

①⑫

# DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

②① Numéro de dépôt: 82401680.2

⑤① Int. Cl.<sup>3</sup>: **E 21 B 43/30, E 21 B 43/243**

②② Date de dépôt: 16.09.82

③⑩ Priorité: 18.09.81 CA 386166

⑦① Demandeur: **CANADIAN LIQUID AIR LTD AIR LIQUIDE CANADA LTEE**, 1155, Sherbrooke Street, West, Montreal Quebec, H3A 1H8 (CA)

④③ Date de publication de la demande: 30.03.83  
Bulletin 83/13

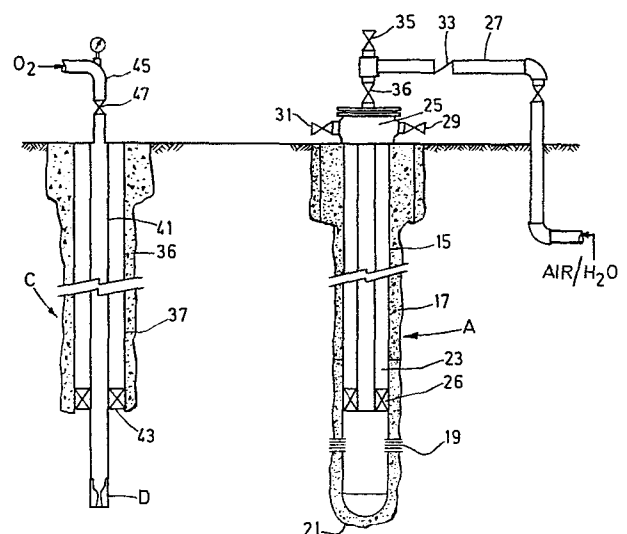
⑦② Inventeur: **Savard, Guy**, 539, avenue Grosvenor, Westmount Quebec (CA)  
Inventeur: **Gum Hong Lee, Robert**, 3464, avenue du Musée, Montreal Quebec (CA)

⑧④ Etats contractants désignés: **AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE**

⑦④ Mandataire: **Bouton Neuvy, Liliane et al**, L'Air liquide, Société Anonyme pour L'Etude et L'Exploitation des Procédés Georges Claude 75, Quai d'Orsay, F-75321 Paris Cedex 07 (FR)

⑤④ Procédé et installation de récupération du pétrole par combustion in situ.

⑤⑦ On place un conduit (41) de fluide dans une zone de traitement entre les puits d'injection (A) et les puits de production (B), et on le fait traverser par un fluide de régulation, par exemple l'oxygène, pour modifier le front de flamme, de l'eau pouvant être injectée dans le puits d'injection en alternance avec l'oxygène pour poursuivre la combustion par voie humide.



L'invention concerne la récupération du pétrole par combustion in situ à partir de gisements se trouvant dans des formations sédimentaires souterraines.

Des procédés de récupération du pétrole par combustion in situ à partir de formations souterraines sont décrits dans les textes publiés suivants : "The Petroleum Reservoir", cours de formation accréditée de Selley, Anstey et Donohue, International Human Resources Development Corporation, Boston, Mass, 1981 ; le manuel "Enhanced Recovery of Residual and Heavy Oils", 2ème édition, sous la direction de M.M. Schumacher, édité par Noyes Data Corporation, Parkridge, New Jersey, Etats-Unis, 1980 ; "Heavy Oil Recovery by In Situ Combustion" par le Dr Phillip D. White, Tejas Petroleum Engineers Inc., Dallas, Texas, communication présentée par la S.P.E., Section Dallas, séminaire de formation continue, printemps 1980 ; "Twenty Years Operation of an In Situ Combustion Project", par Jenkins et Kirkpatrick, Petroleum Society of C.I.M., 1978 ; et un article intitulé "In Situ Combustion Process - Results of a Five-Well Field Experiment, Southern Oklahoma", par Moss, White et McNeil, Magnolia Petroleum Company, Dallas, Society of Petroleum Engineers of AIME, présenté lors de la 33ème Réunion Annuelle d'Automne de la Société, Houston, du 5 au 8 octobre 1958.

L'article de White indique qu'en 1979, les procédés de combustion in situ ne représentaient encore qu'un faible pourcentage de la totalité de la production du pétrole par les méthodes thermiques. Il en conclut que l'un des éléments dissuasifs réside en ce que les procédés par combustion exigent un effort technique beaucoup plus intense que les autres procédés. En effet, ces procédés nécessitent des équipements bien conçus destinés à la régulation des puits, à une collecte rapide et précise des données, à une analyse rapide des données et, également, des opérateurs sur le terrain parfaitement formés. L'article indique que ces améliorations ne pourront être apportées que si ce type de procédé est très largement répandu.

La régulation du procédé est essentielle et complexe. Pour suivre l'avance du front de combustion et pour prévoir les problèmes d'exploitation, il faut obtenir des données de base et les analyser, en particulier la vitesse de l'air et sa pression, le taux d'injection de l'eau, la vitesse d'évacuation des gaz dans les différents puits, les pressions de cuvelage sur les puits de production, l'analyse du gaz, le taux de production de l'huile et de l'eau, les mesu-

res de la température. Parmi les autres données, dont on a besoin plus rarement, mais d'une manière régulière, il faut citer la densité et la viscosité du pétrole sortant de chaque puits, le dosage du chlore dans l'eau, le pH de l'eau, la chute de pression des injecteurs. Le premier groupe de données permet de faire des calculs sur le mouvement du front, l'efficacité de la combustion et l'utilisation de l'oxygène. Le deuxième ensemble de données permet d'apporter des corrections aux données calculées et de se préparer à l'arrivée du front thermique dans un puits de production.

10           Compte tenu de ce qui précède, l'invention a pour objet un procédé amélioré de récupération de pétrole par combustion in situ à partir de formations souterraines.

          Selon le procédé de l'invention, la combustion in situ est régulée par la mise en place stratégique d'un ou plusieurs conduits de fluide, partant de la surface et traversant les morts-terrains pour arriver à la zone de traitement, en un point situé à une certaine distance du puits d'injection, le fluide de régulation étant introduit dans le gisement par l'intermédiaire dudit conduit, indépendamment du fluide injecté dans le puits d'injection. Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le fluide de régulation introduit est de l'oxygène, servant de gaz auxiliaire de combustion et remplaçant l'injection d'un gaz entretenant la combustion tel que l'air dans le puits d'injection. Dans ce cas, le conduit de fluide se trouve à proximité du puits d'injection, mais il en est séparé par une faible distance, de façon à permettre la mise en place, à la surface, d'un équipement de régulation distinct. Dans le cas d'un procédé de combustion par voie humide, on peut introduire alternativement l'oxygène et l'eau, l'oxygène étant envoyé par le conduit de fluide et l'eau par le puits d'injection.

30           Selon un autre mode de réalisation, quand, lors de la surveillance du front de flamme propagé par l'air provenant du puits d'injection, on détecte une zone froide dans laquelle le front de flamme se déplace par exemple trop lentement pour s'immiscer dans la géométrie de la disposition d'implantation de puits et pour l'efficacité du balayage, on place un conduit de fluide de régulation dans cette zone, et on introduit de l'oxygène pour accélérer le front de flamme et améliorer le balayage. Ou bien encore, si lors de la surveillance, on voit que le front de flamme avance trop rapidement dans une certaine zone, on peut introduire un conduit de régulation dans

cette zone et introduire des fluides appropriés pour ralentir le front de flamme et améliorer le balayage.

