

ROYAUME DU MAROC  
-----  
OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIÉTÉ (19)  
INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE  
-----



المملكة المغربية  
-----  
المكتب المغربي  
للملكية الصناعية والتجارية  
-----

## (12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 24902 A1** (51) Cl. internationale : **H05B 0/0**

(43) Date de publication :  
**01.04.2000**

---

(21) N° Dépôt :  
**25478**

(22) Date de Dépôt :  
**01.03.1999**

(30) Données de Priorité :  
**06.03.1998 US 60/077022**

(71) Demandeur(s) :  
**SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ B.V., Carel van Bylandtlaan  
30 2596 HR La Haye (NL)**

(72) Inventeur(s) :  
**HAROLD J.VINEGAR ; LAWRENCE JAMES BIELAMOWICZ ; SCOTT LEE  
WELLINGTON ; ERIC DE ROUFFIGNAC**

(74) Mandataire :  
**TMP AGENTS**

---

(54) Titre : **RECHAUFFEUR ELECTRIQUE**

(57) Abrégé : ON DIVULGUE UN RÉCHAUFFEUR QUI COMPREND UN MATÉRIAU ÉLECTRIQUEMENT ISOLANT ENTOURANT UNE CONFIGURATION ANNULAIRE D'ÉLÉMENT CHAUFFANT; DANS LEQUEL IL N'EXISTE PAS DE CUVELAGE AUTOUR D'UNE CONFIGURATION ANNULAIRE D'ÉLÉMENT CHAUFFANT.

**Abrégé**

**RECHAUFFEUR ELECTRIQUE**

On divulgue un réchauffeur qui comprend un matériau électriquement isolant entourant une configuration annulaire d'élément chauffant; dans  
5 lequel il n'existe pas de cuvelage autour d'une configuration annulaire d'élément chauffant.

9

## RECHAUFFEUR ELECTRIQUE

## DOMAINE DE L'INVENTION

Cette invention concerne un procédé et un appareil de chauffage électrique à utiliser dans un puits de forage.

Les brevets US 4 640 352 et 4 886 118 divulguent le chauffage par conduction de formations souterraines de faible perméabilité qui contiennent  
5 du pétrole, pour en récupérer le pétrole. Les formations à faible perméabilité comprennent les diatomites, les charbons gras et les schistes pétrolifères. Les formations à faible perméabilité ne conviennent pas pour des procédés de récupération secondaire de pétrole tels que le noyage à la vapeur, au dioxyde de carbone ou au feu. Les matériaux de noyage tendent à pénétrer,  
10 de préférence par des fractures, dans les formations présentant une faible perméabilité. Les matériaux injectés passent à côté de la plus grande partie des hydrocarbures présents dans la formation. En revanche, le chauffage par conduction ne requiert pas un transport de fluide dans la formation. Pour cette raison, le pétrole présent dans la formation n'est pas contourné comme  
15 c'est le cas dans un procédé de noyage. Pour fournir la chaleur nécessaire à ces procédés, on utilise des puits d'injection de chaleur.

Les puits d'injection de chaleur peuvent également être utilisés dans la décontamination de sols. Les brevets US 5 31 116 et 5 244 310, par exemple, divulguent des procédés de décontamination de sols dans lesquels  
20 de la chaleur est injectée en dessous de la surface du sol pour vaporiser les contaminants. Le réchauffeur du brevet 5 244 310 utilise la résistance électrique de pointes, l'électricité passant dans le terrain par l'intermédiaire des pointes. Le brevet 5 318 116 divulgue des éléments chauffants passant dans le puits de forage jusqu'au fond de la formation à chauffer. Le puits de

BT 24902  
01 AVR. 2000

25473  
1 MAR 1999

forage entourant le réchauffeur comporte un lit de catalyseur qui est chauffé par les éléments chauffants. La chaleur traverse le lit de catalyseur par conduction pour atteindre un cuvelage entourant le lit du catalyseur, et de là passe par rayonnement du cuvelage au sol environnant le puits de forage.

5 Dès catalyseurs typiques à base d'alumine présentent des conductivités thermiques très basses, et il apparaît un gradient de température élevé à travers le lit de catalyseur. Ce gradient de température élevé entraîne une diminution du transfert thermique vers la terre lorsque celle-ci est chauffée par un élément chauffant maintenu à une température limitée.

