

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

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

2 976 313

②1 N° d'enregistrement national : 11 55105

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : E 21 B 49/00 (2012.01), E 21 B 47/06

①2 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 10.06.11.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 14.12.12 Bulletin 12/50.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : DESPAX DAMIEN — FR.

⑦2 Inventeur(s) : DESPAX DAMIEN.

⑦3 Titulaire(s) : DESPAX DAMIEN.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET BEAUMONT Société à res-  
ponsabilité limitée.

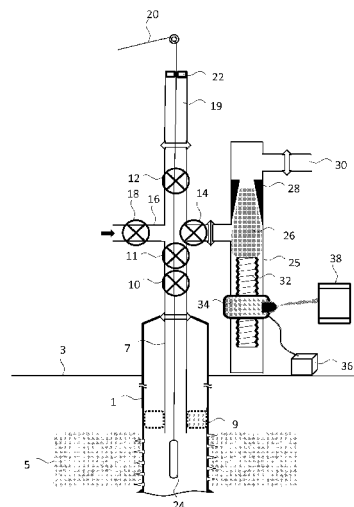
⑤4 PROCÉDE DE DETERMINATION DE LA REPOSE COMPLEXE D'UNE STRATE PERMEABLE.

⑤7 L'invention concerne un procédé de détermination de  
la réponse complexe d'une strate perméable au fond d'un  
puits en exploitation, le puits comprenant une tête de puits  
équipée d'une vanne de sortie et le fond du puits compren-  
nant une sonde (24) de mesure de pression et de débit ré-  
glable en hauteur, comprenant les étapes suivantes:

moduler de façon périodique le degré d'ouverture de la  
vanne de sortie et, tandis que la modulation est en cours:

- mesurer la pression et le débit dans le puits en haut/  
bas de la strate pendant un certain nombre de périodes de  
modulation, après un certain retard; et

- mesurer la pression et le débit dans le puits en bas/  
haut de la strate pendant un certain nombre de périodes de  
modulation, immédiatement après mise en place de la  
sonde.



FR 2 976 313 - A1



**PROCÉDÉ DE DÉTERMINATION DE LA RÉPONSE COMPLEXE D'UNE STRATE  
PERMÉABLE**

Domaine de l'invention

La présente invention concerne des procédés et dispositifs de détermination du potentiel hydraulique d'une strate perméable et poreuse au fond d'un puits afin d'évaluer la  
5 qualité de production d'un gisement notamment de pétrole. On appelle ici "strate" toute partie d'un gisement d'où provient un effluent, débouchant dans un puits à l'intérieur d'un intervalle continu de hauteur inférieure ou égale à l'épaisseur totale du gisement

10 Exposé de l'art antérieur

Ce problème a déjà été traité par le présent inventeur dans la demande de brevet français 2 678 679 du 5 juillet 1991, dans la demande de brevet français 2 817 587 du 4 décembre 2000 et dans le brevet US 7 257 491 sous priorité du 22 mai 2002.

15 Dans la demande de brevet français 2 678 679, on prévoit de descendre au fond d'un puits, au niveau d'une strate productrice d'effluent, un dispositif comprenant d'une part une sonde de pression et de débit, d'autre part un moyen d'obturation au moins partiel du débit du puits. Le dispositif est mis  
20 en place à des profondeurs successives du gisement. Pour chaque profondeur, l'obturateur est mis de façon périodique en position

B11091

2

de non-obturation et en position d'obturation au moins partielle, les variations de pression et de débit résultantes sont mesurées et on en déduit diverses caractéristiques du gisement et notamment la perméabilité de la ou des strates perméables ainsi que l'éventuel colmatage du puits.

Dans la demande de brevet français 2 817 587, le même dispositif est utilisé et des procédés sont décrits pour déterminer plus particulièrement le colmatage du puits (SKIN). Si on détecte un colmatage, divers moyens sont utilisés pour décolmater les parois du puits.

Le brevet US 7 257 491 décrit un procédé d'évaluation de la réponse complexe d'une strate. Cette réponse,  $R_{\text{stratum}}$ , est définie comme étant une valeur complexe correspondant au rapport entre les variations de pression,  $P$ , et les variations de débit,  $Q$ , mesurées au niveau de la paroi du puits, résultant de la modulation. Le brevet US indique que la réponse  $R_{\text{stratum}}$  de la strate perméable comprise entre une cote haute (high) et une cote basse (low), correspond à la formule  $1/R_{\text{stratum}} = 1/R_{\text{high}} + 1/R_{\text{low}}$ . De plus, ce brevet indique brièvement que la modulation de pression et de débit dans le puits peut résulter d'une action effectuée ou bien, comme dans les demandes de brevets antérieures, à partir d'un obturateur disposé en fond de puits, ou bien à partir de la surface. Dans ce deuxième cas, on propose plus particulièrement d'agir sur une injection de fluide par une pompe disposée au niveau de la surface du puits. Toutefois, ce brevet n'indique pas d'intérêt particulier à produire une modulation à partir de la surface ou à partir du fond du puits.

