

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
PARIS
—

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

2 575 784

②1 N° d'enregistrement national :

86 00398

⑤1 Int Cl⁴ : E 21 B 7/04, 7/06.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 7 janvier 1986.

③0 Priorité : GB, 8 janvier 1985, n° 85 00458.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 28 du 11 juillet 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *PETROLEUM RESEARCH AND DEVE-
LOPMENT NV.* — Antilles Néerlandaises.

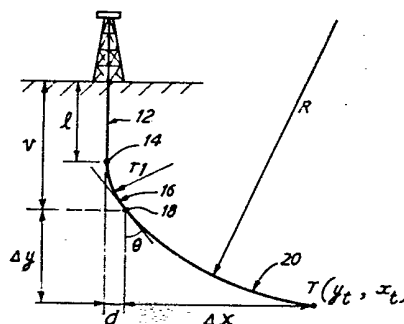
⑦2 Inventeur(s) : Michael Sheppard.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Henri Dupont.

⑤4 Procédé de forage d'un puits directionnel.

⑤7 L'invention concerne un procédé de forage d'un puits 12, 16, 20 directionnel au moyen d'un train de tiges de forage. Conformément à l'invention, au moins une partie 20 de la trajectoire du puits est forée avec un taux d'accroissement angulaire θ constant de façon à ce que ladite partie ait une courbure constante.



FR 2 575 784 - A1

- 1 -

La présente invention concerne un procédé de forage d'un puits directionnel, généralement pour produire un fluide tel que du pétrole et/ou du gaz, contenu dans une formation souterraine.

- 5 De nombreux puits de pétrole ou de gaz ne sont pas forés verticalement, mais avec un certain angle ou une certaine inclinaison par rapport à la verticale. Le point visé, déterminé avant le forage, ne se situe pas à la verticale sous l'emplacement de surface de l'installation de forage. Cela est en
- 10 particulier le cas des forages offshore lorsqu'un groupe de puits est foré à partir de la même plateforme. La majorité de ces puits déviés est du type à "accroissement angulaire et tangente" représenté dans la Figure 1. A partir de l'installation de forage R située à la surface S, le puits est d'abord
- 15 foré verticalement vers le bas jusqu'à une profondeur donnée D_1 . La trajectoire du puits se dévie ensuite et l'angle d'inclinaison par rapport à la verticale s'accroît, théoriquement avec un taux d'accroissement fixe, jusqu'à un angle θ prédéterminé formé entre une ligne verticale et l'axe longitudinal du puits. Cette partie du puits est appelée
- 20 "section à accroissement angulaire" (build section). Le puits est ensuite foré en ligne droite jusqu'à la cible T dans le gisement de pétrole ou de gaz F, l'angle d'inclinaison étant maintenu aussi proche que possible de θ , jusqu'à ce que la
- 25 cible soit atteinte. Cette dernière partie du puits est appelée "section tangente" (tangent section).

- Le dispositif de forage, ou la colonne de forage, utilisé pour forer un puits, se compose principalement d'un train de tiges muni à son extrémité inférieure d'un trépan et de masses-
- 30 -tiges disposées immédiatement au-dessus du trépan. Les masse-tiges sont des tubes lourds (par comparaison aux tiges de forage), utilisés pour lester le trépan. D'ordinaire, tout le poids disponible n'est pas appliqué sur le trépan, la colonne de forage étant soutenue à la surface. Par conséquent, la partie supérieure de la colonne de forage se trouve
- 35 sous tension et sa partie inférieure est soumise à une com-

- 2 -

pression. Le point intermédiaire, où la contrainte passe d'une tension à une compression, est le point neutre, qui se situe habituellement à la partie supérieure de la section à massetiges.

- 5 Cependant, pour les puits déviés, la charge appliquée au crochet lors de la remontée du train de tiges est sensiblement plus élevée que le poids libre (en rotation) du train de tiges. En outre, le couple exigé à la surface pour obtenir un couple donné (inférieur) au niveau du trépan, est sensiblement plus grand dans le cas d'un puits dévié que dans le cas
10 d'un puits vertical de même longueur.

En général, le frottement et la perte de couple dans un système à train de tiges de forage, sont liés aux forces latérales s'exerçant le long du train de tiges et donnant lieu
15 à une interaction par frottement entre le train de tiges et le forage. Les forces latérales comportent deux composantes représentées Figure 2 et liées à:

- la courbure locale c du train de tiges (supposé être contenu dans un plan vertical) donnant un terme $T.c$ où T est la tension locale, et
20
- la composante de la masse soumise à poussée du train de tige, s'exerçant perpendiculairement à la tangente à la trajectoire. Celle-ci donne un terme de la forme $m.g.\sin(\theta)$ où θ est l'angle d'inclinaison et m la masse soumise à poussée du train
25 de tiges par unité de longueur.