L'invention est de préférence utilisée avec un modèle classique de combustion in situ, de préférence une disposition d'implantation de puits du type à mailles à plusieurs puits, dans lequel on introduit de l'air et de l'eau dans un puits d'injection, qui part de la surface et traverse les morts-terrains pour arriver dans le gisement de pétrole, dans une zone d'injection, dans des conditions conduisant à la combustion d'une partie du pétrole et à l'écoulement d'une partie du pétrole à travers une zone de traitement vers au moins un puits de production, disposé à une certaine distance du puits d'injection. Selon l'invention, on place d'une manière stratégique un conduit d'introduction d'oxygène, s'étendant de la surface et traversant les morts-terrains jusqu'au gisement de pétrole, dans la zone de traitement. Selon un mode de réalisation de l'invention, le conduit d'oxygène est placé à proximité du puits d'injection, mais à une distance suffisante pour que l'équipement de régulation de l'oxygène à la surface soit distinct de l'équipement de régulation relativement complexe se trouvant à la tête du puits d'injection. Par exemple, dans une disposition d'implantation de puits du type à mailles hexagonales à plusieurs puits, dans laquelle le puits d'injection est situé à environ 122 m de plusieurs, par exemple six puits de production, le conduit d'oxygène séparé peut se trouver à environ 3 à 4,6 m du puits d'injection.

Dans ce mode de réalisation, l'air et l'eau, dans un cycle de traitement représentatif, sont introduits alternativement dans le puits d'injection pour faire avancer le front de flamme jusqu'à un certain point. On arrête alors l'injection d'air, puis on utilise le puits d'injection pour introduire essentiellement uniquement de l'eau. On remplace l'air par de l'oxygène, qui est introduit dans le gisement par le conduit d'oxygène pour continuer l'avance du front de flamme.

L'invention concerne aussi un mode de récupération du pétrole à partir d'une formation sédimentaire souterraine par le procédé de combustion par voie humide, mode selon lequel on a un puits d'injection, équipé pour introduire de l'air, ou de l'eau, ou les deux, dans des conditions assurant la combustion d'une partie du pétrole par l'air, et un certain nombre de puits de production, disposés à une certaine distance du puits d'injection, vers lesquels on fait s'écouler le pétrole à travers une zone de traitement. Un conduit d'oxygène

séparé part de la surface, traverse les morts-terrains et arrive dans la zone de traitement de la formation, en un point situé à une certaine distance, relativement faible, du puits d'injection. Le puits d'injection est équipé d'un appareillage de régulation classique, relativement complexe, de l'air et de l'eau. Le fait que le conduit d'oxygène soit séparé simplifie considérablement le système de régulation à la surface tant pour le puits d'injection d'air que pour le conduit d'oxygène.

L'invention sera mieux comprise au vu de la description qui suit et des dessins annexés, qui représentent des exemples de réalisation de l'invention, dessins dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma, en vue de dessus, illustrant une disposition d'implantation de trois mailles de puits, équipés selon l'invention ;
- la figure 2 est une coupe verticale schématique d'une formation souterraine sédimentaire, à grande échelle ;
- la figure 3 est un diagramme schématique montrant une courbe représentative de la répartition des températures dans une formation qui a subi un procédé classique de combustion in situ, à l'échelle de la figure 2 ;
- la figure 4 est une coupe verticale schématique, partiellement en élévation, d'une formation dans laquelle est placée une installation de combustion par voie humide équipée selon l'invention ;
- la figure 5 est une coupe verticale d'un injecteur de sécurité selon l'invention.

La figure 1 représente une disposition d'implantation de puits "à trois mailles", comprenant trois puits d'injection  $A$ ,  $A_1$  et  $A_2$ . Une série de puits de production  $B$  sont placés par exemple d'une manière symétrique par rapport au puits d'injection  $A$ , à une certaine distance de ce dernier. On injecte de l'air à travers le puits d'injection  $A$  dans la formation souterraine dans une zone d'injection, pour permettre la combustion du pétrole. Les puits de production  $B$  se trouvant dans les zones de production sont équipés de moyens de pompage de sorte que, quand la combustion commence au voisinage du puits d'injection  $A$ , les fluides, qui comprennent des produits de combustion, de l'eau, de la vapeur et du pétrole, sont entraînés de la zone d'injection au voisinage du puits  $A$ , à travers une zone de traitement, pour arriver à une zone de production au puits  $B$ . Un front de flamme est produit dans la zone de traitement entre la zone d'injection et la

zone de production.

Selon un mode représentatif d'une combustion classique par voie humide, on effectue un cycle selon lequel on introduit de l'air pendant deux jours, puis de l'eau pendant un jour, et l'on ré-  
5 pète ce cycle d'une manière continue pendant plusieurs mois ou plusieurs années. Par exemple, le puits d'injection A est situé au centre de la maille et les puits de production B se trouvent aux coins de l'hexagone, à une distance d'environ 122m. La formation pétroli-  
fère peut se trouver à de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de  
10 mètres de la surface, par exemple à 610 m. L'épaisseur de la formation peut aller d'un minimum de 0,3 m à plus de 30 m. Par exemple, la plus grande partie du pétrole que l'on rencontre dans la zone de  
Lloydminster se présente dans des formations d'épaisseur d'environ  
6 m. L'exploitation peut se continuer pendant plusieurs mois avant  
15 que ne commence la récupération, dans les puits de production, du pétrole provenant de la combustion in situ.

Selon l'invention, un conduit d'oxygène C part de la surface, traverse les morts-terrains et arrive dans le gisement de pétrole, dans la zone de traitement, à une certaine distance, relativement  
20 faible, du puits d'injection A. Par exemple, dans la disposition d'implantation représentée, le conduit d'oxygène C peut être à 4,6 m du puits d'injection.

Bien que cette distance ne soit pas critique, il n'en reste pas moins qu'il est souhaitable que le conduit d'oxygène se trouve  
25 à une certaine distance du puits d'injection de façon à permettre de réaliser d'une manière indépendante l'exploitation de l'un et de l'autre. Dans tous les cas, un fluide doit s'écouler en permanence à travers le conduit d'oxygène et à travers le puits d'injection.

Selon l'invention, une fois que le front de flamme a avancé  
30 dans la zone de traitement, jusqu'au point souhaité, on arrête l'injection d'air et d'eau dans le puits d'injection A et on introduit de l'oxygène dans le conduit d'oxygène, en alternance avec l'injection d'eau dans le puits d'injection.

Dans une opération caractéristique de démarrage, on met en  
35 marche les pompes du puits de production et on extrait une certaine quantité de pétrole avant la combustion in situ. On peut ensuite allumer la flamme, par exemple en descendant un brûleur à gaz dans le puits d'injection, en envoyant de l'air ou du gaz naturel pour favoriser la combustion. Le brûleur peut ou bien rester en place, ou bien

être récupéré, selon les circonstances.

La figure 2 est une vue théorique de ce qui se passe lors d'une combustion in situ par voie humide. Cette figure est une coupe verticale d'une formation souterraine sédimentaire contenant du pétrole, également dénommée gisement de pétrole, qui a subi une combustion par voie humide. La formation se compose d'une zone d'injection entourant le puits d'injection A, destiné à introduire de l'air pour entretenir la combustion du pétrole dans le gisement et de l'eau pour modifier le transfert de chaleur selon la méthode de combustion par voie humide, et d'une zone de production entourant le puits de production B, destiné à extraire les fluides poussés en avant par le front de flamme. Entre ces deux zones se trouve une zone de traitement, et les différentes matières composant cette zone, à un stade particulier de l'exploitation, sont indiquées par des légendes sur la figure. Selon l'invention, un tube d'injection de gaz C est placé d'une manière stratégique dans la zone de traitement pour introduire l'oxygène destiné à favoriser la combustion ou réguler l'avance du front de flamme, comme on va le décrire en détail ci-après. Par exemple, dès que le front de flamme est arrivé en un certain point, (voir figure 2), on peut placer un conduit d'oxygène, de façon à ce qu'il pénètre dans la région brûlée, puis introduire de l'oxygène pour favoriser la combustion, oxygène qui remplacera l'air injecté dans le puits A. Dans le cas d'une combustion par voie humide, on peut alterner l'introduction d'oxygène dans le conduit d'oxygène et l'introduction d'eau dans le puits d'injection. Une méthode représentative pourrait comprendre deux jours d'injection d'oxygène et un jour d'injection d'eau, pendant toute la période de traitement, qui peut durer jusqu'à plusieurs années.