Le brevet US 7 257 491 propose également de moduler la fermeture de la sortie du puits, c'est-à-dire de fermer cette sortie de façon périodique (et non plus de façon continue comme dans les techniques antérieures aux trois brevets et demandes de brevet susmentionnés). Ceci entraîne un risque de désamorçage du puits lorsque la pression du gisement est suffisamment faible pour qu'il ne soit plus artésien.

B11091

3

Ainsi, un problème se pose pour obtenir de façon relativement simple une modulation de débit et de pression en fond de puits.

Un autre problème, non évoqué précédemment, réside dans l'obtention de paramètres caractéristiques rigoureux à partir de mesures de débit et de pression réalisées en fond de puits.

#### Résumé de l'invention

Ainsi, un objet d'un mode de réalisation de la présente invention est de prévoir un dispositif et un procédé de mesure de pression et de débit en fond de puits, en fonction d'une modulation appliquée de façon simple à la pression et au débit du puits.

Un autre objet d'un mode de réalisation de la présente invention est de prévoir un procédé fournissant une détermination exacte de divers paramètres relatifs à la série de strates du gisement, et notamment leur réponse complexe individuelle  $R_{strate}$ , à partir de mesures de débit et de pression effectuées à diverses hauteurs dans le fond du puits au droit du gisement.

Pour atteindre ces objets ainsi que d'autres, un mode de réalisation de la présente invention prévoit un procédé de détermination de la réponse complexe d'une strate perméable au fond d'un puits en exploitation, le puits comprenant une tête de puits équipée d'une vanne de sortie et le fond du puits comprenant une sonde de mesure de pression et de débit réglable en hauteur, comprenant les étapes suivantes :

moduler de façon périodique le degré d'ouverture de la vanne de sortie et, tandis que la modulation est en cours :

- mesurer la pression et le débit dans le puits en haut/bas de la strate pendant un certain nombre de périodes de modulation, après un certain retard ; et

- mesurer la pression et le débit dans le puits en bas/haut de la strate pendant un certain nombre de périodes de modulation, immédiatement après mise en place de la sonde.

B11091

4

Selon un mode de réalisation de la présente invention, les étapes de mesures sont répétées pour d'autres strates immédiatement après mise en place de la sonde en haut/bas de ces autres strates.

5 Selon un mode de réalisation de la présente invention, la modulation modifie le débit de sortie de 5 à 15%.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la modulation comporte une superposition de plusieurs périodes de modulation.

10 Selon un mode de réalisation de la présente invention, la superposition de périodes comporte des périodes présentant entre elles des rapports égaux à des puissances entières de 2.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, on détermine la réponse complexe  $R_{strate}$  de la strate :

15 en mesurant et/ou on calculant au préalable les valeurs de la compressibilité  $c$  de l'effluent, de la masse volumique  $\rho$  de l'effluent, du coefficient de pertes de charge tangent linéarisé  $F$  dans le tubage, de la section droite  $s$  du puits, et de grandeurs intermédiaires  $\gamma$  et  $\xi$ , et

20 en appliquant la relation suivante :

$$\frac{1}{R_{strate}} = \frac{1}{\rho_{strate}} \cdot \left( \frac{\frac{\rho_h}{R_h} - \frac{\text{th}(\gamma_h \cdot L_h)}{\xi_h}}{1 - \xi_h \cdot \text{th}(\gamma_h \cdot L_h) \cdot \frac{\rho_h}{R_h}} - \frac{\frac{\rho_b}{R_b} + \frac{\text{th}(\gamma_b \cdot L_b)}{\xi_b}}{1 + \xi_b \cdot \text{th}(\gamma_b \cdot L_b) \cdot \frac{\rho_b}{R_b}} \right)$$

Selon un mode de réalisation de la présente invention, on applique la relation simplifiée suivante :

$$\frac{1}{R_{strate}} = \frac{1}{R_h} - \frac{1}{R_b} - i \cdot \omega \cdot \Delta C + F \cdot \left( \frac{L_h}{R_h^2} + \frac{L_b}{R_b^2} \right) + i \cdot \frac{\omega \cdot \rho}{s} \cdot \left( \frac{L_h}{R_h^2} + \frac{L_b}{R_b^2} \right)$$

25  $\Delta C$  désignant le facteur d'emménagement du puits sur une longueur  $\Delta z$ .

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le débitmètre de la sonde est étalonné en appliquant les étapes suivantes :

30 - placer la sonde à une position correspondant à la limite supérieure du gisement,

B11091

5

- mesurer le débit à la sortie du puits, et
- fixer que la valeur fournie par le débitmètre de la sonde est la valeur mesurée en sortie.

Un mode de réalisation de la présente invention prévoit un dispositif de détermination de la réponse complexe d'une strate perméable au fond d'un puits en exploitation, le puits comprenant une tête de puits équipée d'une vanne de sortie, comprenant une sonde de mesure réglable en hauteur ; des moyens de modulation périodique du degré d'ouverture de la vanne de sortie ; et des moyens de calcul de paramètres à partir des pressions et débits mesurés en haut et en bas de la strate.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la vanne de sortie est une vanne pointeau télécommandée.