10 Le brevet US 5 065 818 divulgue un puits chauffant doté de câbles chauffants gainés à isolation minérale ("MI - Mineral Insulation - isolation minérale") cimentés directement dans le puits de forage. Les câbles MI comprennent un élément chauffant entouré par exemple par une isolation en oxyde de magnésium, avec une gaine relativement mince autour de  
15 l'isolation. Le diamètre extérieur du câble chauffant est typiquement inférieur à un demi pouce (1,25 cm). Le puits de chauffage comporte facultativement un canal permettant d'abaisser dans le puits de forage cimenté un thermocouple qui sert à enregistrer un profil de température du puits de chauffage. Comme le câble est cimenté directement dans le puits de forage,  
20 on élimine la nécessité d'un cuvelage (autre que la gaine du câble), mais le diamètre extérieur du câble est relativement petit. Le petit diamètre du câble chauffant limite la quantité de chaleur que l'on peut transférer à la formation depuis le câble chauffant, parce que la superficie que doit traverser la chaleur à la surface du câble est limitée. Un ciment présente une  
25 conductivité thermique relativement basse, et pour cette raison, un flux thermique plus important à la surface du câble entraînerait une température inacceptablement élevée du câble chauffant. Pour augmenter le transfert thermique vers la formation au-dessus de ce qui serait possible avec un seul câble, on peut cimenter plusieurs câbles chauffants dans le puits de forage,  
30 mais il serait souhaitable d'encore augmenter la chaleur que l'on peut transférer dans le terrain entourant les réchauffeurs.

Le brevet US 2 732 195 divulgue un puits pour réchauffeur électrique dans lequel une substance "pulvérulente électriquement isolante", de préférence du sable de quartz ou du gravier de quartz concassé, est placée  
35 à la fois à l'intérieur et à l'extérieur d'un cuvelage d'un réchauffeur de puits

de forage et autour d'un élément chauffant électrique situé à l'intérieur du cuvelage. Le quartz est ici placé pour renforcer le cuvelage vis-à-vis des pressions externes, et il faut que le cuvelage soit fermé hermétiquement par rapport à la formation. Le cuvelage ajoute une dépense considérable à l'installation.

Un objet de la présente invention est dès lors de fournir un réchauffeur de puits de forage dans lequel la surface du réchauffeur à la température de l'élément de résistance électrique est supérieure à celle des réchauffeurs de la technique antérieure, et dans lequel un cuvelage n'est essentiellement pas nécessaire. Ce réchauffeur peut être utilisé comme réchauffeur de puits dans des buts tels que la récupération thermique d'hydrocarbures et l'épuration du sol.

#### RESUME DE L'INVENTION

Ces objets, et d'autres, sont atteints avec un réchauffeur électrique comportant un matériau d'isolation électrique entourant une configuration d'élément chauffant annulaire, dans lequel aucun cuvelage n'entoure la configuration d'élément chauffant.

La conception sans cuvelage du présent réchauffeur réduit de manière significative le coût d'un puits d'injection de chaleur, ce qui est significatif dans une application telle que des injecteurs de chaleur pour la récupération d'hydrocarbures par exemple de schistes pétrolifères, de sables bitumineux ou de diatomites. L'injection de chaleur peut également être utilisée pour éliminer de nombreux contaminants.

Il est préférable que la configuration d'élément chauffant annulaire soit choisie dans le groupe constitué d'une tôle métallique annulaire poreuse, d'une ou plusieurs plaques en métal déployé, d'un treillis de fils et de bandes, fils, barres ou filaments reliés par des écarteurs.

Dans un autre aspect de l'invention, on fournit un procédé pour chauffer une partie de la terre, le procédé comportant les étapes consistant à:

réaliser à un puits de forage dans la partie du terrain à chauffer;  
placer une configuration d'élément chauffant annulaire dans le puits de forage; et

soutenir la configuration d'élément chauffant à l'intérieur du puits de forage par un matériau électriquement isolant, sans prévoir de cuvelage métallique entre la configuration d'élément chauffant et le terrain à chauffer.

#### BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

5 La figure 1 représente un premier mode de réalisation d'un réchauffeur selon la présente invention à l'intérieur d'un puits de forage,

les figures 2A, 2B et 2C représentent des détails d'un câble électrique fixé au sommet d'un réchauffeur selon la présente invention,

10 la figure 3 représente une variante de réalisation d'un réchauffeur selon la présente invention, à l'intérieur d'un puits de forage,

la figure 4 représente une vue en coupe transversale du réchauffeur de la figure 3 à l'intérieur d'un puits de forage, et

la figure 5 représente un appareil servant à installer le réchauffeur de la présente invention.

#### 15 DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

Le réchauffeur annulaire de la présente invention présente facultativement un élément chauffant en treillis qui peut être façonné de manière à s'adapter à une paroi d'un puits de forage, pour maximiser la surface qu'offre l'élément chauffant et pour maximiser le flux de chaleur  
20 quittant le puits de forage. Une charge électriquement isolante est placée autour et à l'intérieur de l'élément chauffant, pour essentiellement éliminer les courts-circuits électriques entre l'élément et la formation. Ce matériau électriquement isolant peut-être un matériau qui est initialement mouillé, et par conséquent électriquement conducteur, jusqu'à ce qu'il soit sec. L'étape  
25 de séchage peut-être réalisée en faisant passer de l'électricité dans l'élément chauffant et dans le matériau mouillé, et la chaleur générée par l'énergie électrique réchauffera progressivement le sol et finira par vaporiser l'eau liquide initialement présente. Le sable sec restant est un isolant électrique acceptable. Facultativement, on pourrait utiliser un ciment  
30 hydraulique au lieu du sable. L'hydratation du ciment diminue la teneur en eau liquide libre, et le ciment durci peut constituer un isolant électrique acceptable. On pourrait utiliser d'autres matériaux comme matériau isolant. Des matériaux préférables sont placés aisément et peu coûteux. Un matériau idéal sera également un matériau électriquement non conducteur

ou pourra le devenir aisément. Un matériau tel que le sable pourrait être placé par des moyens pneumatiques ou sous la forme d'une boue.