La contribution totale de ces deux termes au frottement et à la perte de couple, est donnée par un terme dépendant du coefficient de frottement, de la forme :

$$\mu |m.g.\sin(\theta) - Tc|$$

- 30 intégré sur la longueur totale du train de tiges.

Dans certaines circonstances, en particulier dans le cas des puits à grande distance, le frottement induit peut être trop important, au point d'empêcher le forage. Cela peut se produire soit parce qu'il devient difficile ou impossible de

- 3 -

remonter le train de tiges, soit parce que le couple exigé pour faire tourner le train de tiges dépasse les normes de la table de rotation.

Le brevet des U.S A. N° 4.440.241 décrit un procédé de forage d'un puits, qui diminue sensiblement la probabilité que le train de tiges se bloque et diminue les forces de frottement entre le train de tiges et le puits. Conformément à ce procédé, le puits est foré le long du trajet formé par une courbe en chaînette. Cependant, ce procédé est très difficile à mettre en oeuvre car, pour une courbe en chaînette, la variation de l'angle d'inclinaison n'est pas constante, mais doit croître continument. Dans la pratique, le forage d'un puits le long d'un trajet en chaînette est impossible à réaliser. A titre d'exemple, si deux stabilisateurs sont utilisés pour dévier la trajectoire du forage, la distance entre les deux stabilisateurs doit être accrue régulièrement, de façon prédéterminée. Cette opération n'est pas facile à réaliser et exige de la part du foreur qu'il effectue des réglages fins. En outre, des forages correctifs fréquents pour ramener la trajectoire à une forme en chaînette, pourraient facilement conduire à la formation de zones de cambrure locale qui, à leur tour augmenteraient le frottement et le couple. Un autre inconvénient de ce procédé est que l'inclinaison du puits lorsqu'on atteint le point visé, est souvent très grande, c'est à dire que le puits est pratiquement horizontal. Cette forte inclinaison pourrait empêcher une production efficace du fluide du gisement. Elle augmente également le frottement appliqué aux équipements en fond de puits et par conséquent, les forces latérales agissant sur le train de tiges du forage, aggravant encore les problèmes de stabilité du puits et de blocage des stabilisateurs.

Le but principal de l'invention est de fournir un procédé de forage d'un puits, qui diminue sensiblement le frottement et la perte de couple dans le système à train de tiges et qui soit facile à mettre en oeuvre.

Conformément à la présente invention, au moins une partie du puits se terminant au point cible, est forée

- 4 -

avec un taux d'accroissement angulaire constant (le taux d'accroissement angulaire est la variation d'inclinaison par unité de longueur du train de tubes), de façon à ce que ladite partie du puits ait une forme à courbure constante.

5 Pour mieux comprendre les caractéristiques et avantages de la présente invention, on décrira ci-après un exemple en se référant aux dessins schématiques annexés parmi lesquels:

- la Fig. 1 représente la trajectoire d'un puits foré conformément à l'art antérieur;

10 la Figure 2 représente les forces s'exerçant sur une section d'un train de tiges de forage;

- la Figure 3 représente la trajectoire d'un puits foré conformément à l'invention ;

- la Figure 4 représente un exemple pratique d'un puits
15 foré conformément au procédé de l'invention, et

- les Figures 5 et 6 représentent respectivement la variation de la charge appliquée au crochet lors de la remontée et du couple, en fonction de l'angle à l'extrémité de la section d'accroissement angulaire initial, pour une
20 trajectoire à accroissement angulaire constant.

Le but du procédé proposé est de réduire le frottement et la perte de couple observés dans la plupart des puits directionnels.

Il existe essentiellement deux moyens pour surmonter
25 les problèmes de frottement affectant un puits. Le premier consiste à compenser une partie de la charge agissant dans la section tangente, et le second consiste à diminuer l'étendue de la section à accroissement angulaire. Ce dernier est un point important, car la section à accroissement
30 angulaire se situe dans une partie élevée du train de tiges, de sorte que la tension est considérable et que la force latérale et le frottement qui lui est associé, sont importants dans cette région. La diminution des forces latérales conduit non seulement à une diminution du frottement, mais également
35 à une diminution de l'usure à laquelle est soumis le tubage (tube en acier formant le revêtement intérieur du puits).