#### Brève description des dessins

Ces objets, caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non-limitatif en relation avec la figure 1 qui représente de façon schématique un exemple d'installation de puits de pétrole.

#### Description détaillée

La présente description est faite plus particulièrement dans le cas où le puits considéré est un puits d'extraction de pétrole ou de gaz. Toutefois, elle s'appliquera généralement à tout type de puits en exploitation.

#### 1. DISPOSITIF ET PROCEDE DE MESURE

La figure 1 représente de façon très schématique des éléments essentiels d'un tel puits. Le puits est délimité par un tubage (souvent désigné par l'appellation anglo-saxonne casing) 1 qui s'étend à partir d'un niveau légèrement supérieur au niveau du sol 3 jusqu'à pénétrer dans un gisement 5 perméable et producteur d'effluent au niveau duquel le tubage est perforé. A l'intérieur du tubage 1 s'étend une conduite de production (souvent désignée par l'appellation anglo-saxonne tubing) 7 qui s'étend au-dessus du niveau du tubage et qui s'arrête au niveau d'un obturateur de production 9 mis en place sensiblement au

B11091

6

niveau du toit du gisement. Ce gisement est essentiellement constitué d'une série de strates poreuses et perméables à travers lesquelles chemine un effluent, dans le cas considéré ici du pétrole ou un gaz, qui pénètre dans le puits et remonte  
5 dans la conduite de production 7.

La partie supérieure de la conduite de production ou tête de puits, comprend un ensemble de vannes, généralement deux premières vannes d'arrêt 10 et 11 qui sont ouvertes quand le puits est en exploitation et une vanne d'arrêt supérieure 12. Un  
10 tube de sortie s'étend à partir de la conduite de production entre les vannes 11 et 12 et est commandé par une vanne de production 14 par laquelle sort l'effluent quand le puits est en production. Un tube 16 est également relié à la conduite de production entre les vannes 11 et 12. Un fluide sous pression  
15 peut être injecté dans le tube 16, par l'intermédiaire d'une vanne de pompe 18.

Un câble 20 pénètre dans le tube d'exploitation par l'intermédiaire d'un sas 19 fermé par un presse-étoupe 22 et porte à sa partie inférieure une sonde 24 de mesure de pression  
20 et de débit (souvent désignée par le sigle PLT, de l'appellation anglo-saxonne Production Logging Tool), par exemple du type décrit dans les documents susmentionnés du même inventeur. Cette sonde permet éventuellement de mesurer d'autres paramètres, tels que la température et les gradients de pression.

25 Le câble 20 a une fonction mécanique de support de la sonde et une fonction électrique d'échange de signaux entre la sonde et un dispositif de commande, de mesure et d'alimentation non représenté.

Il est prévu ici d'adjoindre à la vanne d'arrêt de  
30 production 14 une vanne de sortie réglable 25, par exemple du type vanne pointeau. Cette vanne comprend un pointeau conique 26 susceptible de venir obturer un siège conique 28 pour laisser sortir un débit d'effluent choisi par une sortie 30. Le pointeau 26 est par exemple solidaire d'une vis sans fin 32 coopérant  
35 avec un moteur 34 alimenté par une alimentation 36 commandée,

B11091

7

éventuellement à distance, à partir d'un ordinateur de chantier  
38.

Lorsque le puits est en production, et que les vannes  
10, 11 et 14 sont ouvertes, il est prévu de commander la vanne  
5 pointeau en position ouverte, pour moduler le débit de  
l'effluent de façon périodique. Cette modulation agira, par  
exemple, pour assurer une variation périodique, sinusoïdale ou  
non, par exemple, de l'ordre de 5 à 15 %, par exemple 10 %, du  
débit.

10 Avec ce système, la périodicité de la modulation peut  
être choisie de façon extrêmement libre. On pourra choisir une  
période de modulation comprise entre quelques secondes et  
quelques heures. On pourra aussi choisir une superposition de  
plusieurs périodes de modulation, par exemple une superposition  
15 de périodes présentant entre elles des rapports égaux à des  
puissances entières de 2.

Il résulte de cette modulation imposée au débit de  
sortie du puits, des variations de pression périodiques qui se  
répercutent vers le fond du puits, au niveau du gisement 5. On  
20 effectue alors, tandis que la modulation est en cours, des  
mesures de pression et de débit au moyen de la sonde 24 pour  
plusieurs positions en hauteur de cette sonde. On peut en  
déduire la réponse complexe  $R_{strate}$  de la strate individualisée  
par les deux positions de mesure et notamment, comme cela a été  
25 exposé dans les documents susmentionnés de l'inventeur, en  
déduire la perméabilité de la strate productrice ainsi que son  
éventuel colmatage entre les positions de mesure.