Pour former le réchauffeur, on place de préférence plusieurs éléments chauffants électriques dans le puits de forage, les éléments étant reliés dans la partie inférieure du puits de forage, et différentes phases d'alimentation électrique alternative étant appliquées sur chacun des éléments. Deux ou trois éléments sont préférables.

Les éléments chauffants peuvent être en métal déployé ou être d'autres éléments métalliques poreux tels qu'un écran de fils ou un treillis de fils. Une porosité comprise entre environ quarante pourcent et environ quatre-vingts pourcent est préférable, la porosité étant définie comme le pourcentage de superficie ouverte observé à la surface de la feuille du matériau. Le fait de prévoir cette superficie ouverte augmente considérablement la superficie totale en contact avec l'élément sans réduire l'épaisseur de l'élément. Un élément plus épais permet une plus large tolérance vis-à-vis de la corrosion. L'épaisseur de l'élément est sélectionnée pour obtenir, au flux thermique visé, des besoins en tension électrique qui ne sont ni excessivement élevés ni excessivement bas. On préférera par exemple une différence de potentiel d'environ 120 à environ 960 volts de courant alternatif entre les extrémités supérieures de deux éléments placés à l'intérieur d'un puits de forage et dont les extrémités inférieures sont connectées. En général, pour des métrages assez longs (100 à 700 mètres), on préfère de 480 à 960 volts; et pour des métrages plus courts (de 2 à 200 mètres), on préfère de 120 à 480 volts. Pour permettre l'utilisation d'éléments de plus forte épaisseur, on pourrait prévoir plusieurs réchauffeurs en série, mais la mesure dans laquelle on peut le réaliser est limitée par la dépense en câbles conduisant aux éléments chauffants. On applique de préférence l'alimentation entre deux éléments chauffants symétriques, la tension du réseau étant nulle. Ainsi, la tension instantanée appliquée sur une électrode est le négatif par rapport à la masse de la tension appliquée sur l'autre élément chauffant.

Les éléments sont de préférence façonnés en forme incurvée, soit à la surface soit à l'intérieur du puits de forage, pour les adapter aux parois du puits de forage. La forme incurvée peut être donnée à la surface par une matrice par laquelle le métal est passé au moment où il est introduit dans le

puits de forage. La forme incurvée peut être donnée à l'intérieur du puits de forage en faisant passer un mandrin le long de l'élément. Le mandrin pourrait par exemple être prévu en tant que partie d'un appareil qui étale les éléments et place le matériau électriquement isolant autour des éléments et

5 entre eux. Lorsque les éléments reçoivent leur forme incurvée à la surface, on peut ajouter aux éléments des éléments de centrage et des écarteurs pour maintenir les éléments séparés à l'intérieur du puits de forage. L'utilisation du mandrin décrit plus haut est préférable, parce que cela permet d'éliminer des éléments de centrage et des écarteurs, ce qui réduit

10 le coût en matériaux. On peut prévoir des éléments en treillis plat. L'avantage de prévoir des éléments incurvés est que la chaleur peut-être transférée par pratiquement la totalité de la circonférence du puits de forage, alors qu'avec deux éléments plats, la chaleur ne pourrait être transférée que d'une superficie qui représente environ deux fois le diamètre du puits de

15 forage; en revanche, l'installation des éléments plats pourrait être plus simple que celle des éléments de forme semi-circulaire.

En général, on préfère des éléments chauffants en acier inoxydable, par exemple des qualités 304 ou 316. L'INCLOY 600 pourrait également être utilisé (INCLOY est une marque commerciale). L'acier inoxydable 316 est

20 préférable lorsque les éléments sont exposés à des saumures, à cause de la plus grande résistance de l'acier inoxydable 316 à la corrosion sous contrainte par les chlorures. Les aciers inoxydables ne sont pas excessivement coûteux et résistent suffisamment longtemps à l'exposition à des éléments qui peuvent être présents pendant la phase de démarrage qui

25 amène les éléments à des températures élevées, et présentent des taux de corrosion suffisamment bas lorsqu'ils sont exposés pendant des durées prolongées à la plupart des environnements de puits de forage à température élevée. Typiquement, à cause de leur résistance limitée à la corrosion à haute température, on n'utilise pas les aciers inoxydables

30 comme éléments chauffants, mais comme dans le réchauffeur selon la présente invention, la superficie par laquelle de la chaleur est transférée est relativement grande, la température de surface des éléments peut convenir pour des aciers inoxydables. Dans des applications où il ne faut pas produire des niveaux élevés de chaleur pendant des durées prolongées, on pourrait

35 également utiliser des aciers au carbone comme éléments chauffants.