Dans la disposition d'implantation du type comportant trois mailles à sept puits représentée à la figure 1, le puits d'injection A est à environ 125 m (a) du puits de production B. La zone de traitement, entre le puits A et les puits B, couvre environ 4 hectares. L'épaisseur de la formation sédimentaire est comprise entre 0,3 et 30m, et elle peut être à une profondeur d'environ 610 m, en étant recouverte par des morts-terrains dans lesquels il peut y avoir des formations pétrolifères sédimentaires supplémentaires séparées par de la roche. Le conduit d'oxygène C doit être placé à environ 3,0 à 4,6 m du puits d'injection.

La figure 4 représente une installation selon l'invention,

en coupe verticale, dans une formation souterraine. Sur cette figure, le repère A désigne un puits d'injection d'air-eau. Le puits est formé d'un puits de forage, garni d'un cuvelage en acier 15, qui part de la surface, descend à travers les morts-terrains et arrive dans la formation sédimentaire souterraine dans laquelle se trouve le gisement de pétrole. Le trou de forage, à l'extérieur du cuvelage 15, est rempli d'une manière appropriée de matériaux de remplissage standards qui forment une enveloppe 17 doublant intérieurement le trou de forage. L'enveloppe 17 est garnie de perforations 19 pour permettre aux fluides de sortir du trou de forage. Le cuvelage 15 est garni d'un sabot de cuvelage 21. Un tube garni 23 part d'une tête de puits 25, située à la surface, pour arriver à un "packer" récupérable 26, dont l'extrémité inférieure est centrée dans l'enveloppe 17. Une conduite d'air et d'eau 27 part d'une unité d'injection, et peut envoyer à la tête de puits 25 de l'air ou de l'eau sous pression. Des robinets-vannes 29 et 31 sont prévus, de même que des clapets de retenue 33 et des vannes à passage intégral 35 et 36 pour réguler l'écoulement d'air ou d'eau vers le tube 23. Les appareils placés au-dessus du puits A sont fréquemment appelés "arbre de Noël".

A une certaine distance du puits d'injection A, est placé un conduit d'oxygène C, formé d'un trou de forage logeant un cuvelage en acier 37 et une enveloppe en béton 36 remplissant l'espace entre le trou de forage et le cuvelage. Un tube d'oxygène 41, qui se prolonge au-delà du cuvelage 37 et traverse un "packer" récupérable 43 pour ressortir par le bas, s'étend dans le trou de forage. Le tube d'oxygène part de la surface, traverse les morts-terrains et pénètre dans la formation sédimentaire souterraine, dans la zone de traitement se trouvant entre le puits d'injection A et les puits de production B. Une conduite d'alimentation en oxygène 45 part d'une source d'oxygène sous pression, traverse une vanne à passage intégral 47 et arrive au tube d'oxygène 41. Comme, seul de l'oxygène est introduit dans le conduit C, le tube 41 n'a pas besoin d'être réalisé en un acier inoxydable onéreux tel que celui qui est nécessaire pour le puits d'injection A où la présence d'eau provoque une corrosion. De plus, on n'a besoin que d'un équipement de régulation de l'oxygène relativement simple.

L'extrémité inférieure du tube d'oxygène possède un injecteur de sécurité D, qui est décrit en détail ci-après.

La figure 5 est une coupe verticale partielle agrandie du



fond du conduit d'oxygène. L'extrémité du tube 41 porte un filetage extérieur destiné à recevoir un organe connecteur 51 cylindrique sur toute sa longueur. L'organe 51 possède un alésage intérieur, lequel possède une partie cylindrique 53, élargie et taraudée, engrénant  
5 avec l'extrémité du tuyau 41. L'alésage se rétrécit en une partie tronconique 54 pour arriver à une gorge 55, qui définit l'entrée d'un passage cylindrique central étranglé 57. L'extrémité inférieure de l'élément 51 possède un évidement annulaire 58, qui reçoit l'extrémité d'un tuyau 59 en alliage de nickel. Le tuyau 59 et l'organe connecteur 51 sont soudés l'un à l'autre en 61.  
10

Un élément de bout 63 est monté à l'extrémité inférieure du tuyau 59. L'élément 63 possède un corps cylindrique sur toute sa longueur, avec un évidement annulaire supérieur 60 recevant l'extrémité du tuyau 59. L'élément 63 et le tuyau 59 sont soudés l'un à l'autre en 65. Le corps de l'élément 63 possède un passage central, lequel possède une partie tronconique supérieure 67 se rétrécissant jusqu'à une courte gorge cylindrique 69, puis s'élargissant en une partie tronconique 71 se terminant par une partie tronconique plus courte et plus large 73. Les pièces 51 et 63 sont en un alliage de nickel non  
15  
20 fissurable.

Les dimensions du conduit d'oxygène dépendent pour une grande part de la force nécessaire à la traction du "packer". Le diamètre le plus petit serait d'environ 51 mm, le plus grand de 254 mm, 178 mm correspondant à un diamètre intermédiaire pratique. Ce diamètre  
25 doit être suffisant pour permettre d'introduire du ciment. En ce qui concerne l'introduction de l'oxygène, il suffit d'un tube d'un diamètre de 51 mm. Le diamètre maximum correspond à un conduit qui peut faire partie du puits proprement dit et être quand même cimenté. Pour favoriser la combustion, la pression est généralement la même que  
30 celle de l'air, et elle est comprise entre 28 et 70 kg/cm<sup>2</sup>. Une méthode de calcul empirique permet de calculer la pression, qui sera d'environ une demi-livre pour 30 cm de profondeur. La pression spécifique dépend à la fois de la profondeur et de la porosité de la formation. Les trous de forage peuvent avoir un diamètre quelconque. Il est prévu  
35 un piston plongeur pour chasser le ciment. Une unité se trouvant à la surface fournit de l'oxygène à basse pression à raison d'au moins 18 tonnes par jour, et le comprime à une pression de 28 à 70 kgs/cm<sup>2</sup>. Le conduit d'oxygène doit être équipé de façon à permettre le remplacement rapide de l'oxygène par d'autres fluides.

Pour des raisons de sécurité, au moins une partie du passage, à travers lequel le gaz contenant l'oxygène est introduit, doit être étranglée de façon à avoir un diamètre tel que la vitesse du gaz soit supérieure à la vitesse maximum de la flamme susceptible de se produire. C'est ce que l'on obtient en utilisant un injecteur tel que celui décrit sur la figure 5. Cet injecteur possède des gorges étranglées, disposées en série, suivies d'un orifice de sortie de diamètre croissant destiné à permettre la détente du gaz dans le but de diminuer sa vitesse et réduire au maximum l'effet de sablage à l'intérieur du cuvelage.

L'injecteur de sécurité tel que représenté est utilisable, non seulement pour l'oxygène, mais aussi pour l'oxygène mélangé à un autre fluide présentant des propriétés souhaitables pour la combustion in situ d'un gisement d'hydrocarbures, par exemple  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  air,  $\text{H}_2\text{O}$ , etc...