Un avantage du système de modulation de débit/pression  
décrit ici est qu'il est particulièrement simple à mettre en  
30 oeuvre car il est réalisé au niveau de la tête de puits et non  
pas en fond de puits. De plus, il est beaucoup plus simple  
d'obtenir une modulation de débit/pression par le moyen décrit  
ci-dessus que, comme cela a été proposé précédemment, en injec-  
tant par une pompe un fluide en surpression au travers de la  
35 vanne 18.

B11091

8

Un autre avantage de la présente invention est que, pendant la mesure, le puits reste en exploitation, son débit étant seulement modulé de quelques pourcents.

Un autre avantage de la présente invention est que, pendant la mesure, la sortie de l'effluent n'est à aucun moment bloquée, ce qui risquerait de provoquer un désamorçage du puits dans certaines conditions.

Un autre avantage de la présente invention est de permettre d'accélérer la réalisation des mesures. De façon connue, les mesures ne sont possibles qu'une fois qu'un régime stabilisé de modulation de pression apparaît au fond du puits. Ce régime stabilisé ne s'établit qu'après un temps nécessaire à la disparition complète du régime d'écoulement transitoire qui naît spontanément lors du déclenchement de la modulation forcée du débit, soit après deux, voire trois, périodes de modulation. Ainsi, la première mesure ne peut être effectuée par la sonde 24 qu'après deux, voire trois, périodes mortes (et cette durée peut être particulièrement longue lorsque la périodicité des perturbations induites est élevée (par exemple plusieurs dizaines de minutes). Par contre, les mesures suivantes peuvent être effectuées à différentes profondeurs sans attendre la fin de nouvelles périodes mortes. Ceci n'est pas le cas si la modulation est établie comme cela a été proposé antérieurement par un obturateur de fond de puits remis en route pour chaque nouvelle position de la sonde.

## 2. DETERMINATION DE LA REPONSE COMPLEXE $R_{strate}$ D'UNE STRATE A PARTIR DE MESURES DE PRESSION ET DE DEBIT EN FOND DE PUIITS

Par ailleurs, la présente invention prévoit un procédé de détermination de la réponse complexe  $R_{strate}$  d'une strate à partir de mesures de pression et de débit plus précis que ceux décrits dans les documents antérieurs de l'inventeur. Dans ces documents antérieurs, et notamment dans le brevet américain 7 257 491, il est indiqué que la réponse complexe d'une strate à étudier entre une cote haute et une cote basse, correspond à la formule :

B11091

9

$$1/R_{\text{stratum}} = 1/R_{\text{high}} + 1/R_{\text{low}}.$$

Ceci ne tient pas compte de divers paramètres correcteurs qui peuvent fausser sensiblement les résultats dans une proportion pouvant aller jusqu'à 10 %.

5 On considère une strate productrice débitant dans un puits circulaire de section constante en régime stabilisé. À ce régime, on superpose une onde de modulation du débit de pulsation constante et puis, à l'aide d'une sonde de mesure, on mesure la réponse ponctuelle complexe de l'effluent en deux  
10 points situés respectivement l'un au-dessous de l'autre de part et d'autre de la strate productrice. Pour déterminer la réponse complexe de cette strate à partir de ces deux mesures, de la forme du puits et des propriétés physiques de l'effluent, on définit et on détermine d'abord les paramètres physiques suivants.

#### 15 Notations

Dans ce qui suit, on désigne par :

t (s), le temps,  
z (m), la profondeur dirigée vers le fond du puits, l'origine étant prise au centre de la strate,  
20 p(z) (Pa), la pression ponctuelle en régime stabilisé mesurée dans le puits à la profondeur z,  
 $\omega$  ( $s^{-1}$ ), la pulsation de la modulation,  
L (m), la distance du point de mesure au centre de la strate,  
c ( $Pa^{-1}$ ), la compressibilité dans le tubage de l'effluent dans  
25 le tubage,  
 $\rho$  ( $kg \cdot m^{-3}$ ), la masse volumique de l'effluent,  
 $F = \delta^2 p / \delta q \cdot \delta z$  ( $Pa \cdot s \cdot m^{-4}$ ), le coefficient de pertes de charge tangent linéarisé dans le tubage,  
s ( $m^2$ ) l'aire de la section droite du puits,  
30 q(z) ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ), le débit ponctuel en régime stabilisé mesuré dans le puits à la profondeur z,  
 $P(z) = \Delta P(z) \cdot e^{i(\omega \cdot t + \phi(z))}$  (Pa), la pression complexe ponctuelle de la modulation mesurée dans le puits à la profondeur z,  
 $Q(z) = \Delta Q(z) \cdot e^{i(\omega \cdot t + \psi(z))}$  ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ), le débit complexe ponctuel de la  
35 modulation,

B11091

10

$\Delta C = c.s.\Delta z$  ( $m^3.Pa^{-1}$ ), le facteur d'emmagasinement d'un tronçon de puits de longueur  $\Delta z$ .

On marque d'un indice b la partie inférieure d'une zone de mesure et d'un indice h la partie supérieure d'une zone  
5 de mesure.