Bien qu'un mode de réalisation préféré de la présente invention comporte l'utilisation d'acier inoxydable comme matériau d'élément chauffant, des alliages supérieurs pourraient être utiles dans certaines applications de la présente invention. Par exemple, lorsque le réchauffeur est utilisé dans un puits de forage relativement profond, le coût de réalisation du puits pourrait être beaucoup plus élevé que le coût du matériau de l'élément chauffant, et par conséquent un alliage supérieur pourrait réduire le coût total en permettant de travailler à des températures plus élevées, et donc de réduire le nombre des puits nécessaires pour une même puissance thermique totale.

En variante, les éléments chauffants pourraient être revêtus d'une surface métallique résistant à la corrosion ou d'une surface réfractaire, pour fournir une isolation électrique et une protection supplémentaires.

Des thermocouples pour le contrôle des réchauffeurs pourraient être prévus à l'intérieur du puits de forage, à l'intérieur des éléments chauffants incurvés, à l'extérieur des éléments, ou fixés aux éléments chauffants (par une connexion électriquement isolante). Le thermocouple pourrait être utilisé pour surveiller le fonctionnement, ou pour contrôler l'alimentation électrique appliquée à l'élément chauffant. Lorsque l'on utilise des thermocouples pour contrôler l'alimentation électrique, on peut prévoir plusieurs thermocouples et la température de commande pourrait être choisie à partir des thermocouples. La sélection pourrait être basée sur une température maximale, une température moyenne ou une combinaison telle qu'une moyenne des deux ou trois températures les plus élevées.

Les éléments chauffants de la présente invention peuvent être réalisés en une grande variété de longueurs, grâce à la flexibilité de la sélection de différentes combinaisons de tension électrique et de porosité des éléments chauffants. On peut utiliser des réchauffeurs courts, de deux à six mètres, ou prévoir des réchauffeurs d'une longueur de deux cents à sept cents mètres.

Un puits de forage dans lequel le réchauffeur de la présente invention est placé peut être chemisé et cimenté au moins sur une partie du puits de forage située au-dessus du réchauffeur, pour assurer l'isolation de la formation à chauffer. Dans un puits peu profond, le puits de forage peut être rempli de sable jusqu'à la surface.

Si nous référons maintenant à la figure 1, nous y voyons représenté un dessin schématique du réchauffeur annulaire de la présente invention. Un élément chauffant en treillis 1 est représenté sous la forme de deux plaques semi-circulaires en métal déployé placées dans un puits de forage 2. Une charge 3 électriquement isolante, par exemple du sable, est représentée comme disposée autour des éléments chauffants et entre ces derniers. Le puits de forage est situé dans une partie de terrain à chauffer 4, par exemple une formation pétrolifère contenant de la diatomite, des sables bitumineux ou des schistes pétrolifères. En variante, le terrain à chauffer 4 pourrait être un sol contaminé d'une opération de remédiation par désorption thermique. Des conducteurs électriques 5 s'étendent jusqu'à chacun des éléments chauffants, et les éléments chauffants sont reliés électriquement par un connecteur 6 à la partie inférieure des éléments. En variante, les éléments pourraient tous être mis à la masse à la base du puits de forage. Les conducteurs électriques traversent les morts-terrains de couverture 7 qui ne doivent pas être chauffés par les câbles gainés 8, les câbles gainés étant séparés par des écarteurs 9. Une partie de transition du puits de forage sera chauffée par les éléments chauffants, mais ne le sera pas aux températures qui sont atteintes dans la partie du puits de forage qui contient les éléments chauffants. Cette partie de transition du puits de forage est représentée comme étant chemisée par un cuvelage 10 qui peut être en un métal tel que de l'acier inoxydable, dont la durée de vie lorsqu'il est exposé à des températures élevées est suffisamment longue. L'environnement corrosif à l'intérieur de ce volume de transition peut-être plus sévère que l'environnement corrosif à proximité des réchauffeurs, parce que la température de point de rosée peut être située dans cette région. Au-dessus de la zone de transition, le cuvelage pourrait être un cuvelage 11 en acier au carbone. Dans la zone de transition et dans les morts-terrains de couverture 7 qui ne doivent pas être chauffés, le cuvelage pourrait être rempli d'une charge 12 telle que du sable ou du ciment, ou être laissé vide.