Le tube en aval du "packer" doit résister à la fissuration au contact de l'oxygène, à la chaleur, à la corrosion et à l'érosion. Outre cela, le tube doit présenter une sécurité maximum. Dans une formation d'hydrocarbures, par exemple, il peut se produire des perturbations et y avoir des suintements de combustibles à l'intérieur et autour du tube d'injection.

Un hydrocarbure peut brûler en présence d'air en donnant une flamme ayant une certaine vitesse. Si ce même hydrocarbure brûle avec de l'oxygène, sa vitesse de propagation de flamme peut être beaucoup plus élevée. Par exemple, le mélange méthane-air donne une vitesse maximum de propagation de flamme de 0,46 m/s, tandis que la flamme méthane-oxygène présente une vitesse maximum de propagation de 4,57 m/s. Le mélange hydrogène-air présente une vitesse maximum de propagation de flamme de 3 m/s, tandis que la flamme hydrogène-oxygène présente une vitesse maximum de propagation de flamme de 14 m/s. Comme, parmi les différentes espèces possibles que l'on peut rencontrer dans une formation d'hydrocarbures lors d'une combustion in situ, c'est le mélange hydrogène-oxygène qui donne une flamme ayant la vitesse de propagation maximum la plus élevée, il est impératif, du point de vue de la sécurité, de prendre ses précautions contre la vitesse de propagation de cette flamme.

Un autre facteur qu'il convient de prendre en considération est l'effet de la pression sur la vitesse de propagation de la flamme. Par exemple, la vitesse de propagation de la flamme  $\text{H}_2\text{-O}_2$  est d'envi-

ron 19,81 m/s sous une pression de  $21 \text{ kg/cm}^2$ , d'environ 28,35 m/s sous une pression de  $63 \text{ kg/cm}^2$ , et de 30,48 m/s sous une pression de  $105 \text{ kg/cm}^2$ .

Lors de la conception des tubes d'injection au fond du forage, il faut en outre pendre en compte la résistance mécanique. Pour obtenir la résistance mécanique voulue, le diamètre intérieur du tube est généralement trop grand, de façon à permettre au gaz oxydant de s'écouler à une vitesse suffisamment élevée pour éviter un retour de flamme dans le tube. Dans ce cas, on peut installer une buse à la sortie du tube, pour accélérer le gaz oxydant jusqu'à une vitesse supérieure à la vitesse maximum de propagation de la flamme, pour éviter un retour de flamme dans le tube. Pour avoir une sécurité supplémentaire, on peut placer une ou plusieurs autres buses en amont de la buse de sortie, pour résister à tout retour de flamme.

Si le débit du gaz oxydant à travers le tube (qui présente une résistance mécanique suffisante) est suffisamment élevé pour que la vitesse du gaz soit plus grande que la vitesse maximum prévue de propagation de la flamme susceptible de se trouver au niveau du puits d'injection, il n'est pas nécessaire de faire appel à des buses accélérant le gaz oxydant.

Ces buses peuvent se présenter sous la forme d'un alésage droit, ou bien elles peuvent être d'un type à venturi, tel que celui représenté sur la figure 5, destiné à éviter les fissurations au contact de l'oxygène qui diminueraient la résistance mécanique, et à empêcher tout retour de flamme dans le tube.

De préférence, on choisira par exemple le monel, pour sa résistance à la combustion au contact de l'oxygène gazeux. De plus, il est relativement résistant à la corrosion. On utilise un tube de diamètre de 50,8mm, nomenclature 80 (c'est-à-dire un tube ayant un diamètre externe de 60,31 mm et un diamètre interne de 49,21 mm, l'espacement de ses parois étant de 5,5 mm), pour sa résistance mécanique, car il présente une longueur libre de 550m.

Pour éviter un retour de flamme, on place une buse à venturi au fond, à l'orifice de sortie de l'injecteur. A titre de sécurité complémentaire, on place une autre buse en amont.

L'injecteur est conçu par exemple pour un débit d'oxygène de  $84.950 \text{ m}^3/\text{jour}$  sous une pression de  $31,5 \text{ kg/cm}^2$  à la température ambiante. Pour être certain que l'on évitera le retour de flamme grâce à l'une ou l'autre des deux buses, la gorge de la buse à venturi

présente un diamètre d'environ 11,4 mm, ce qui permet au gaz oxydant d'avoir une vitesse de 30,5 m/s, vitesse qui est plus élevée que toute vitesse de propagation de flamme que l'on peut rencontrer au fond d'un puits d'injection ou d'un conduit d'oxygène.

5 L'orifice ou les orifices de sortie de l'injecteur peuvent se présenter sous la forme d'un ou plusieurs trous. Chaque trou doit être dimensionné de façon à donner au gaz oxydant injecté une vitesse supérieure à la vitesse maximum de propagation de flamme que l'on peut rencontrer.

10 L'injecteur au fond du trou ne peut être utilisé que pour le gaz oxydant ou un mélange de gaz, ou bien il peut être utilisé en alternance avec une injection d'eau, de manière intermittente. Par exemple, il peut être utilisé pour le gaz oxydant et le mélange de gaz avec les autres fluides injectés (par exemple  $H_2O$  et / ou air), injectés dans la formation par un autre puits d'injection. Dans ce cas, 15 l'eau, l'air ou les autres fluides n'ont pas besoin d'être exempts d'hydrocarbures (par exemple de pétrole). Par ailleurs, si tous les fluides destinés au puits d'injection doivent être injectés dans la formation en n'utilisant que ce seul injecteur, tous les fluides devront être exempts de pétrole, en particulier quand le gaz oxydant 20 est l'oxygène.

L'invention est caractérisée par l'introduction, définie d'une manière stratégique, de l'oxygène en remplacement de l'air en tant que gaz favorisant la combustion ; par oxygène, on entend ici un 25 oxygène ayant une concentration en volume de 90 % (dans les conditions normales), ou plus, et de préférence une concentration d'au moins 99,5 %.

Le fait d'utiliser un conduit d'oxygène séparé permet, par rapport à un puits d'injection équipé pour injecter de l'air et de 30 l'eau, d'introduire d'une manière sélective l'oxygène sans faire appel aux dépenses très élevées, du point de vue technique et matériel, d'un puits d'injection équipé pour l'injection d'oxygène. Par exemple, du fait de la présence d'éléments et de composés corrosifs dans l'eau, qui, en présence d'oxygène, ont tendance à accélérer l'action de la 35 corrosion, il est nécessaire d'utiliser dans un puits d'injection des matériaux donnant une protection suffisante contre la corrosion. Ces matériaux peuvent être par exemple des aciers inoxydables, de l'inconel, du monel, de l'haystellite, etc. De plus, la présence de pétrole dans l'air éjecté, provoquée par la lubrification du compresseur d'air,

peut, en présence d'oxygène, créer un risque d'explosion. Pour résoudre ce problème, il faut faire appel à des filtres à huiles spéciaux. L'installation nécessaire, pour des raisons de sécurité, à la régulation des débits de l'air et/ou de l'oxygène exige une installation  
5 complexe en surface.

Si l'on utilise un conduit séparé pour l'injection de l'oxygène, on évite ces problèmes. L'eau ne s'écoule pas à travers le conduit d'oxygène, de sorte que ce dernier est entièrement sec et il n'est pas nécessaire d'utiliser des matériaux anti-corrosion. On peut  
10 donc utiliser des tubes en acier moins cher. Compte tenu du coût relativement plus faible de ce conduit d'oxygène, on peut en utiliser plusieurs en des points successifs au fur et à mesure de l'avance du front de flamme. Il peut aussi être souhaitable, dans certaines conditions, d'utiliser de l'oxygène avec différentes concentrations d'air,  
15 d'azote ou de dioxyde de carbone ou d'autre gaz en un ou plusieurs points de la disposition d'implantation de puits de façon à produire des effets spéciaux tels que décrits dans la présente invention.