On définit des grandeurs intermédiaires  $\gamma$  et  $\xi$  telles que

$$\gamma = i\omega\sqrt{\rho\cdot c}\cdot\sqrt{1-i\frac{s\cdot F}{\rho\cdot\omega}}$$

$$\xi = \frac{1}{s\sqrt{\rho\cdot c}}\cdot\sqrt{1-i\frac{s\cdot F}{\rho\cdot\omega}}$$

#### 10 Procédé de détermination de $R_{strate}$

On veut déterminer la réponse complexe  $R_{strate}$  d'une strate à partir des deux réponses complexes ponctuelles déterminées dans le fond du puits respectivement aux profondeurs  $z_b$  et  $z_h$  par la relation :

$$15 \quad R(z) = \frac{P(z)}{Q(z)} = \frac{\Delta P(z)}{\Delta Q(z)} \cdot e^{-i(\psi(z)-\phi(z))} \text{ (Pa.s.m}^{-3}\text{)}.$$

Pour cela, on commence par déterminer un profil de production sur toute la hauteur du gisement en utilisant la sonde 24 selon un protocole bien connu dans le métier puis, en interprétant ces mesures grâce à l'un des progiciels bien connus  
20 dans le métier, on détermine les profils respectifs du débit de fond stabilisé  $q(z)$ , de la pression de fond stabilisée  $p(z)$ , de la masse volumique de l'effluent  $\rho(z)$ , de la compressibilité de l'effluent  $c(z)$ , de la masse volumique virtuelle correspondant au gradient de pertes de charge  $\rho_{PDC}(z)$  ; à partir de ces  
25 profils primaires, on peut déterminer le profil du gradient de pression tangent linéarisé par la relation :

$$F(z) = \lambda \cdot \rho_{PDC}(z) \cdot g/q(z)$$

où  $\lambda$  est un facteur adimensionnel compris entre 1,8 et 2 et où  $g$  figure l'accélération de la pesanteur terrestre ( $9,81 m.s^{-2}$ ).

30 En pratique,  $\rho(z)$ ,  $c(z)$  et  $F(z)$  varient lentement avec la profondeur, de sorte qu'on peut facilement en obtenir des

valeurs moyennes représentatives pour tout un tronçon du puits de longueur modérée en effectuant de simples quadratures ; il suffit alors de reporter ces valeurs moyennes représentatives dans les relations qui définissent les grandeurs intermédiaires  $\gamma$ ,  $\xi$  ou le coefficient d'emménagement  $\Delta C$  pour en obtenir des valeurs représentatives pour tout le tronçon de puits considéré.

En résolvant les équations couplées en  $P(z)$  et  $Q(z)$  qui régissent l'écoulement de l'effluent entre la profondeur où il entre dans le fond du puits et un point situé à une distance  $L$  au-dessus ou en dessous quand on y impose des modulations périodiques sinusoidales entretenues de pulsation  $\omega$ , l'inventeur a démontré que  $R_{strate}$  s'exprime alors par la relation (1) :

$$\frac{1}{R_{strate}} = \frac{1}{\rho_{strate}} \cdot \left( \frac{\frac{\rho_h}{R_h} - \frac{\text{th}(\gamma_h \cdot L_h)}{\xi_h}}{1 - \xi_h \cdot \text{th}(\gamma_h \cdot L_h) \cdot \frac{\rho_h}{R_h}} - \frac{\frac{\rho_b}{R_b} + \frac{\text{th}(\gamma_b \cdot L_b)}{\xi_b}}{1 + \xi_b \cdot \text{th}(\gamma_b \cdot L_b) \cdot \frac{\rho_b}{R_b}} \right) \quad (1)$$

En pratique, les termes  $\gamma_h \cdot L_h$   $\gamma_b \cdot L_b$  sont suffisamment petits pour que l'on puisse approximer la tangente hyperbolique  $\text{th}(x)$  par  $x$ .

La relation (1) devient alors :

$$\frac{1}{R_G} = \frac{1}{\rho_G} \cdot \left( \frac{\frac{\rho_h}{R_h} - i \cdot \omega \cdot \rho_h \cdot \Delta C_h}{1 - \frac{F_h \cdot L_h}{R_h} - i \cdot \frac{\omega \cdot \rho_h \cdot L_h}{s \cdot R_h}} - \frac{\frac{\rho_b}{R_b} + i \cdot \omega \cdot \rho_b \cdot \Delta C_b}{1 + \frac{F_b \cdot L_b}{R_b} + i \cdot \frac{\omega \cdot \rho_b \cdot L_b}{s \cdot R_b}} \right) \quad (2)$$

Cette expression met en évidence les trois termes correctifs induits par la présence de l'effluent dans le puits:

- Compressibilité : ce sont les termes :

$$i \cdot \omega \cdot \rho_{h,b} \cdot \Delta C_{h,b} / \rho_{strate}$$

qui ne dépendent que de la pulsation du test et du facteur d'emménagement de la partie du puits comprise entre les deux points de mesure.

