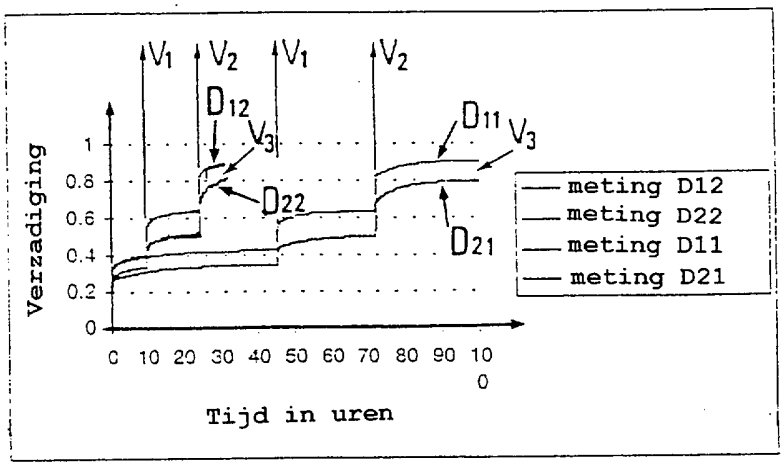



FIG.10

| | | Klassieke drainage | | Snelle drainage | | Fout (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| V1 | $S_{final}$ | 0.345 | 0.424 | 0.331 | 0.401 | 4.03 | 5.51 |
| | Duur | 45 | | 10 | | Besparing 78% | |
| | Nauwkeurigheid | 2.586E-05 | 1.711E-05 | 1.404E-06 | 1.761E-06 | | |
| V2 | $S_{final}$ | 0.502 | 0.632 | 0.508 | 0.636 | 1.10 | 0.64 |
| | Duur | 25 | | 15 | | Besparing 40% | |
| | Nauwkeurigheid | 5.193E-06 | 3.481E-06 | 1.341E-05 | 1.403E-05 | | |
| V3 | $S_{final}$ | 0.795 | 0.908 | 0.827 | 0.897 | 3.95 | 1.23 |
| | Duur | 25 | | 6 | | Besparing 75% | |
| | Nauwkeurigheid | 1.535E-05 | 7.565E-06 | 1.628E-06 | 3.767E-07 | | |

1010220

1016223

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

# RAPPORT DE RECHERCHE PRELIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 578267
FR 9912266

B. v.d. I.E.
19 SEP. 2000

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS | | Revendications concernées de la demande examinée |
|---|---|---|
| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | |
| A | EP 0 586 001 A (AGIP SPA)<br>9 mars 1994 (1994-03-09)<br>* page 1, colonne 1-25 *<br>* page 4, colonne 1-20 *<br>* page 5, colonne 13-18 * | 1 |
| A | US 4 740 077 A (GOODWILL WILLIAM P)<br>26 avril 1988 (1988-04-26)<br>* colonne 8, ligne 19-55 * | 1 |
| A | US 5 463 894 A (FLEURY MARC ET AL)<br>7 novembre 1995 (1995-11-07)<br>* colonne 2, ligne 1-36 *<br>* colonne 4, ligne 15-53 *<br>* colonne 5, ligne 21-31 *<br>* colonne 7, ligne 29-40 * | 1 |
| A | US 5 373 727 A (HELLER JOHN P ET AL)<br>20 décembre 1994 (1994-12-20)<br>* colonne 1, ligne 10-27 *<br>* colonne 6, ligne 27 - colonne 7, ligne 25 * | 1 |
| A | US 5 679 885 A (LENORMAND ROLAND ET AL)<br>21 octobre 1997 (1997-10-21)<br>* colonne 2, ligne 55 - colonne 3, ligne 20 * | 1 |

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)

G01N

1

| Date d'achèvement de la recherche | Examinateur |
|---|---|
| 16 mai 2000 | Zinngrebe, U |

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

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

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)

5

## ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO.

FA 578267
FR 9912266

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 du
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

16-05-2000

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|---|---|---|
| EP 0586001 A | 09-03-1994 | IT 1255750 B | 15-11-1995 |
| | | AT 158864 T | 15-10-1997 |
| | | DE 69314271 D | 06-11-1997 |
| | | DE 69314271 T | 12-03-1998 |
| | | DK 586001 T | 20-04-1998 |
| | | ES 2108209 T | 16-12-1997 |
| | | GR 3025398 T | 27-02-1998 |
| | | JP 6186154 A | 08-07-1994 |
| | | MX 9305201 A | 31-05-1994 |
| | | NO 932916 A | 28-02-1994 |
| | | US 5351525 A | 04-10-1994 |
| US 4740077 A | 26-04-1988 | AUCUN | |
| US 5463894 A | 07-11-1995 | FR 2699282 A | 17-06-1994 |
| | | CA 2111509 A | 16-06-1994 |
| | | DK 603040 T | 27-04-1998 |
| | | EP 0603040 A | 22-06-1994 |
| | | NO 934581 A | 16-06-1994 |
| US 5373727 A | 20-12-1994 | AUCUN | |
| US 5679885 A | 21-10-1997 | FR 2708742 A | 10-02-1995 |
| | | CA 2129166 A | 30-01-1995 |
| | | GB 2280512 A,B | 01-02-1995 |
| | | NO 942796 A | 30-01-1995 |

EPO FORM P0465