- 5 -

Le procédé de l'invention associe les deux options décrites ci-dessus. En premier lieu, on remplace la section tangente classique (aussi désignée "section de maintien") représentée Figure 1, par une section à courbure (vers le haut) constante, jusqu'à la cible. En second lieu, on réduit l'étendue de la section à accroissement angulaire initial, de façon à ce que l'angle obtenu à l'extrémité de la section à accroissement angulaire initial, soit plus petit que celui qui est nécessaire pour un puits classique à accroissement angulaire/tangente. Cette diminution de la taille de la section d'accroissement angulaire initial est la conséquence de l'utilisation d'une section à courbure constante dans la dernière partie du puits.

Dans la pratique, les caractéristiques d'accroissement angulaire de la trajectoire d'un puits sont obtenues en plaçant des stabilisateurs en des points stratégiques du train de tiges en fond de puits. En général, un système de fond de puits, pour un poids donné appliqué au trépan, aura tendance à présenter un accroissement angulaire pratiquement constant. Pour modifier légèrement l'inclinaison du forage, le foreur modifie le poids appliqué au trépan. Pour obtenir une modification notable de l'inclinaison, le foreur doit modifier la distance entre les stabilisateurs. Le train de tiges est donc remonté, les positions des stabilisateurs dans le système de forage sont modifiées, et le train de tiges est de nouveau descendu dans le puits pour reprendre l'opération de forage.

Le procédé de forage d'un puits à accroissement angulaire constant est illustré Figure 3.

La section verticale initiale 12 est forée à partir d'une installation de forage R jusqu'à la profondeur voulue 1, point (14) où le puits se dévie. La section 16 à accroissement angulaire initial est ensuite forée avec un taux d'accroissement angulaire b (degrés par centaine de pieds) produisant un arc de rayon r_1 où:

$$r_1 = \frac{18000}{\pi b}$$

- 6 -

La section à accroissement angulaire initial se prolonge jusqu'au point 18, où un angle d'inclinaison θ prédéterminé est obtenu. En général, la section à accroissement angulaire initial 16 est indispensable car elle a deux objectifs:

- 5 s'écarter des puits voisins aussi rapidement que possible dans le cas d'une densité élevée de puits, par exemple dans le cas d'un groupe de puits, et définir un relèvement au compas initial pour le puits. Le foreur a en effet besoin de déterminer assez rapidement l'azimut du puits. Cette
- 10 dernière exigence contraindra normalement θ à prendre une certaine valeur supérieure à environ $15^\circ - 20^\circ$. On peut néanmoins concevoir un puits sans section d'accroissement angulaire initial en posant $\theta = 0$ dans les formules ci-dessous. A l'extrémité 18 de la section d'accroissement initial,
- 15 la profondeur verticale v est donnée par :

$$v = l + r_1 \sin \theta$$

et le déplacement horizontal d est donné par :

$$d = r_1 (1 - \cos \theta)$$

- Pour un puits dont le point cible se situe à une
- 20 certaine profondeur verticale y_t et ayant un certain déplacement horizontal x_t , on définit les quantités Δx et Δy par:

$$\Delta x = x_t - d$$

et

$$\Delta y = y_t - v$$

- 25 La trajectoire 20 à accroissement angulaire constant partant de l'extrémité 18 de la section à accroissement angulaire initial 16, pour atteindre le point cible T (avec raccordement à la tangente à l'extrémité de la section à accroissement angulaire initial) est donnée par :

$$30 (x - d - \tilde{x})^2 = (y - v - \tilde{y})^2 = R^2$$

où x et y sont les composantes horizontale et verticale par rapport à l'emplacement de l'installation de forage, et où :

$$35 \quad \tilde{x} = \left(\frac{\Delta y}{2} + \frac{(\Delta x)^2}{2\Delta y} \right) \frac{\cot \theta}{1 + \frac{\Delta x \cot \theta}{\Delta y}}$$

- 7 -

$$\tilde{y} = \frac{\Delta y}{2} + \frac{(\Delta x)^2}{2\Delta y} - \frac{\Delta x}{\Delta y} \tilde{x}$$

Le rayon de courbure R est donné par $R = (\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2)^{1/2}$

Pour obtenir cette trajectoire en pratique, on fait
 5 fonctionner un système de fond de puits approprié, à l'extré-
 mité de la section à accroissement angulaire initial et
 on fait en sorte que l'angle d'inclinaison du puits croisse
 constamment, au taux de 18000/R degrés par centaine de
 pieds, jusqu'à ce que le point visé soit atteint. Pour
 10 un puits type, cette valeur du taux d'accroissement serait
 comprise entre 0.2° et 0.5° pour 100 pieds.