- Viscosité : la viscosité de l'effluent induit des pertes de charge le long du puits qui se traduisent par des gradients tangents non nuls ; les réponses complexes mesurées respectivement

B11091

12

en haut et en bas de la strate figurent explicitement dans les termes correctifs

$$\frac{F_{h\_b} \cdot L_{h\_b}}{R_{h\_b}}$$

5 mais la pulsation  $\omega$  n'intervient que par son effet sur les réponses complexes.

- Inertie : la modulation périodique du débit provoque des à-coups au sein de l'effluent doué de masse, qui à leur tour génèrent des ondes de pression perturbatrices dont on tient compte par la présence des termes :

10 
$$i \cdot \frac{\omega \cdot \rho_{h\_b} \cdot L_{h\_b}}{s \cdot R_{h\_b}}$$

qui s'annuleraient si la masse volumique était nulle et qui dépendent de la pulsation, à la fois directement et par la présence des réponses complexes.

15 Lorsque les termes correctifs (qui sont des nombres complexes) relatifs à la viscosité et à l'inertie de l'effluent ont des modules petits devant 1, on peut linéariser d'avantage en remarquant que diviser par  $1+\varepsilon$  revient à multiplier par  $1-\varepsilon$ , et on obtient la relation (3) :

20 
$$\frac{1}{R_{strate}} = \frac{\rho_h}{\rho_{strate}} \cdot \frac{1}{R_h} - \frac{\rho_b}{\rho_{strate}} \cdot \frac{1}{R_b} - i \cdot \omega \cdot \left( \frac{\rho_h}{\rho_{strate}} \cdot \Delta C_h + \frac{\rho_b}{\rho_{strate}} \cdot \Delta C_b \right) + \dots$$

$$\dots + \frac{\rho_h \cdot F_h \cdot L_h}{\rho_{strate} \cdot R_h^2} + \frac{\rho_b \cdot F_b \cdot L_b}{\rho_{strate} \cdot R_b^2} + i \cdot \frac{\omega}{s} \cdot \left( \frac{\rho_h^2 \cdot L_h}{\rho_{strate} \cdot R_h^2} + \frac{\rho_b^2 \cdot L_b}{\rho_{strate} \cdot R_b^2} \right) \quad (3)$$

25 On peut encore simplifier en admettant que le tronçon du puits compris entre les deux points de mesure est suffisamment court pour que l'effluent y garde des propriétés physiques constantes, à savoir :

$$\rho_h = \rho_{strate} = \rho_b = \rho$$

$$F_h = F_b = F$$

$$\Delta C_h + \Delta C_b = \Delta C$$

30 La relation (3) devient alors :

B11091

13

$$\frac{1}{R_{strate}} = \frac{1}{R_h} - \frac{1}{R_b} - i \cdot \omega \cdot \Delta C + F \cdot \left( \frac{L_h}{R_h^2} + \frac{L_b}{R_b^2} \right) + i \cdot \frac{\omega \cdot \rho}{s} \cdot \left( \frac{L_h}{R_h^2} + \frac{L_b}{R_b^2} \right) \quad (4)$$

On notera que parmi les trois termes correctifs ci-dessus, le terme de compressibilité peut être important (de 5 à 10%) si la compressibilité  $c$ , et partant le coefficient d'emmagasinement du fond du puits  $\Delta C$ , est élevée, ce qui est par exemple le cas pour un gaz ; le terme de viscosité peut être important (de 5 à 10%) si le coefficient de perte de charge tangent linéarisé  $F$  est élevé, ce qui est le cas pour certaines huiles lourdes ; et le terme d'inertie qui est toujours nettement inférieur aux deux termes correctifs précédents n'est toutefois plus négligeable pour les modulations rapides, disons lorsque la période passe sous la barre des 30 secondes.

Des modes de réalisation particuliers de la présente invention ont été décrits. Diverses variantes et modifications apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, divers types de vannes réglables de sortie actionnables en modulation pourront être utilisés. De plus, bien qu'un mode de détermination précis de paramètres d'un puits ait été décrit en relation avec une modulation de débit et de pression provoquée par la modulation d'une vanne réglable de sortie de production, ce mode de détermination de paramètres pourra également être utilisé si d'autres moyens de modulation de débit et de pression sont mis en œuvre.

Selon un aspect de la présente invention on cherche à améliorer la précision de la mesure  $q(z)$  de débit ponctuel en régime stabilisé mesuré dans le puits à la profondeur  $z$ . En effet, les débitmètres couramment utilisés dans une sonde PLT sont généralement des dispositifs donnant une mesure proportionnelle plutôt qu'une mesure absolue. De plus, la mesure fournie dépend du centrage du débitmètre par rapport à l'axe du puits.

On propose donc ici le mode d'étalonnage suivant :

- placer le débitmètre de la sonde à une position correspondant à la limite supérieure du gisement,

B11091

14

- mesurer le débit à la sortie du puits par l'un des moyens classiques couramment utilisés pour mesurer ce débit, et
- fixer que la valeur fournie par le débitmètre de la sonde est la valeur mesurée en sortie.