Si nous nous référons maintenant aux figures 2A, 2B et 2C, nous y voyons présentées trois vues avec découpes partielles d'un raccord pour les câbles électriques et les connexions à l'élément chauffant de la présente invention. Le sommet de l'élément chauffant 21 est relié à un câble conducteur haute température 22 par une connexion soudée 33. Une

interface étanche à l'eau entre le câble et le réchauffeur A est située à l'intérieur d'une zone de transition. Au-dessus de la zone de transition, on pourrait utiliser un câble peu coûteux, par exemple un fil de cuivre revêtu de polyéthylène. Une partie B haute température, électriquement isolée, s'étend de l'interface étanche à l'eau jusqu'à l'élément chauffant. Un raidisseur 24 fournit un soutien à la connexion électrique de l'élément chauffant. Le raidisseur est fixé au câble par un collier 25. Le collier est un collier électriquement isolant. L'interface étanche à l'eau comprend un accouplement 26 placé autour d'une connexion soudée 27, la connexion soudée fournissant une continuité entre le câble d'alimentation haute température 22 et un câble d'alimentation basse température 28. L'accouplement est fileté sur des raccords emboutis 30 qui peuvent être des raccords en laiton et qui fournissent un ajustement par friction au fourreau 31 du câble haute température et au fourreau 23 du câble basse température. Le câble 23 va de la surface jusqu'à juste au-dessus du sommet du réchauffeur et peut être un câble de cuivre à âme de cuivre gainée de cuivre avec isolation minérale. Ce type de câble est préférable, à cause de son aptitude à transporter de très grandes quantités d'énergie électrique, et parce qu'il est étanche à l'eau. Bien que le câble puisse résister à des hautes températures, il est utilisé à des températures inférieures au point d'ébullition de l'eau, à cause des taux de corrosion. Une épissure (A) étanche à l'eau termine le câble 23 à isolation minérale et forme une transition avec une électrode 22 en nickel ou en nickel plaqué de nichrome, qui est soudée en 33 à la partie supérieure du réchauffeur 21. L'électrode chaude 22 en nickel peut-être isolée par un manchon 31 en TEFLON pour empêcher la corrosion de l'électrode au nickel et fournir un joint d'étanchéité à l'eau à l'extrémité inférieure de la transition de câble 30 (TEFLON est une marque commerciale). Pendant l'installation du réchauffeur dans un puits de forage, un bras de rigidification 24 fournit un soutien à l'électrode 22 en nickel revêtue d'un manchon de TEFLON. L'épissure A étanche à l'eau peut être située à environ deux à vingt pieds au-dessus du sommet de l'élément chauffant. L'épissure étanche à l'eau est suffisamment éloignée du réchauffeur pour que l'épissure étanche à l'eau reste à une température inférieure au point d'ébullition de l'eau. Il existe un point où le conducteur à haute température revêtu de TEFLON est exposé au point d'ébullition de

l'eau, et il est aisément capable de résister à cet environnement. La partie inférieure (plus chaude) du fourreau 31 du conducteur haute température finira par fondre, en laissant exposé le conducteur haute température. Le fait de prévoir à cet endroit un revêtement en TEFLON garantit que le TEFLON s'étend jusqu'au-delà du point où la température atteint le point d'ébullition de l'eau.

Le gainage du câble haute température pourrait être un revêtement quelconque qui protège le câble haute température de la corrosion à la température du point d'ébullition de l'eau ou à des températures plus basses, et qui résiste à des températures plus élevées ou fond sans provoquer aucune corrosion à des température plus élevées. On préfère des résines résistant à la chaleur parce qu'elles protègent une plus grande longueur de conducteur haute température, ce qui pourrait être utile si le point auquel la température atteint le point d'ébullition de l'eau se déplace. Des résines haute température acceptables comprennent le polyimide, le poly(amide-imide) et le poly(éther éther cétone).

Le fourreau du conducteur haute température est séparé du conducteur haute température par une isolation minérale, par exemple en oxyde de magnésium. Pour le conducteur basse température, des conducteurs en cuivre sont acceptables et efficaces, mais pour les conducteurs haute température, on préfère le nickel ou le nickel plaqué de nickel - chrome.

En variante, pour former le réchauffeur, on place plusieurs éléments chauffants électriques allongés dans le puits de forage, les éléments étant connectés dans la partie inférieure du puits de forage, et on applique différentes phases d'une alimentation électrique alternative aux éléments. Pour fournir de la chaleur sur toute la circonférence du puits de forage, il est préférable de recourir à au moins six éléments.

Les éléments chauffants peuvent par exemple être constitués de fils d'acier inoxydable ou des fils d'alliage de nickel - chrome, ou être des éléments en fibres de carbone. Les fils sont d'un diamètre de préférence compris entre environ 0,2 et environ 0,8 mm, et de préférence d'un diamètre d'environ 0,3 mm. Des éléments plus épais fournissent de plus grandes tolérances à la corrosion, mais aux dépens de plus grands besoins en courant et d'un coût en matériaux plus élevé. L'épaisseur de l'élément est

choisie de manière à obtenir, au flux thermique visé, des besoins en tension électrique qui ne soient ni excessivement élevés ni excessivement bas. Une différence de potentiel d'environ 60 à environ 960 volts AC entre les extrémités supérieures de deux éléments dans un puits de forage, dont les

5 extrémités inférieures sont reliées, sera par exemple préférable. Pour des réchauffeurs courts (de 2 à 200 mètres), on préfère des tensions de 60 à 480 volts AC, et pour des réchauffeurs plus longs (de 100 à 700 mètres), il est préférable d'utiliser une tension de 480 à 960 volts AC. Pour permettre

10 l'utilisation d'éléments de plus forte épaisseur, on pourrait prévoir plusieurs réchauffeurs en série, mais la mesure dans laquelle cela peut être réalisé est limitée par la dépense en câbles conduisant aux éléments chauffants.