Le rendement théorique de balayage que l'on peut obtenir avec de l'oxygène est d'environ 45 à 50 %, ce qui est considérablement  
20 plus faible que quand on utilise de l'air. En effet, il y a moins de ballast d'azote et une pression partielle de  $\text{CO}_2$  plus élevée dans l'oxygène combiné au coke. Il y a plus de  $\text{CO}_2$  dans le pétrole, ce qui diminue sa viscosité, augmente le débit de production et diminue l'entraînement d'azote dans le puits de production. Il est difficile de  
25 dissoudre l'émulsion qui se forme au niveau du puits de production quand on utilise de l'air en tant que gaz favorisant la combustion. Quand on utilise l'oxygène, l'émulsion formée est plus facile à dissoudre. Le produit sortant du puits de production, quand on utilise l'air, contient du pétrole et du sable, de l'eau, du gaz, du  $\text{CO}_2$  et de l'azote,  
30 te, un peu de méthane, un peu d'hydrogène et un peu de soufre. Quand on utilise de l'oxygène, il y a très peu d'azote, plus de  $\text{CO}_2$ , moins de sable, d'eau et de méthane. Le débit critique d'air serait d'environ  $5.660 \text{ m}^3$  par puits et par jour. Avec ce même débit critique, on a cinq fois plus d'oxygène, un débit de production plus élevé, un entraî-  
35 nement plus faible et on récupère un tiers de plus de pétrole.

Les différents avantages qu'il y a à utiliser l'oxygène, par rapport à l'air, dans une combustion in situ, ont été décrits dans le brevet canadien N° 770.434, Moore du 31 octobre 1967, et dans le brevet des États-Unis d'Amérique N° 3.208.519, Moore du 28 septembre

1965. Ces brevets décrivent les avantages qu'il y a à utiliser de l'oxygène ou un gaz contenant jusqu'à 80 % d'oxygène libre. Cependant, le procédé de l'invention ne doit pas être confondu avec ceux décrits dans les brevets de Moore, qui utilisent un puits d'injection, à la fois pour l'oxygène et pour l'eau. Au contraire, selon  
5 l'invention, on effectue l'introduction de l'oxygène dans un conduit simple séparé dans lequel l'oxygène peut être envoyé par l'intermédiaire d'un train de tiges de faible coût, par exemple en acier doux au carbone. Le tube doit simplement présenter une résistance mécanique  
10 suffisante pour résister aux forces appliquées lors de son installation, et son orifice de sortie doit être convenablement façonné de façon à résister aux températures auxquelles il risque d'être exposé. Quand, par exemple, le conduit est installé en avant du front de flamme, le tube peut être protégé par une enveloppe d'eau ou un  
15 ciment épais. Il doit toujours y avoir un écoulement de fluide à travers le tube, de la même façon que dans le puits d'injection, pour éviter tout reflux dans le conduit. L'extrême souplesse d'utilisation d'un conduit de ce type pour l'injection d'oxygène ressort clairement de la description ci-dessus.

20 Il existe un certain nombre de brevets décrivant des variantes du procédé de combustion in situ, comportant l'injection d'autres substances en même temps que l'air et/ou l'eau, et il n'est pas jugé nécessaire de les étudier en détail, car elles sont connues dans la technique et n'affectent en rien la réalisation générale du  
25 procédé selon l'invention. En outre, il est bien entendu que la représentation de l'implantation des puits est simplifiée. On a représenté une disposition d'implantation de puits à trois mailles, mais il peut y avoir un nombre quelconque de mailles dans le plan d'implantation d'un champ. En outre, on n'a pas représenté les puits d'obser-  
30 vations, qui sont souvent utilisés pour étudier la nature des formations sédimentaires souterraines. Il est bien entendu que les différents moyens utilisés dans ce but et pour surveiller l'avance du front de flamme peuvent être utilisés en combinaison avec l'invention.

L'utilisation d'un ou plusieurs conduits d'oxygène séparés  
35 permet aussi une grande souplesse pour l'injection de l'oxygène dans la formation, non seulement au-dessus de la zone de traitement, mais aussi à différents niveaux. Par exemple, des conduits peuvent aller jusqu'à des niveaux en dessous desquels l'eau est injectée dans le puits d'injection dans le cas d'une combustion par voie humide. Par

exemple, l'oxygène peut être introduit au voisinage du fond du gisement de pétrole ou en des points intermédiaires. Quand l'eau a tendance à s'écouler vers le bas et l'oxygène vers le haut, une disposition de ce genre peut améliorer les interactions entre l'oxygène  
5 introduit et l'eau injectée en ce qui concerne la propagation et la régulation du front de flamme. Avec un simple conduit, le niveau de l'orifice de sortie peut être plus facilement ajusté qu'avec un puits d'injection.

Les critères concernant les quantités relatives d'oxygène  
10 et d'eau qu'il faut injecter aux différents stades de la combustion in situ et dans les différents états produits par cette dernière ont déjà été établis. D'une manière générale, le rapport entre l'eau et l'oxygène libre doit être inférieur à celui auquel la combustion s'éteindrait. Simultanément, il faut injecter suffisamment d'eau dans  
15 le puits d'injection pour maintenir la perméabilité à l'eau de la partie chauffée du gisement en arrière du front de flamme et pour réduire la température à l'intérieur de cette partie chauffée. Les quantités précises, pour un traitement donné, dépendent de différents facteurs, comme cela est étudié dans l'état actuel de la technique.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de récupération de pétrole par combustion in situ à partir d'une formation sédimentaire constituant un gisement de pétrole, selon lequel on introduit de l'air dans un puits d'injection s'étendant de la surface et traversant les morts-terrains jusqu'à l'intérieur du gisement de pétrole, dans une zone d'injection, de façon à brûler une partie du pétrole et à faire en sorte que les fluides, dont le pétrole, s'écoulent à travers une zone de traitement vers au moins un puits de production disposé à une certaine distance du puits d'injection, caractérisé en ce que l'on introduit de l'oxygène dans un conduit séparé partant de la surface, traversant les morts-terrains, et arrivant dans le gisement de pétrole, ledit conduit étant proche, mais à une certaine distance, du puits d'injection.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on introduit de l'air et de l'eau dans le puits d'injection pour faire avancer le front de flamme jusqu'à un certain point, puis on arrête l'introduction de l'eau et on introduit de l'oxygène dans le conduit d'oxygène pour poursuivre l'avance du front de flamme.

3. Procédé de récupération de pétrole par combustion in situ à partir d'une formation sédimentaire souterraine, selon lequel on introduit par un passage aménagé dans un puits d'injection un gaz entretenant la combustion, ou de l'eau, ou les deux, de façon à brûler une partie du pétrole et à faire en sorte que les fluides, dont le pétrole, s'écoulent vers au moins un puits de production disposé à une certaine distance du puits d'injection, dans une zone de traitement, caractérisé en ce que l'on introduit de l'oxygène par un passage distinct, séparé du premier passage mentionné ci-dessus, partant de la surface et traversant les morts-terrains jusqu'à la formation, ledit oxygène étant introduit dans la formation séparément de l'eau.

4. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on fait progresser le front de flamme jusqu'à un certain point de la zone de traitement, puis on place un conduit séparé en arrière dudit front de flamme, après son passage, et on introduit de l'oxygène dans ledit conduit d'injection séparé, de façon à ce que l'oxygène atteigne la zone brûlée, épuisée en hydrocarbures, pour favoriser la combustion du coke en créant une source supplémentaire de chaleur en arrière du front de flamme.