5            Par ailleurs, dans la description qui précède, on a supposé que le forage dans le gisement s'étendait verticalement, il sera clair que ce forage pourra avoir toute autre inclinaison.

**REVENDICATIONS**

1. Procédé de détermination de la réponse complexe d'une strate perméable au fond d'un puits en exploitation, le puits comprenant une tête de puits équipée d'une vanne de sortie et le fond du puits comprenant une sonde (24) de mesure de  
5 pression et de débit réglable en hauteur, comprenant les étapes suivantes :

moduler de façon périodique le degré d'ouverture de la vanne de sortie et, tandis que la modulation est en cours :

10 - mesurer la pression et le débit dans le puits en haut/bas de la strate pendant un certain nombre de périodes de modulation, après un certain retard ; et

- mesurer la pression et le débit dans le puits en bas/haut de la strate pendant un certain nombre de périodes de modulation, immédiatement après mise en place de la sonde.

15 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les étapes de mesures sont répétées pour d'autres strates immédiatement après mise en place de la sonde en haut/bas de ces autres strates.

20 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la modulation modifie le débit de sortie de 5 à 15%.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la modulation comporte une superposition de plusieurs périodes de modulation.

25 5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la superposition de périodes comporte des périodes présentant entre elles des rapports égaux à des puissances entières de 2.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel on détermine la réponse complexe  $R_{strate}$  de la strate :

30 en mesurant et/ou on calculant au préalable les valeurs de la compressibilité  $c$  de l'effluent, de la masse volumique  $\rho$  de l'effluent, du coefficient de pertes de charge tangent linéarisé  $F$  dans le tubage, de la section droite  $s$  du puits, et de grandeurs intermédiaires  $\gamma$  et  $\xi$ , et

B11091

16

en appliquant la relation suivante :

$$\frac{1}{R_{\text{strate}}} = \frac{1}{\rho_{\text{strate}}} \cdot \left( \frac{\frac{\rho_h}{R_h} - \frac{\text{th}(\gamma_h \cdot L_h)}{\xi_h}}{1 - \xi_h \cdot \text{th}(\gamma_h \cdot L_h) \cdot \frac{\rho_h}{R_h}} - \frac{\frac{\rho_b}{R_b} + \frac{\text{th}(\gamma_b \cdot L_b)}{\xi_b}}{1 + \xi_b \cdot \text{th}(\gamma_b \cdot L_b) \cdot \frac{\rho_b}{R_b}} \right)$$

7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel on applique la relation simplifiée suivante :

$$\frac{1}{R_{\text{strate}}} = \frac{1}{R_h} - \frac{1}{R_b} - i \cdot \omega \cdot \Delta C + F \cdot \left( \frac{L_h}{R_h^2} + \frac{L_b}{R_b^2} \right) + i \cdot \frac{\omega \cdot \rho}{s} \cdot \left( \frac{L_h}{R_h^2} + \frac{L_b}{R_b^2} \right)$$

$\Delta C$  désignant le facteur d'emmagasinement du puits sur une longueur  $\Delta z$ .

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le débitmètre de la sonde est étalonné en appliquant les étapes suivantes :