Les calculs de la charge totale appliquée au crochet,
 lors d'une remontée depuis la profondeur maximale, et du
 couple de rotation, ont été faits pour un puits type, représenté
 15 Figure 4, pour faire apparaître la diminution du frottement
 et du couple que l'on peut obtenir en utilisant des trajec-
 toires incurvées. Le puits est foré verticalement jusqu'à
 un point de déviation 30 situé à 2400 pieds (731 m). L'incli-
 naison a ensuite été accrue à raison de 5° par centaine
 20 de pieds (16.4°/100m) jusqu'à un certain angle θ au point 32.
 Cet angle serait normalement compris entre 2 et 8° par
 centaine de pieds (6.5-26°/100 m). La cible T se situait à
 une profondeur verticale totale de 9000 pieds (2743 m),
 le décalage par rapport à l'installation de forage étant
 25 de 6000 pieds (1829 m). Si le forage était effectué selon
 une trajectoire classique avec "courbure et maintien" (telle
 que la trajectoire de puits représentée en Figure 1)
 cela correspondrait à un angle d'inclinaison de 44,5°.

Le train de tiges type a été configuré de telle manière
 30 qu'il comporte 372 pieds (113 m) de masse-tiges de 6.5
 pouces (16.51 cm) et 840 pieds (256 m) de tube lourd de
 5 pouces (12.7 cm), de la tige de forage de 5 pouces (12.7 cm)
 étant utilisée jusqu'à la surface. Une densité de boue
 de 1.16 kg/l a été utilisée. Le frottement et la perte
 35 de couple sont fonction du coefficient de frottement, ce
 dernier se situant normalement dans la gamme de 0.2 à 0.4.

Dans cet exemple, une valeur de 0.4 a été utilisée pour simuler des conditions de frottement défavorables. Le calcul de la perte de couple a été effectué en supposant que le poids appliqué au trépan était de 17237 kg.

5 La Figure 5 représente, pour ce modèle de puits, la charge appliquée au crochet en tonnes lors d'une remontée depuis la profondeur maximale, en fonction de l'angle θ à l'extrémité de la section à 5° par centaine de pieds ($16.4^\circ/100$ m), entre les points 30 et 32. La courbe du haut 34 est la charge
10 de crochet pour la trajectoire à courbure constante, et la courbe du bas 36 représente la charge de crochet pour une trajectoire en chaînette. Les deux courbes 34 et 36 coïncident exactement pour des angles d'inclinaison supérieurs à 30° . Avec une trajectoire classique ($\theta = 44.5^\circ$), on pourrait
15 s'attendre à une charge de crochet d'environ 145 tonnes. Pour un puits comportant une section incurvée avec $\theta = 30^\circ$, les trajectoires en chaînette et à accroissement angulaire constant conduisent toutes deux à une diminution de cette valeur d'environ 25 tonnes.

20 La Figure 6 représente le couple de rotation en fonction de θ pour un puits foré conformément à la présente invention. Pour la trajectoire classique, la perte de couple entre la surface et le trépan se situe aux environ de 3110 m.kg (22500 ft.lb), alors que la trajectoire à accroissement
25 angulaire constant, par rapport à des inclinaisons d'environ 30° , diminue cette perte d'environ 622 m.kg (4500 ft.lb).

Bien que l'on ait présenté et décrit Figure 3 ce que l'on considère comme étant un mode de réalisation préféré de l'invention, les spécialistes de cette technique sauront
30 y apporter diverses modifications sans s'écarter du principe ni du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de forage d'un puits directionnel au moyen d'un train de tiges de forage, le d'une trajectoire prédéterminée s'étendant entre un point de départ situé à la surface et un point cible souterrain, décalé horizontalement et verticalement par rapport audit point de départ, caractérisé en ce qu'au moins la partie du puits se terminant au point cible est forée avec un taux d'accroissement angulaire constant, de façon à ce que ladite partie du puits présente une forme ayant une courbure constante.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite trajectoire comprend en outre une section verticale partant dudit point de départ.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite trajectoire comprend en outre, sous ladite section verticale et au-dessus de ladite partie à courbure constante, une partie à accroissement angulaire, de façon à obtenir une déviation du puits par rapport à la verticale sur une distance relativement courte, permettant la mesure de l'azimut du puits.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le taux d'accroissement de l'angle d'inclinaison par rapport à la verticale de ladite partie à courbure constante est compris entre 0,1 et 1,5° par pied (0.32 à 4.9 °/m).
5. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le taux d'accroissement de l'angle d'inclinaison par rapport à la verticale de ladite partie à accroissement angulaire est compris entre 1 et 8° par pied (3.3 à 26°/m).

1/3