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'oxygène est injecté dans le conduit d'oxygène séparé à une vitesse



supérieure à la vitesse maximum de propagation de la flamme au voisinage immédiat du conduit d'oxygène.

6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'avance du front de flamme à travers la zone de traitement est régulée par le positionnement de conduits d'oxygène supplémentaires à l'intérieur de la zone de traitement pour augmenter l'efficacité du balayage.

7. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lorsque se produisent des irrégularités perturbatrices de la symétrie du schéma de la combustion in situ, on place au moins un conduit d'oxygène séparé partant de la surface et traversant les morts-terrains jusque dans la zone de traitement, et on introduit un fluide dans ledit conduit pour modifier l'avance du front de flamme, dans le but d'améliorer la symétrie du balayage.

8. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que la symétrie du balayage est améliorée et régulée par le positionnement sélectif de conduits de fluide et par l'introduction, dans lesdits conduits, d'un fluide régulateur de combustion.

9. Procédé de récupération de pétrole par combustion in situ à partir de formations sédimentaires souterraines contenant un gisement de pétrole, selon lequel on introduit de l'air dans un puits d'injection, partant de la surface, traversant les morts-terrains et arrivant dans le gisement de pétrole, dans une zone d'injection, de façon à brûler une partie du pétrole dans le but de former un front de flamme et à provoquer l'écoulement des fluides, dont le pétrole, vers un certain nombre de puits de production dont les fluides sont extraits, lesdits puits de production étant placés à une certaine distance du puits d'injection de façon à former une disposition d'implantation de puits, caractérisé en ce que l'on démarre et on poursuit la combustion du pétrole dans le gisement par injection d'air dans le puits d'injection pour produire le front de flamme et faire avancer ledit front de flamme vers les puits de production en traversant une partie de la zone de traitement, puis on arrête l'injection d'air et on introduit de l'oxygène dans au moins un conduit séparé partant de la surface, traversant les morts-terrains et arrivant dans le gisement de pétrole, dans la zone de traitement, au voisinage du puits d'injection, et on poursuit ladite injection d'oxygène pour faire avancer le front de flamme à travers une autre partie de la zone de traitement.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'on introduit de l'eau en alternance avec l'air au fur et à mesure que le front de flamme avance à travers la première partie de la zone de traitement, et on injecte de l'eau dans le puits d'injection en alternance avec l'introduction de l'oxygène dans le conduit d'oxygène.

11. Procédé de récupération de pétrole par combustion in situ à partir d'une formation sédimentaire souterraine constituant un gisement de pétrole, selon lequel on injecte un gaz contenant de l'oxygène, et de l'eau, dans une zone d'injection se trouvant dans le gisement de pétrole de façon à brûler une partie dudit pétrole pour former un front de flamme et à faire en sorte que les fluides, dont le pétrole, s'écoulent à travers une zone de traitement vers au moins un puits de production disposé à une certaine distance du puits d'injection, caractérisé en ce que l'on injecte l'eau dans un puits d'injection et en ce que le gaz contenant de l'oxygène est de l'oxygène et est introduit par un conduit séparé partant de la surface, traversant les morts-terrains et arrivant dans le gisement de pétrole dans la zone de traitement.

12. Procédé de récupération de pétrole par combustion in situ à partir d'une formation sédimentaire souterraine contenant un gisement de pétrole, selon lequel on introduit de l'air dans un puits d'injection partant de la surface, traversant les morts-terrains et arrivant dans le gisement de pétrole, dans une zone d'injection, de façon à brûler une partie dudit pétrole pour former un front de flamme et à faire en sorte que les fluides, dont le pétrole, s'écoulent vers un certain nombre de puits de production formant une disposition d'implantation de puits avec le puits d'injection, les fluides étant extraits desdits puits de production à une certaine distance du puits d'injection, on démarre et on poursuit la combustion du pétrole dans le gisement par injection d'air dans le puits d'injection pour produire le front de flamme, on injecte ensuite de l'air et de l'eau dans le puits d'injection pour faire avancer le front de flamme à travers une section de la zone de traitement jusqu'au point où il y a une distorsion du balayage du front de flamme sous l'effet du ralentissement dudit front de flamme dans une certaine partie de la zone de traitement, caractérisé en ce que l'on introduit de l'oxygène dans un conduit d'oxygène partant de la surface, traversant les morts-terrains et arrivant dans ladite certaine partie de la zone de trai-

tement de façon à faire avancer le front de flamme pour améliorer le cheminement de ce dernier.

13. Procédé de récupération de pétrole par combustion in situ à partir d'une formation sédimentaire souterraine constituant un gisement de pétrole, selon lequel on introduit de l'air dans un puits d'injection partant de la surface, traversant les morts-terrains et arrivant dans le gisement de pétrole, dans une zone d'injection, de façon à brûler une partie du pétrole et à faire en sorte que les fluides, dont le pétrole, s'écoulent à travers une zone de traitement vers au moins un puits de production situé à une certaine distance du puits d'injection, caractérisé en ce que l'on démarre et on poursuit la combustion du pétrole dans le gisement par injection d'air dans le puits d'injection pour produire un front de flamme, on fait avancer ledit front de flamme à travers une partie de la zone de traitement vers le ou les puits de production, puis on arrête l'injection d'air et on introduit de l'oxygène dans un conduit séparé, partant de la surface, traversant les morts-terrains et arrivant dans le gisement de pétrole, dans la zone de traitement, au voisinage du puits d'injection, et on poursuit cette injection d'oxygène pour faire avancer le front de flamme à travers une autre partie de ladite zone de traitement.

14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que l'on introduit de l'eau en alternance avec l'air pour faire avancer le front de flamme à travers la première partie de la zone de traitement, puis on introduit de l'oxygène dans un conduit séparé partant de la surface, traversant les morts-terrains et arrivant dans le gisement de pétrole, à l'intérieur de la zone de traitement au voisinage du puits d'injection, et on introduit de l'eau dans le puits d'injection en alternance avec l'oxygène dans le conduit d'oxygène.

15. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que l'on introduit l'oxygène dans le conduit séparé à un niveau inférieur à celui auquel l'eau est injectée dans le puits d'injection.

16. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que l'on injecte l'oxygène dans plusieurs conduits séparés à des niveaux respectivement différents, en-dessous du niveau auquel l'eau est injectée dans le puits d'injection.

17. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on introduit l'oxygène par des passages étranglés de façon à augmenter sa vitesse d'introduction dans la zone de traitement.

18. Installation pour la récupération de pétrole par combustion in situ à partir de formations sédimentaires souterraines contenant un gisement de pétrole, caractérisée en ce qu'elle comprend un puits d'injection partant de la surface, traversant les morts-terrains et arrivant dans le gisement de pétrole, dans une zone d'injection, ledit puits d'injection étant équipé de moyens pour injecter de l'air et de l'eau ; une pluralité de puits de production dans une zone de production séparée de la zone d'injection par une zone de traitement, chacun desdits puits de production étant équipé de moyens pour extraire des fluides de la formation ; au moins un conduit de fluide partant de la surface, traversant les morts-terrains et arrivant dans la zone de traitement en un point situé à une certaine distance du puits d'injection, ledit conduit de fluide étant équipé de moyens pour introduire de l'oxygène dans la formation.