En général, on préfère des éléments chauffants en acier inoxydable, par exemple des qualités 304, 316 ou 310. Les aciers inoxydables ne sont pas excessivement coûteux, et ils résistent suffisamment longtemps à une

15 exposition à des éléments qui peuvent être présents pendant la phase de démarrage qui amène les éléments à des températures élevées, et ils présentent des taux de corrosion suffisamment bas lorsqu'ils sont exposés pendant des durées prolongées à la plupart des environnements de puits de forage à des températures élevées. On pourrait utiliser des aciers au


20 carbone comme éléments chauffants pour des applications dans lesquelles la chaleur ne doit pas être fournie pendant des durées prolongées. Pour des applications à faible profondeur, par exemple la remédiation de sols, on préfère le nichrome 80.

Des thermocouples de contrôle des réchauffeurs pourraient être

25 prévus à l'intérieur du puits de forage, à savoir à l'intérieur de l'anneau d'éléments chauffants, à l'extérieur des éléments ou fixés aux éléments chauffants. Les thermocouples pourraient par exemple être fixés à l'un des écarteurs électriquement isolants. Le thermocouple pourrait être utilisé pour surveiller le fonctionnement ou pour contrôler l'énergie électrique fournie à

30 l'élément chauffant. Lorsque l'on utilise des thermocouples pour contrôler l'énergie électrique, on pourrait prévoir plusieurs thermocouples et la température de contrôle pourrait être sélectionnée à partir des thermocouples. La sélection pourrait être basée sur une température maximale, sur une température moyenne ou sur une combinaison telle

35 qu'une moyenne des deux ou trois températures les plus élevées.



Les éléments chauffants de la présente invention peuvent être réalisés en une grande variété de longueurs, grâce à la flexibilité de sélection de différentes combinaisons de tension électrique et de diamètre pour les éléments chauffants. On peut utiliser des réchauffeurs courts, d'une  
5 longueur de deux mètres, et des réchauffeurs longs, d'une longueur pouvant aller jusqu'à 700 mètres.

Un puits de forage dans lequel le réchauffeur de la présente invention est placé peut-être chemisé et cimenté sur au moins une partie du puits de forage située au-dessus du réchauffeur, pour assurer l'isolation de la  
10 formation à chauffer. Dans un puits peu profond, le puits de forage peut être rempli jusqu'à la surface de sable ou d'une boue de bentonite. La boue de bentonite empêche la pénétration d'eau par le haut.

Si nous nous référons maintenant à la figure 3, nous y voyons représentée une vue schématique du réchauffeur de la présente invention.  
15 Des éléments chauffants 101 du (dont deux sont représentés) sont dotés de conducteurs électriques conduisant aux éléments 102 dont le diamètre est supérieur à celui des éléments chauffants, mais qui peuvent être du même matériau. Le nombre des éléments est de préférence compris entre deux et six. Les conducteurs électriques sont présentés comme s'étendant jusqu'aux  
20 éléments chauffants individuels, mais on pourrait prévoir un écarteur dans lequel un seul conducteur électrique est prévu pour chaque phase de l'énergie électrique, et l'alimentation est appliquée en parallèle ou en série sur les différents éléments chauffants. Le puits de forage dans lequel le réchauffeur est placé est de préférence d'un diamètre compris entre un  
25 environ 5 et environ 20 centimètres, et l'élément chauffant est de préférence placé entre environ un demi et environ un centimètre de la paroi du puits de forage. Les éléments sont de préférence séparés d'environ quatre à environ dix-huit centimètres. Un plus petit nombre d'éléments réduit en général le coût du réchauffeur, mais un plus grand nombre d'éléments permet  
30 d'émettre un flux de chaleur plus élevé dans la formation par le réchauffeur, tout en maintenant une température limitée des éléments chauffants. Les éléments chauffants ne sont pas isolés électriquement individuellement mais s'appuient sur les propriétés d'isolation électrique du matériau de charge électriquement isolant entourant les éléments. Un cuvelage 103 est prévu à  
35 la surface dans un but d'isolation, mais de préférence il ne s'étend pas

jusqu'au terrain à chauffer 104 mais uniquement à travers des morts-terrains de couverture 106. On a représenté les éléments chauffants comme entourés de sable ou d'un ciment hydraulique ou céramique 105. Lorsque le terrain doit être chauffé jusqu'à la surface, on pourrait prévoir un court tube pour fournir une bride stable de fixation des sommets des éléments chauffants.

On a représenté une bride 107 avec des manchons isolants 108 autour des conducteurs électriques conduisant aux éléments chauffants. Des fils 109 d'alimentation en énergie fournissent l'énergie électrique aux conducteurs électriques et sont fixés par des écrous 110.