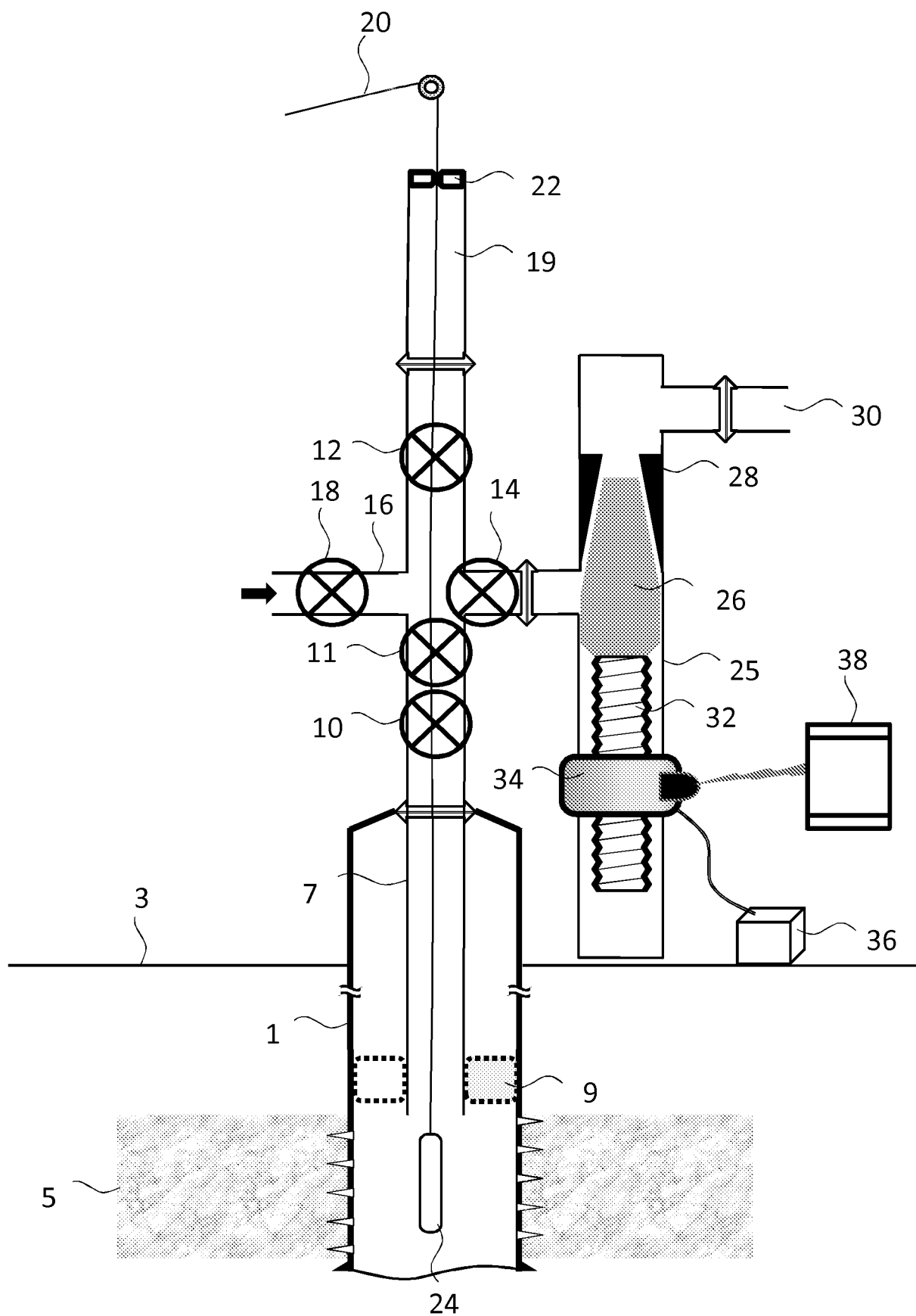
- placer la sonde à une position correspondant à la limite supérieure du gisement,
- mesurer le débit à la sortie du puits, et
- fixer que la valeur fournie par le débitmètre de la sonde est la valeur mesurée en sortie.

9. Dispositif de détermination de la réponse complexe d'une strate perméable au fond d'un puits en exploitation, le puits comprenant une tête de puits équipée d'une vanne de sortie, comprenant :

- une sonde (24) de mesure réglable en hauteur ;
- des moyens de modulation périodique du degré d'ouverture de la vanne de sortie (25) ; et
- des moyens de calcul de paramètres à partir des pressions et débits mesurés en haut et en bas de la strate.

10. Dispositif selon la revendication 9, dans lequel la vanne de sortie (25) est une vanne pointeau télécommandée.

1/1





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 752108  
FR 1155105

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	ROCHON J ET AL: "Method and Application of Cyclic Well Testing With Production Logging", SPE ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE AND EXHIBITION, 21-24 SEPTEMBER 2008, DENVER, COLORADO, USA, SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS, no. SPE 115820, 21 septembre 2008 (2008-09-21), pages 1-15, XP002630733, DOI: 10.2118/115820-MS	1-5,8,9	E21B49/00 E21B47/06
Y	* page 6, ligne 14 - ligne 17; figure 6 * * page 7, ligne 4 - ligne 7 * * page 9, ligne 9 - ligne 11; figure 12 *	10	
Y	US 5 201 491 A (DOMANGUE KENNETH J [US]) 13 avril 1993 (1993-04-13) * abrégé; figure 2 *	10	
A,D	US 2006/129321 A1 (DESPAX DAMIEN [FR]) 15 juin 2006 (2006-06-15) * colonne 7, ligne 45 - ligne 58 *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A,D	FR 2 817 587 A1 (INNOV PRO [FR]) 7 juin 2002 (2002-06-07) * abrégé; figure 2 *	1-10	E21B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 janvier 2012		Dantine, Patrick	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</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 &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 1155105 FA 752108**

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 **19-01-2012**

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
US 5201491	A	13-04-1993	AUCUN	
-----				
US 2006129321	A1	15-06-2006	AU 2003258765 A1	02-12-2003
			CA 2487090 A1	27-11-2003
			CN 1666009 A	07-09-2005
			EP 1506344 A1	16-02-2005
			FR 2840014 A1	28-11-2003
			US 2006129321 A1	15-06-2006
			WO 03098000 A1	27-11-2003
-----				
FR 2817587	A1	07-06-2002	AU 2305302 A	18-06-2002
			EP 1339951 A2	03-09-2003
			FR 2817587 A1	07-06-2002
			NO 20032502 A	16-07-2003
			US 2004049346 A1	11-03-2004
			WO 0246563 A2	13-06-2002
-----				