19. Installation selon la revendication 18, caractérisée en ce que les moyens pour introduire l'oxygène comprennent un tube d'injection cylindrique au fond du puits, possédant une extrémité d'entrée et une extrémité de sortie ; un premier élément d'étranglement, monté sur l'orifice d'entrée, possédant un corps cylindrique sur toute sa longueur garni d'un passage central, ledit passage possédant une partie élargie qui reçoit l'extrémité d'entrée d'un tuyau de descente, ledit corps se terminant par un raccord recevant l'extrémité d'entrée du tube d'injection, soudé à ce dernier ; un élément de buse, monté sur l'extrémité de sortie du tube d'injection, possédant un corps cylindrique sur toute sa longueur garni d'un passage central et possédant un raccord reçu par l'extrémité de sortie du tube d'injection ; au moins l'un des étranglements et éléments de buse possédant un étranglement destiné à augmenter la vitesse du gaz sous pression.

20. Installation selon la revendication 19, caractérisée en ce que l'extrémité de sortie du passage aménagé dans l'élément de buse s'élargit pour permettre la détente de l'oxygène à l'orifice de sortie.

1/4

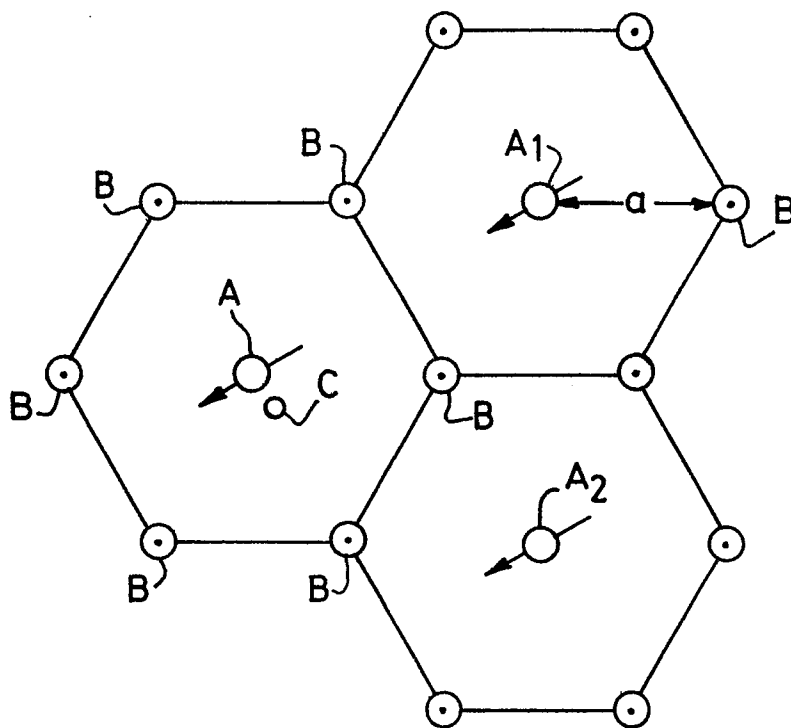
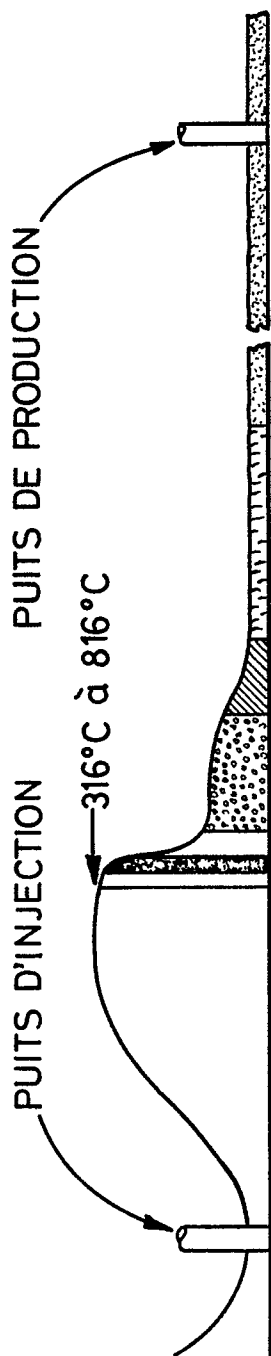