Un écarteur électriquement isolant 111 assure la séparation entre les éléments électriques à l'intérieur du puits de forage. On a représenté un écarteur électriquement isolant, mais on peut en prévoir plus d'un, et de préférence, on en prévoit un tous les trois à dix mètres dans le puits de forage. En outre, l'écarteur électriquement isolant est représenté dans le tronçon occupé par le réchauffeur, mais on peut également en prévoir un ou plusieurs dans le tronçon d'alimentation électrique entourant les réchauffeurs. Des écarteurs électriquement isolants peuvent être réalisés en un plastique peu coûteux, et ils ne doivent pas nécessairement résister à des températures de fonctionnement élevées. Les écarteurs doivent uniquement maintenir les éléments chauffants en place pendant que le matériau de charge est placé autour des éléments. En variante, des écarteurs pourraient être réalisés en une céramique telle que l'alumine, ou en céramique usinable telle que le MACOR (MACOR est une marque commerciale).

Les extrémités inférieures des éléments chauffants peuvent être connectées à l'aide d'un connecteur électriquement conducteur 112. Le connecteur électriquement conducteur peut connecter tous les éléments ou une combinaison d'éléments, de telle sorte que chacun des éléments présente la continuité électrique nécessaire pour que le courant traverse les éléments. Le connecteur électriquement conducteur présente facultativement une cuvette 113 servant à fixer le connecteur à un tube qui permet d'abaisser les éléments, le connecteur et l'écarteur dans le fond du puits de forage. Un tubage, qui pourrait par exemple être réalisé sous la forme d'une unité de tubage bobinée, pourrait être placé à l'intérieur de la

cuvette 113, et la cuvette être maintenue sur le tubage bobiné par exemple par un raccord à friction qui pourrait être rompu par la pression exercée par le tubage bobiné, ou le tubage pourrait être maintenu sur la cuvette par la tension exercée par les éléments chauffants lorsque que le connecteur est descendu dans le puits de forage.

5 Le connecteur électriquement conducteur est représenté à la base du puits de forage, chaque élément chauffant descendant régulièrement jusqu'à la partie chauffée du puits de forage. Cependant, le nombre et/ou la puissance thermique des éléments chauffants peuvent varier sur la longueur du réchauffeur. Le diamètre des éléments chauffants peut varier sur la  
10 longueur du réchauffeur, pour ajuster l'apport de chaleur suivant un profil souhaité.

Si nous nous référons maintenant à la figure 4, nous y voyons représentée une vue vers le bas sur les écarteurs électriquement isolants.  
15 Des éléments chauffants 101 (dont six sont représentés) sont séparés par un écarteur isolant 111, la charge électriquement isolante, par exemple du sable ou du ciment 105, entourant l'écarteur et les éléments chauffants. Le terrain à chauffer 104 entoure le réchauffeur. L'écarteur électriquement isolant 111 est représenté comme étant réalisé en deux parties, avec des  
20 languettes et des rainures complémentaires, pour permettre aux écarteurs de glisser à l'intérieur des éléments chauffants et autour d'un tube lorsque l'on utilise le tube pour descendre les éléments chauffants dans le puits de forage. On peut utiliser un emballage scellé 201 pour fixer les éléments chauffants dans des entailles prévues dans l'écarteur. L'écarteur peut être  
25 fixé verticalement aux éléments chauffants par friction, au peut-être maintenu verticalement sur un ou plusieurs des éléments chauffants par des pinces (non représentées) disposées au-dessus, ou au-dessus et en dessous de l'écarteur.

Si ne nous référons maintenant à la figure 5, nous y voyons représenté un appareil qui peut être utilisé pour placer le réchauffeur du  
30 présent système dans un puits de forage. Des éléments chauffants 101 (dont deux sont représentés) sont passés sur des poulies 301, les poulies étant montées sur des consoles 302 qui sont fixées sur une bride 303. La bride 303 est montée sur le cuvelage 103 qui est équipé d'une bride complémentaire. Les éléments chauffants 101 sont déroulés de bobines  
35



(non représentées) et peuvent être maintenus sous une légère tension pour empêcher que les éléments chauffants s'emmêlent à l'intérieur du puits de forage. Un tubage bobiné 304 est représenté comme s'étendant dans le puits de forage. Le tubage bobiné peut être utilisé pour placer les éléments  
5 chauffants et les conducteurs électriques à l'intérieur du puits de forage, et être ensuite utilisé pour remplir le puits de forage de la charge électriquement isolante lorsqu'il est retiré.