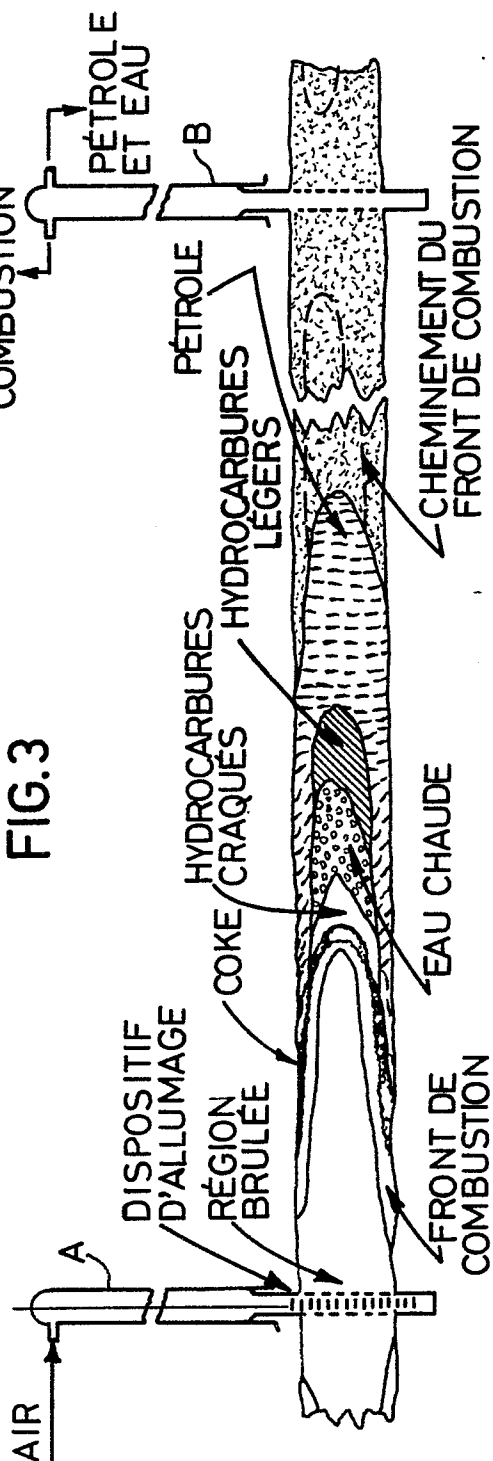
FIG.1

# MECANISMES DU PROCÉDÉ DE COMBUSTION IN SITU



RÉPARTITION DES TEMPÉRATURES

**FIG.3**



COUPE D'UNE FORMATION

**FIG.2**

3/4

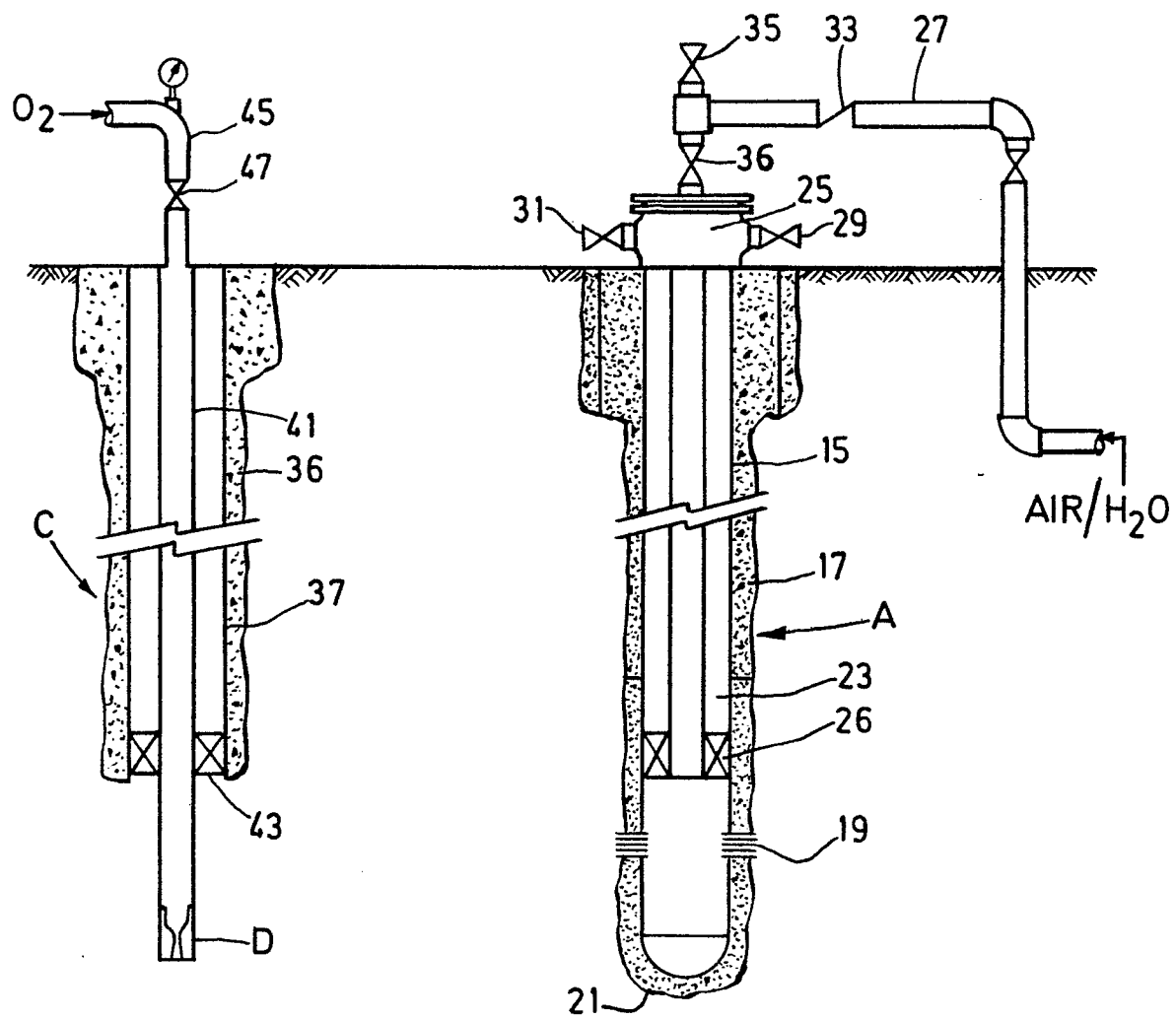
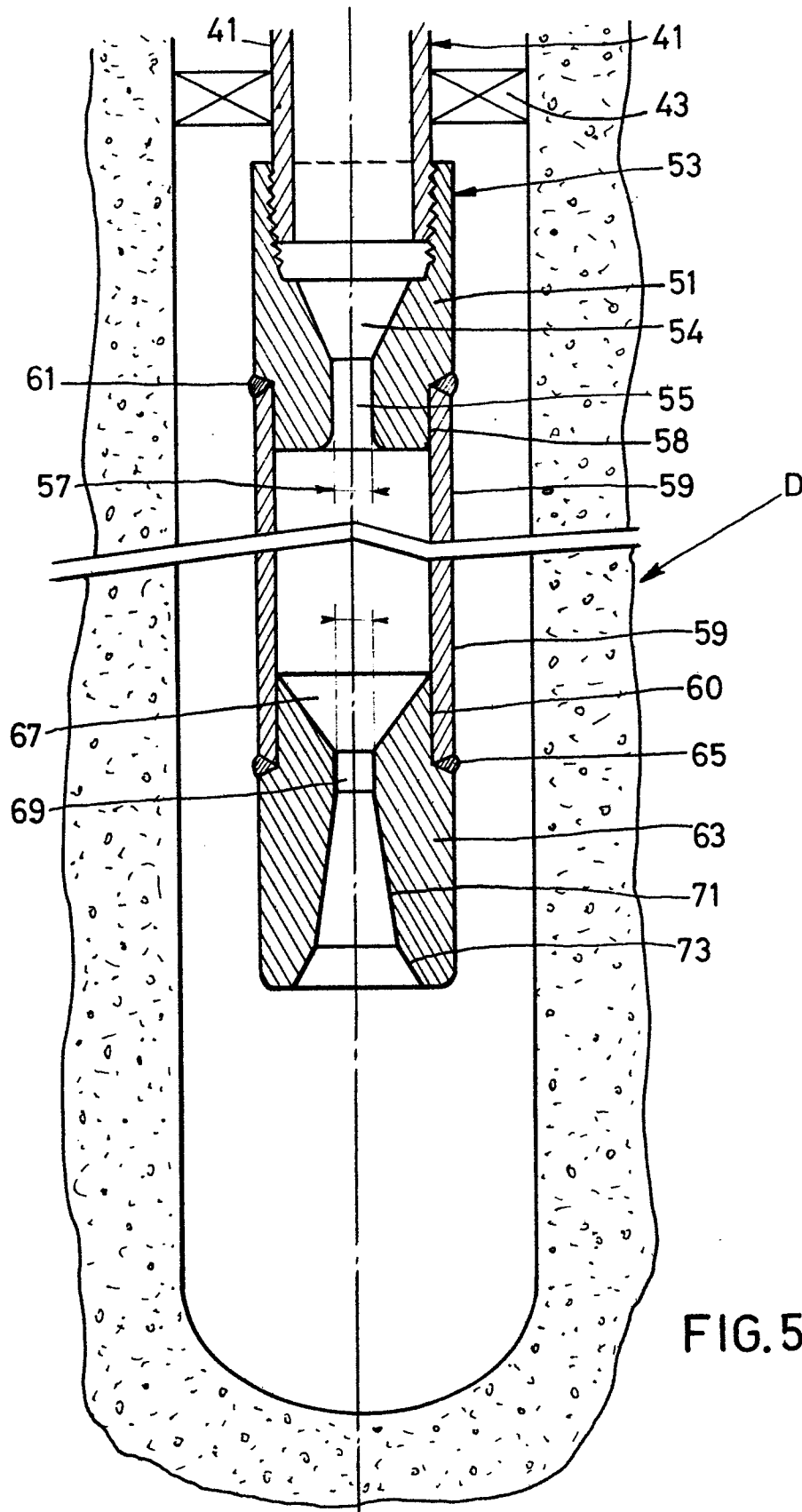


FIG. 4

4/4





0075515



Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 82 40 1680

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
Y	<p>--- US-A-3 441 083 (FITZGERALD)  *En entier*</p>	1, 3, 6, 11, 13, 18	<p>E 21 B 43/30 B 21 B 43/243</p>
Y	<p>--- FR-A-1 473 669 (DEUTSCHE ERDÖL) *En entier*</p>	1	
Y	<p>--- US-A-3 007 520 (FREY) *En entier*</p>	1	
A	<p>--- US-A-3 438 437 (CHRISTOFFERSON) *Colonne 3, lignes 59-70*</p>	19, 20	
D, A	<p>--- US-A-3 208 519 (MOORE) *Revendication 4*</p>	15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3)
A	<p>--- US-A-2 994 375 (HURLEY)</p>		<p>E 21 B E 21 C</p>
A	<p>--- US-A-4 099 567 (TERRY)  -----</p>		
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 26-11-1982	Examineur PAUCNIK B.
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</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 antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons</p> <p>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			