Les éléments chauffants peuvent présenter une grande variété de longueurs et une grande variété de distances par rapport au fond d'un puits  
10 de forage. Par exemple, pour chauffer une formation de schiste pétrolifère, le réchauffeur peut-être de 400 mètres de long. Pour la remédiation de sols contaminés, le réchauffeur peut n'être que de deux ou trois mètres de long, bien que des éléments chauffants plus longs soient plus avantageusement fournis par la présente invention. Les réchauffeurs peuvent être prévus à  
15 une grande distance vers le fond du puits de forage. Par exemple, on peut chauffer une formation de schiste pétrolifère qui est située en dessous de 400 mètres de morts-terrains de couverture. Si la longueur du réchauffeur et des conducteurs électriques devient très importante, les éléments chauffants et/ou les conducteurs électriques peuvent devoir présenter un plus grand  
20 diamètre ou être réalisés en un matériau de résistance mécanique plus élevée, parce que ces éléments doivent être autoportants jusqu'à ce que la charge électriquement isolante soit placée autour des éléments. Pour cette raison, les éléments chauffants ne doivent pas être autoportants aux températures de fonctionnement, parce que la friction avec la charge  
25 électriquement isolante fournira un support vertical aux éléments.

## REVENDICATIONS

1. Réchauffeur de puits de forage, comportant:  
une configuration annulaire d'élément chauffant; et  
un matériau électriquement isolant entourant la configuration  
5 annulaire d'élément chauffant;  
dans lequel il n'y a pas de cuvelage autour de la configuration  
annulaire d'élément chauffant.
2. Réchauffeur selon la revendication 1, dans lequel la configuration  
annulaire d'élément chauffant est choisie dans le groupe constitué d'une tôle  
10 annulaire en métal poreux, d'une ou plusieurs plaques en métal déployé,  
d'un treillis de fils, et de bandes, de fils, de barres ou de filaments reliés par  
des écarteurs.
3. Réchauffeur selon la revendication 2, dans lequel la configuration  
annulaire d'élément chauffant comporte au moins une tôle déployée qui est  
15 arrondie pour s'adapter essentiellement à une partie d'une paroi d'un puits  
de forage.
4. Réchauffeur selon la revendication 3, dans lequel plusieurs  
éléments chauffants en tôle métallique fendu ou déployé sont prévus, et  
chaque tôle en métal fendu déployé est séparée des autres tôles en métal  
20 fendue déployé.
5. Réchauffeur selon la revendication 4, dans lequel les plusieurs  
tôles en métal déployé sont reliées électriquement à une extrémité  
inférieure.
6. Réchauffeur selon la revendication 5, comportant en outre à une  
25 extrémité supérieure une alimentation en énergie de chacune des tôles en  
métal déployé, et dans lequel chacune des alimentations en énergie est une  
phase différente d'une alimentation électrique.
7. Réchauffeur selon la revendication 1, dans lequel le matériau  
électriquement isolant comporte du sable.
- 30 8. Réchauffeur sur la revendication 1, dans lequel le matériau  
électriquement isolant comporte du ciment.
9. Réchauffeur selon la revendication 1, dans lequel plusieurs  
éléments chauffants en métal déployé sont prévus, et les plusieurs éléments  
chauffants sont connectés électriquement à différentes phases d'une  
35 alimentation électrique alternative à une extrémité d'alimentation, et

connectées électriquement à une masse commune à une extrémité de masse.

10. Réchauffeur selon la revendication 2, dans lequel le réchauffeur comporte des bandes ou barres en métal qui sont séparées par au moins un écarteur électriquement isolant maintenant une séparation entre les éléments et entre les éléments et les côtés du puits de forage.

11. Réchauffeur selon la revendication 10, comportant en outre un connecteur électriquement conducteur à l'extrémité inférieure des bandes ou barres en métal, le connecteur électriquement conducteur fournissant une continuité électrique entre les bandes ou barres.

12. Procédé en vue de chauffer une partie de terrain, le procédé comportant les étapes consistant à :

réaliser un puits de forage dans la partie de terrain à chauffer;

15 placer une configuration annulaire d'élément chauffant dans le puits de forage; et

soutenir la configuration d'élément chauffant dans le puits de forage par un matériau électriquement isolant, un cuvelage en métal n'étant pas prévu entre la configuration d'élément chauffant et le terrain à chauffer.

13. Procédé selon la revendication 12, comportant en outre l'étape consistant à amorcer un écoulement électrique à travers la configuration d'élément chauffant en faisant passer un courant électrique depuis l'élément chauffant jusqu'à la partie du terrain à chauffer, à un courant efficace pour éliminer l'eau liquide du matériau électriquement isolant; et à augmenter la tension électrique appliquée sur la configuration d'élément chauffant lorsqu'une résistance à travers la configuration d'élément chauffant électrique augmente.

14. Procédé selon la revendication 12, dans lequel plusieurs éléments chauffants sont prévus; les éléments chauffants étant tous connectés électriquement à une extrémité inférieure des éléments chauffants; et différentes phases d'une alimentation électrique étant appliquées sur les éléments chauffants à une extrémité supérieure des éléments chauffants.

15. Procédé selon la revendication 14, dans lequel les éléments chauffants sont choisis dans le groupe constitué d'un fil en acier inoxydable, d'un fil en alliage de nickel-chrome et d'un filament de carbone.

α,